

# Proyecto Fin de Grado

## Ingeniería Química

Modelado de un decantador secundario circular en  
Solid Edge.

Autor: José Manuel Lucas Olivares

Tutor: Francisco Lucas García

**Dpto. Ingeniería Gráfica**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2021





Proyecto Fin de Grado  
Ingeniería Química

# **Modelado de un decantador secundario circular en Solid Edge.**

Autor:

José Manuel Lucas Olivares

Tutor:

Francisco Lucas García

Dpto. Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2021



Proyecto Fin de Grado: Modelado de un decantador secundario circular en Solid Edge.

Autor: José Manuel Lucas Olivares

Tutor: Francisco Lucas García

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal



# Agradecimientos

---

*A mis padres y hermano*

*A Laura*

*A mis compañeros*



# Resumen

---

El presente trabajo de fin de grado se basa en el diseño de un modelo tridimensional de uno de los decantadores secundarios de la EDAR de Brenes, localidad de la provincia de Sevilla.

En primer lugar, se pondrá de manifiesto el desarrollo histórico y la evolución de las aguas residuales. Tras ello se procederá al entendimiento del principio físico en el que se rige la decantación, y un breve repaso de la tipología de decantadores existentes en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR).

A continuación, nos centraremos en el estudio más exhaustivo de los decantadores circulares, más concretamente decantadores circulares con rasqueta, de ahí se obtendrá toda la información necesaria de los elementos que lo componen, así como unos pequeños cálculos para la obtención de las dimensiones del decantador.

Para finalizar, se realizará el modelado del decantador secundario circular mediante el software Solid Edge, programa elegido como herramienta de trabajo para el diseño de las piezas que componen el decantador, una vez obtenidas las piezas se procede al ensamblaje del conjunto, y por último para su mejor visualización y entendimiento se realiza una recreación virtual del funcionamiento de la misma.



# Abstract

---

This final degree project is based on the design of a three-dimensional model of one of the secondary decanters of the Brenes WWTP, municipality and town in the province of Seville.

First, the historical development and evolution of wastewater will be revealed. After that, we will proceed to understand the physical principle that governs the decantation, and a brief review of the typology of existing decanters in the Wastewater Treatment Plants (WWTP).

Next, we will not focus on the more exhaustive study of circular decanters, more specifically circular decanters with scraper, from there we will obtain all the necessary information about the elements that compose it, as well as some small calculations to obtain the dimensions of the decanter.

Finally, the circular secondary decanter will be modeled using the Solid Edge software, a program chosen as the working tool for the design of the parts that make up the decanter. Once the pieces are obtained, the assembly is carried out, and finally to its better visualization and understanding a virtual recreation of the operation of the same is made.



# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>vii</b>
<b>Resumen</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract</b>	<b>xi</b>
<b>Índice</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xv</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Objetivo</i>	2
1.2 <i>Localización.</i>	2
<b>2 Estado del arte.</b>	<b>3</b>
2.1 <i>Antecedentes historicos.</i>	3
2.2 <i>Principios del tratamiento de aguas.</i>	4
<b>3 Decantación</b>	<b>11</b>
3.1 <i>Introducción</i>	11
3.2 <i>Fundamentos del proceso</i>	11
3.3 <i>Descripción del proceso</i>	12
3.4 <i>Tipos de decantadores</i>	13
3.4.1 <i>Decantadores circulares</i>	13
3.4.2 <i>Decantadores rectangulares</i>	15
3.4.3 <i>Decantadores lamelares</i>	16
<b>4 Decantador circular con rasquetas</b>	<b>17</b>
4.1 <i>Funcionamiento decantador circular con rasqueta.</i>	17
4.2 <i>Elementos del decantador secundario circular con rasquetas.</i>	19
4.2.1 <i>Pivote central</i>	19
4.2.2 <i>Carro tractor</i>	20
4.2.3 <i>Puente</i>	21
4.2.4 <i>Rasqueta de fondo</i>	22
4.2.5 <i>Sistema de arrastre de flotantes</i>	22
4.2.6 <i>Tolva de recogida de sobrenadantes</i>	23
4.2.7 <i>Deflector perimetral y alividero</i>	23
4.2.8 <i>Campana deflectora</i>	24
4.3 <i>Obtención de los parámetros de diseño</i>	25
4.3.1 <i>Caudal medio.</i>	25
<b>5 Herramienta de diseño</b>	<b>27</b>
5.1 <i>CAD</i>	27
5.2 <i>Módulos de diseño Solid Edge.</i>	28
<b>6 Modelado de piezas</b>	<b>31</b>
6.1 <i>Recinto circular del decantador secundario.</i>	31
6.1.1 <i>Cuerpo de recinto circular.</i>	31
6.1.2 <i>Secciones de distribución de entrada de agua.</i>	32

---

6.1.3	Tuberías.	33
6.1.4	Sujeción pivote central.	35
6.2	<i>Aliviadero perimetral.</i>	36
6.3	<i>Deflector perimetral.</i>	38
6.4	<i>Pivote central.</i>	40
6.5	<i>Puente.</i>	42
6.5.1	Estructura del Puente.	42
6.5.2	Barandas puentes.	44
6.5.3	Tramex	45
6.5.4	Campana deflectora central.	45
6.5.5	Deflector radial.	47
6.6	<i>Rasqueta de fondo.</i>	51
6.7	<i>Tolva recogida de sobrenadantes.</i>	52
6.8	<i>Accesorios del decantador secundario.</i>	56
6.8.1	Ruedas del Puente.	56
6.8.2	Carcasas de ruedas.	57
6.8.3	Plástico de rasqueta de sobrenadante y rasquetas de fondo.	58
6.8.4	Motor reductor.	59
6.9	<i>Tornillos, arandelas y tuercas.</i>	62
6.9.1	Tornillos.	62
6.9.2	Arandelas.	63
6.9.3	Tuerca.	64
<b>7</b>	<b>Ensamblado</b>	<b>65</b>
7.1	<i>Conjunto 1: ensamblado cuerpo circular del decantador, aliviadero y tornillos de sujeción.</i>	65
7.2	<i>Conjunto 2: Ensamblado conjunto 1 y chapa deflectora perimetral.</i>	67
7.3	<i>Conjunto 3: Ensamblado conjunto 2 y pivote central.</i>	68
7.4	<i>Conjunto 4: Ensamblado del conjunto 3 y la tolva de sobrenadante.</i>	71
7.5	<i>Conjunto 5: Puente</i>	73
7.5.1	Ensamblado tramex.	73
7.5.2	Ensamblado rasqueta de fondo y plástico rasqueta sobrenadante.	74
7.5.3	Ensamblado ruedas Puente.	75
7.5.4	Ensamblado motor reductor.	76
7.6	<i>Conjunto 6: Ensamblado del conjunto 4 y conjunto 5.</i>	78
7.7	<i>Resultado final de la pieza ensamblada.</i>	80
<b>8</b>	<b>Renderizado Keyshot</b>	<b>81</b>
<b>9</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>83</b>
	<b>Referencias</b>	<b>85</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. EDAR Brenes	2
Figura 2. Embalses de purificación de agua.	4
Figura 3. Velocidad sedimentación.	12
Figura 4. Decantador circular con rasquetas.	13
Figura 5. Decantador circular de succión.	14
Figura 6. Decantador rectangular.	15
Figura 7. Decantador lamelar.	16
Figura 8. Vista decantador secundario en alzado.	18
Figura 9. Vista decantador secundario en planta.	18
Figura 10. Pivote central.	19
Figura 11. Motor reductor.	20
Figura 12. Ruedas decantador.	20
Figura 13. Puente del decantador.	21
Figura 14. Rasquetas de fondo.	22
Figura 15. Rasquetas sobrenadantes.	23
Figura 16. Tolva de sobrenadantes.	23
Figura 17. Deflector perimetral.	24
Figura 18. Aliviadero.	24
Figura 19. Campana deflectora.	25
Figura 20. Catálogo dimensiones características decantador secundario circular.	26
Figura 21. Relación de dimensiones del decantador secundario circular.	26
Figura 22. Módulos Solid Edge.	28
Figura 23. Boceto decantador secundario circular.	31
Figura 24. Extrusión por revolución decantador secundario circular.	32
Figura 25. Secciones de distribución de entrada de agua.	32
Figura 26. Tubería de entrada de agua.	33
Figura 27. Tubería agua clarificada.	34
Figura 28. Tubería sobrenadante.	34
Figura 29. Tubería de fango.	35
Figura 30. Sujeción pivote central.	35
Figura 31. Aliviadera.	36
Figura 32. Boceto aliviadero	36
Figura 33. Taladro aliviadero.	36
Figura 34. Resultado final modelado aliviadero.	37
Figura 35. Protrusión simétrica deflector perimetral.	38

---

Figura 36. Boceto de pletina eje xy	38
Figura 37. Boceto de pletina eje xz	38
Figura 38. Resultado final deflector perimetral	39
Figura 39. Placa sujeción pivote central.	40
Figura 40. Carcasa rodamiento.	40
Figura 41. Soporte rodamiento.	40
Figura 42. Rodamiento pivote central.	41
Figura 43. Diseño superior del pivote central.	41
Figura 44. Protrusión por barrido biga puente.	42
Figura 45. Boceto biga puente.	42
Figura 46. Soporte pivote central y estructuras soporte tramex	43
Figura 47. Boceto soporte ruedas	43
Figura 48. Modelado final estructura puente.	43
Figura 49. Boceto y protrusión de postes para baranda.	44
Figura 50. Diseño final de las barandas del puente.	44
Figura 51. Diseño de tramex.	45
Figura 52. Boceto soporte vertical sujeción campana central.	45
Figura 53. Sujeción horizontal.	46
Figura 54. Refuerzos de las sujeciones	46
Figura 55. Sujeción campana deflectora central.	46
Figura 56. Campana deflectora central.	47
Figura 57. Bocetos correas de sujeción de rasquetas.	47
Figura 58. Diseño correas de sujeción.	48
Figura 59. Agarre de rasqueta de fondo.	48
Figura 60. Trayectoria y boceto deflector radial.	49
Figura 61. Deflector radial.	49
Figura 62. Sujeción pletina sobrenadante.	50
Figura 63. Pletina sobrenadante.	50
Figura 64. Diseño final del	51
Figura 65. Rasqueta de fondo.	51
Figura 66. Cuerpo tolva sobrenadantes.	52
Figura 67. Pletinas tolva sobrenadante.	53
Figura 68. Boceto y protrusión por barrido tubo de salida de sobrenadantes.	54
Figura 69. Brida tolva sobrenadante.	54
Figura 70. Sujeción tolva sobrenadante.	55
Figura 71. Tolva recogida sobrenadantes.	55
Figura 72. Boceto ruedas y boceto de conexión de la rueda motriz.	56
Figura 73. Rueda motriz	57
Figura 74. Rueda seguidora	57
Figura 75. Boceto carcasa rueda.	57

Figura 76. Carcasa de rueda.	58
Figura 77. Plástico rasquete sobrenadante.	58
Figura 78. Boceto par reductor.	59
Figura 79. Par reductor.	60
Figura 80. Conexiones motor.	60
Figura 81. Cuerpo de motor y álaves.	61
Figura 82. Motor reductor.	61
Figura 83. Tornillo hexagonal rosca completa.	62
Figura 84. Boceto tornillo allen.	62
Figura 85. Tornillo allen.	63
Figura 86. Arandela	63
Figura 87. Tuerca.	64
Figura 88. Ensamblaje aliviadero.	65
Figura 89. Emsanblaje de arandela, tornillo y colocación mediante patrón circular.	66
Figura 90. Aliviadero.	66
Figura 91. Emsanblaje chapa defectora.	67
Figura 92. Ensamblaje tornillos chapa deflectora.	67
Figura 93. Chapa deflectora ensamblada.	68
Figura 94. Ensamblaje rodamiento.	69
Figura 95. Ensamblaje soporte inferior pivote central	69
Figura 96. Ensamble parte superior del pivote superior.	69
Figura 97. Pivote central ensamblado.	70
Figura 98. Ensamble tolva sobrenadantes.	71
Figura 99. Ensamblaje de tornillos de sujeción de tolva de recogida de sobrenadantes.	72
Figura 100. Ensamblado tramex con bigas de puente.	73
Figura 101. Ensamble plástico sobrenadante.	74
Figura 102. Ensamble de rasqueta con puente.	74
Figura 103. Tornillos sujeción rasqueta de fondo.	75
Figura 104. Ruedas puente.	75
Figura 105. Tapa eje ruedas.	76
Figura 106. Ensamble motor reductor.	76
Figura 107. Ensamble de tornillo de motor reductor.	77
Figura 108. Motor reductor ensamblado.	77
Figura 109. Ensamble puente con decantador.	78
Figura 110. Colocación de tornillos de sujeción puente pivote central.	79
Figura 111. Ensamblado puente decantador.	79
Figura 112. Modelo final del decantador secundario circular.	80
Figura 113. Logo KeyShot.	81
Figura 114. Imagen decantador renderizado1.	82
Figura 115. Imagen decantador renderizado 2.	82



# 1 INTRODUCCIÓN

---

*No podemos resolver problemas pensando de la misma manera que cuando los creamos.*

*- Albert Einstein -*

El agua ha sido, desde la creación del mundo, un elemento imprescindible para todos los seres vivos por formar parte de su composición. Para la especie humana, las necesidades del agua han ido siempre en orden creciente, a medida que se ha desarrollado la civilización y ha crecido la población, pero este mismo desarrollo ha frenado cada vez más el uso y disfrute del agua a causa de los vertidos desechados a los cursos de aguas dulces o saladas.

A causa de todo ello, el ingenio humano ha ido creando a lo largo de la historia en diferentes sistemas de aprovechamiento y tratamiento de las aguas. Uno de los comienzos de las técnicas más usadas para la obtención de un agua clarificada, fue la decantación. Los egipcios dejaban reposar el agua meses para hacer sedimentar todas las partículas existentes en el agua y obtener un agua limpia.

Por ello la importancia de la decantación en los tratamientos de aguas de residuales, es una de las fases más importantes en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), debido a ello nos centramos en el estudio y diseño de un decantador secundario.

## 1.1 Objetivo

El objetivo principal de este Proyecto es el modelado tridimensional de un decantador secundario de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), partiendo de las dimensiones proporcionadas por una empresa especializada.

Las razones por las que se ha llevado a cabo este proyecto son las siguientes:

- Llegar a un mejor entendimiento de los principios físicos en los que se rige la sedimentación.
- Conseguir una mejor comprensión de las tipologías existentes de decantadores secundarios.
- Un estudio de manera más detallada de los decantadores secundarios circulares.
- Adquirir nuevos conocimientos del software Solid Edge, que podría ser de gran utilidad de cara al futuro.

## 1.2 Localización.

Se pretende realizar el modelado del decantador secundario de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Brenes, localidad de la provincia de Sevilla. La construcción de la EDAR se inició en 2010, la cual permite el tratamiento correcto de los vertidos de los aproximadamente 13.000 habitantes que tiene el municipio.



Figura 1. EDAR Brenes

## 2 ESTADO DEL ARTE.

### 2.1 Antecedentes historicos.

Una de las mayores preocupaciones en la historia de la humanidad ha sido la obtención del agua lo más pura y limpia posible. La historia del agua potable es muy remota, en siria y babilonia se construyeron cunducciones y acueductos para acercar el agua desde sus fuentes a lugares próximos a sus viviendas. Los antiguos pueblos orientales usaban arena y barro poroso para filtrar el agua. También en Europa los romanos construyeron redes de acueductos y estanques. En el antiguo Egipto dejaban reposar el agua en vasijas de barro durante varios meses para dejar sedimentar las partículas e impurezas, y mediante un sifón extraían el agua de la parte superior (técnica actualmente conocida como decantación), en otras ocasiones incorporaban ciertas sustancias minerales y vegetales para facilitar la precipitación de partículas y clarificar el agua (coagulación).



## 2.2 Principios del tratamiento de aguas.

Los romanos fueron los mayores arquitectos en construcciones de redes de distribución de agua que ha existido a lo largo de la historia. Los romanos construyeron presas para el almacenamiento y retención artificial del agua.

Tras la caída del imperio romano, los acueductos se dejaron de utilizar. Desde el año 500 al 1500 D.C hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento de agua. Durante la edad media se manifestaron gran cantidad de problemas de higiene en el agua. La gente que bebía estas aguas enfermaba y morían. Para evitarlo se hacía uso de recogida de aguas fuera de las ciudades.

El primer Sistema de suministros de agua potable a toda una ciudad, fue llevado a cabo por John Gibb, en 1804, quien logró abastecer de agua filtrada y decantada a la ciudad de Glasgow, Escocia.

En 1806 se pone en funcionamiento en Paris una gran planta de tratamiento de aguas, en esta planta se dejaba sedimentar el agua durante 12 horas y a continuación se procedía a su filtración de arena y carbón.

En 1827 el inglés James Simplón construyó un filtro de arena para la purificación del agua potable.



Figura 2. Embalses de purificación de agua.

# 3 DECANTACIÓN

---

En este apartado, se va a hacer un estudio del principio físico que rigen los decantadores, así como, el objetivo del proceso y la tipología de los decantadores existentes para la depuración del agua.

## 3.1 Introducción

El proceso de decantación es una de las operaciones unitarias más antiguas que se conocen de las empleadas en el tratamiento de aguas, así como una de las más utilizadas en la actualidad, siendo un proceso netamente físico de eliminación de sólidos en suspensión por diferencia de densidad, de tal forma que las partículas con mayor densidad que el agua se separan por la acción de la gravedad, mientras que las de menor densidad se separan por su flotabilidad. El proceso de decantación se conoce también por el nombre de sedimentación.

## 3.2 Fundamentos del proceso

El proceso de decantación se basa en la diferencia de peso específico entre la partícula sólida a separar y el agua, de tal forma que una disminución de la velocidad ascensional del líquido a un valor menor que la de caída del sólido, permite que la materia sedimentable se deposite en el fondo del equipo.

La velocidad de caída de la partícula puede ser determinada de forma teórica a partir de las leyes de Newton y Stokes. En base a la concentración de las partículas y dependiendo de su naturaleza, se distinguen fundamentalmente dos tipos de sedimentación para la decantación de aguas:

- **Sedimentación discreta:** en la sedimentación de partículas discretas, tiene lugar en suspensiones cuyas partículas no pueden flocular debido a su baja concentración. El equilibrio de las fuerzas de la gravedad con la de rozamiento son las resultantes de que la partícula adquiera una velocidad constante de sedimentación.
- **Sedimentación floculante:** En la sedimentación floculante las partículas tienen características que producen su floculación durante la sedimentación, al chocar una partícula que está sedimentando con otra partícula, estas se agregan (o floculan) formando una nueva partícula de mayor tamaño y aumentando en consecuencia su velocidad de sedimentación. Por ello la trayectoria de una partícula floculante en un depósito de sedimentación sería una línea curva de pendiente creciente.

La velocidad final de caída de las partículas se asimila como velocidad ascensional del agua en el decantador, y recibe el nombre de carga hidráulica, que representa la velocidad de desplazamiento del agua en el equipo que se opone a la caída de las partículas, de tal forma que decantarán todas aquellas partículas cuya velocidad de decantación sea superior a la velocidad ascensional del agua y que dispongan de un tiempo adecuado de residencia.

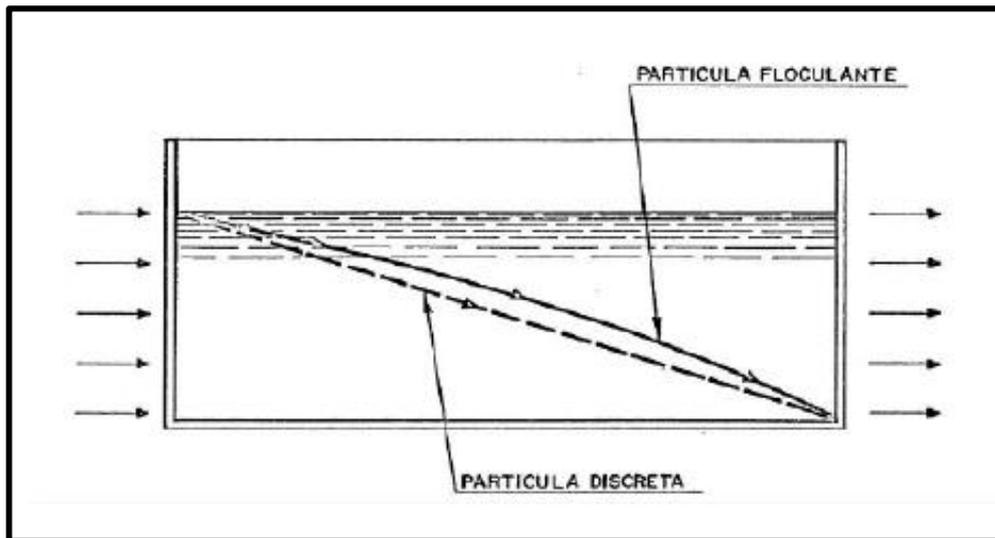


Figura 3. Velocidad sedimentación.

### 3.3 Descripción del proceso

Se trata de una operación de separación sólido-fluido en la que las partículas sólidas de una suspensión, más densa que el fluido, se separan de éste por la acción de la gravedad.

La sedimentación se utiliza para separar las partículas sólidas dispersas en un líquido. La diferencia de densidades entre las partículas sólidas y el líquido hace que, sea posible su separación.

El objetivo principal de la decantación es la reducción de los sólidos en suspensión bajo la presencia de la acción de la gravedad. En consecuencia, solo se pretende la eliminación de los sólidos sedimentables y las materias flotantes.

Se obtiene un líquido claro sobrenadante en la superficie del equipo y unos sólidos que son extraídos en forma de fangos o lodos.

## 3.4 Tipos de decantadores

Existen muchas variedades de decantadores, pero se van a dividir en los siguientes grupos:

- Decantadores circulares
- Decantadores rectangulares
- Decantadores lamelares

### 3.4.1 Decantadores circulares

Dentro de la tipología de los decantadores circulares en el mundo de la industria de la depuración de agua residual se pueden encontrar los siguientes:

- Decantadores circulares de rasquetas
- Decantadores circulares de succión.

#### 3.4.1.1 Decantadores circulares de rasquetas

Los decantadores circulares con rasqueta, consisten en un recinto normalmente de hormigón, en el cual la alimentación se realiza por la parte central, se dispone de una campana responsable de disipar la entrada de agua al equipo y la distribución del flujo en todas las direcciones. La salida del agua clarificada se lleva a cabo a través de un aliviadero o vertedero periférico.

Se instala un puente giratorio radial sobre la columna central, de tracción sobre el muro exterior, el cual se desplaza apoyado en ruedas. Colgando del mencionado puente radial, se encuentran las rasquetas de barrido de fondo que en su avance desplazan los fangos hasta una poceta central desde la que son purgados al exterior. De igual forma del puente cuelga una barredora superficial que arrastra los posibles flotables y espumas hasta una tolva de purga.



Figura 4. Decantador circular con rasquetas.

### 3.4.1.2 Decantadores circulares de succión

Estos tipos de decantadores, tiene el mismo diseño que los anteriormente explicado, la diferencia a destacar es la sustitución de una poceta central en la que se depositan los lodos mediante las rasquetas por el efecto de succión, dicho efecto de succión puede conseguirse por presión hidrostática, estando en este caso la llegada de los tubos a la canaleta de recogida una cota inferior a la de superficie del agua, o bien por emulsión del fango en aire. La evacuación de los fangos recogidos en la canaleta móvil se efectúa mediante sifón.



Figura 5. Decantador circular de succión.

### 3.4.2 Decantadores rectangulares

Los decantadores rectangulares consisten en balsas rectangulares donde el agua entra por uno de sus extremos, saliendo por el opuesto, siendo el flujo paralelo a la dimensión más larga.

Los fangos depositados en el fondo del equipo son arrastrados hasta uno de los extremos por un sistema de rasquetas. Los sólidos arrastrados por las rasquetas son depositados en un canal transversal, de donde son eliminados por medio de un equipo de sifón, tubería de purga, etc.

La salida del líquido se llevará a cabo, al igual que la entrada, a lo largo de toda la anchura, mediante vertederos, en forma de dientes de sierra. Las rasquetas de lodos en su camino de vuelta, en ciertos equipos lo hacen por la superficie, produciendo el arrastre de las espumas y flotantes. En otros casos, al arrastre de las mencionadas espumas se hacen mediante cortinas de aguas.



Figura 6. Decantador rectangular.

### 3.4.3 Decantadores lamelares

Los decantadores lamelares tienen dos propósitos fundamentales: aumentar la superficie de decantación y obtener un flujo laminar. La utilización de los decantadores lamelares se basa en el hecho de que la capacidad de retirada de sólidos de un decantador lamelar no depende de la altura del decantador, si no de su superficie.

En la decantación secundaria se emplean principalmente decantadores lamelares a contracorriente, con conductos de tubos cuadrados o módulos hexagonales.

Debido a que los decantadores lamelares tienen un mantenimiento más complicado que los decantadores de flujo horizontal, en el proceso de fangos activos, se colocan fundamentalmente, cuando existen problemas de espacio para la implantación de la decantación secundaria.

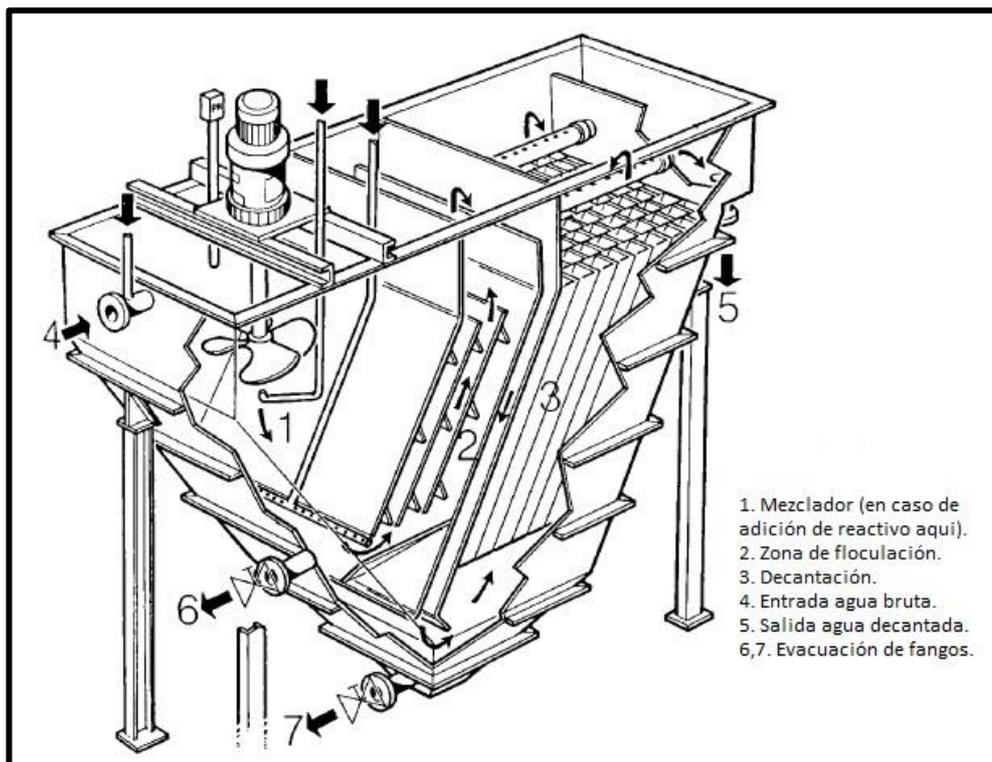


Figura 7. Decantador lamelar.

## 4 DECANTADOR CIRCULAR CON RASQUETAS

---

Este apartado se centrará en la obtención de los parámetros de diseño y descripción de los diferentes elementos que componen el decantador secundario circular de la EDAR de Brenes.

### 4.1 Funcionamiento decantador circular con rasqueta.

Las aguas llegan al decantador procedentes del reactor biológico, y se introducen en el decantador por su parte inferior a través de una columna central, donde se encuentran los huecos de distribución para su reparto. Sobre esta columna se instala el pivote central que va a permitir el giro del puente. El agua asciende por el interior de la columna central, hasta desembocar en una campana de tranquilización o campana deflectora, su objetivo es la disminución de la velocidad de agua de entrada.

El agua se introduce en el decantador, donde se va sedimentando por su propia gravedad el fango, mientras el agua asciende. La salida del agua clarificada por el canal perimetral es regulada por un aliviadero. En un punto del canal perimetral se realiza la conexión de una arqueta donde las aguas ya clarificadas salen del decantador.

Un pozo situado en el centro del decantador tiene la función de la recogida de fangos, enviados por las rasquetas de fondo conectas al puente móvil.

Aquellas materias sólidas que por su poco peso específico flota en la superficie del agua decantada, es conducida mediante una rasqueta barredora, hasta el perímetro exterior del Puente, donde son introducidos en la tolva de recogida de sobrenadantes.

El movimiento circular del puente es posible debido a un rodamiento colocado en el pivote central, y un accionamiento motor reductor colocado en una de las ruedas del puente, que circular alrededor del muro exterior.

Para su mayor visualización se hacen uso de las figuras que se representan a continuación:

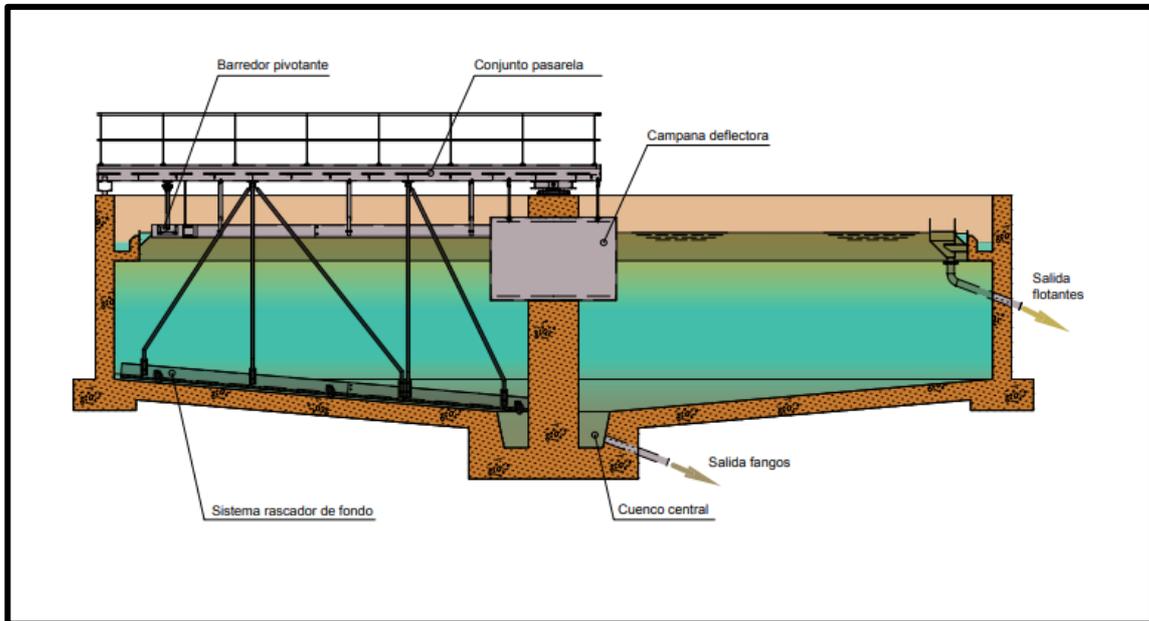


Figura 8. Vista decantador secundario en alzado.

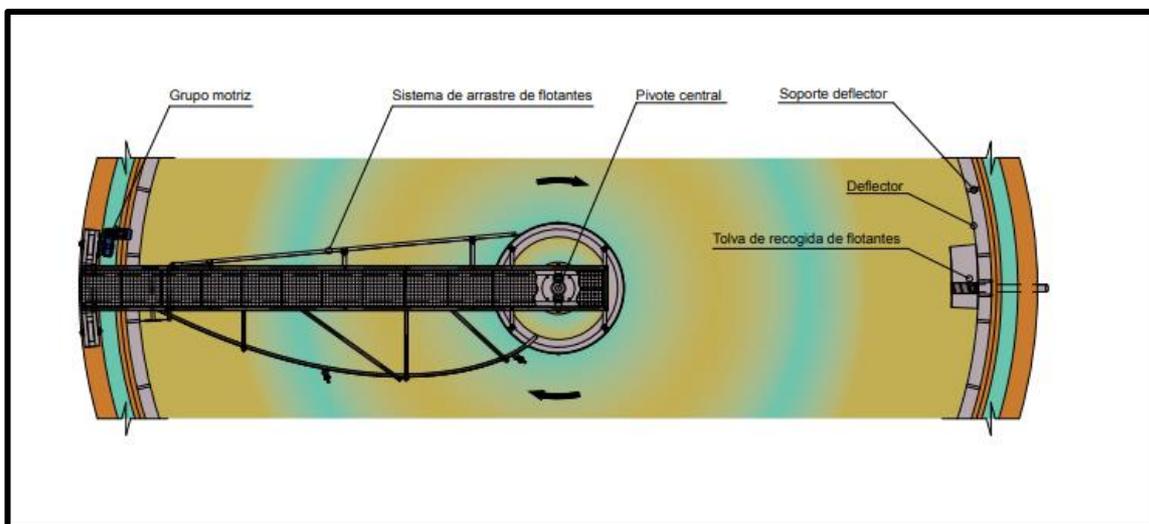


Figura 9. Vista decantador secundario en planta.

## 4.2 Elementos del decantador secundario circular con rasquetas.

Tras una breve explicación del procedimiento de entrada de agua en el decantador y el nombramiento de los elementos que lo componen, en este apartado se van a presentar más detalladamente cada elemento que compone el decantador secundario circular con rasqueta.

El decantador circular que se va a modelar, esta construido por los siguientes elementos:

- Pivote central.
- Carro tractor.
- Puente.
- Rasqueta de fondo.
- Sistema de arrastre de flotantes.
- Tolva de recogida de sobrenadante.
- Deflector perimetral y aliviadero.
- Campana deflectora.

### 4.2.1 Pivote central

Elemento encargado de permitir el giro del Puente, construido por:

- Rodamiento de gran diámetro preparado para soportar esfuerzos radiales, axiales y momentos de vuelco.
- Soporte solidario al rodamiento formado por una estructura de 15 y 20 mm de espesor, se conecta con la pasarela mediante las sujeciones laterales y conectado también a la columna central del decantador.

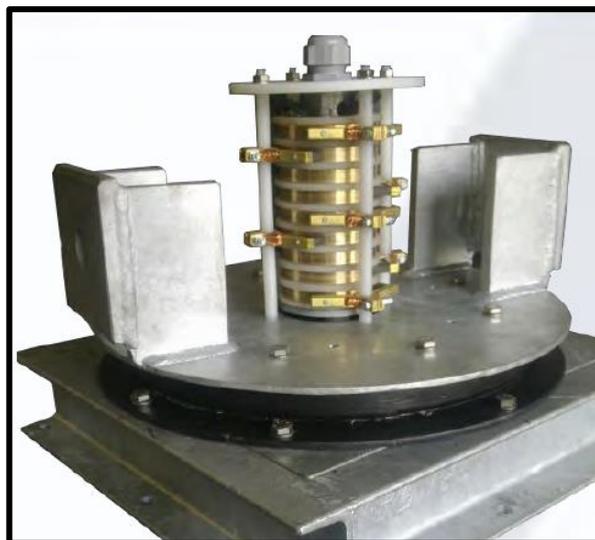


Figura 10. Pivote central.

#### 4.2.2 Carro tractor

Se hallan situados en un extremo de la pasarela del Puente decantador, se encuentra compuesto por un motorreductor con salida de eje hueco que acciona directamente el eje de la rueda motriz. En el lado opuesto del carro motriz lleva la rueda conducida. La velocidad periférica es aproximadamente 1,4 m/min.

- Motor reductor.

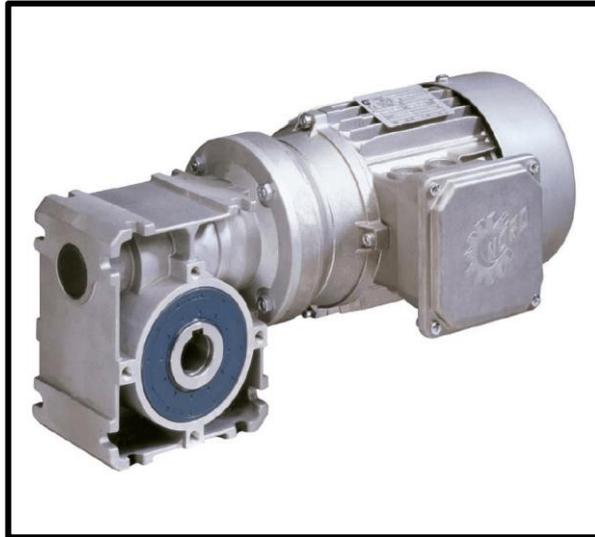


Figura 11. Motor reductor.

- Rueda Puente.



Figura 12. Ruedas decantador.

### 4.2.3 Puente

El puente del decantador circular, construido en su mayoría por acero al carbono con tratamientos anticorrosión, realiza la función de barrido para la extracción de los sólidos decantados en el fondo y flotantes en la superficie. Apoyada por un extremo en el pivote central y solidario con el carro tractor, en él también se encuentran construidas unas barandillas de seguridad.



Figura 13. Puente del decantador.

#### 4.2.4 Rasqueta de fondo

Compuesta por la rasqueta y el Sistema de sujeción de la misma. Rasqueta construida en chapa de acero normalmente y un perfil de elastómeros que efectúa el barrido. Todo el sistema está suspendido de la pasarela mediante tubos estabilizadores y tensores. El almacenamiento y extracción de los lodos se realiza en la poceta central del decantador.



Figura 14. Rasquetas de fondo.

#### 4.2.5 Sistema de arrastre de flotantes

Formado por la rasqueta barredora de superficies, que desplaza los flotantes hacia la periferia, donde un brazo los introduce dentro de la tolva de recogida de sobrenadante.



Figura 15. Rasquetas sobrenadantes.

#### 4.2.6 Tolva de recogida de sobrenadantes

Se encuentra instalada en la periferia del recinto y anclada directamente al decantador. Su función es recoger y extraer todos los sobrenadantes procedentes del decantador.

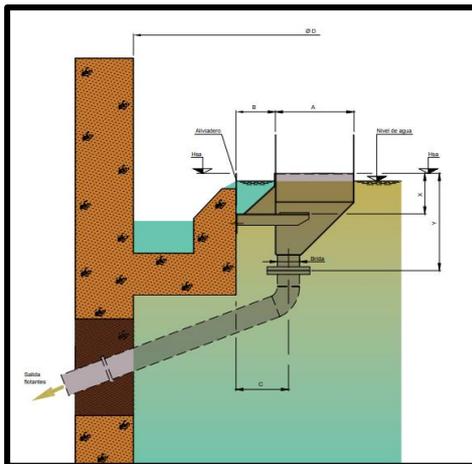


Figura 16. Tolva de sobrenadantes.

#### 4.2.7 Deflector perimetral y alivadero

##### 4.2.7.1 Deflector perimetral

La construcción del deflector perimetral se realiza en aluminio. El deflector está formado por chapas de aluminio, cuya misión es frenar la fuerza centrífuga del agua en la periferia y evitar la evacuación de las grasas y flotantes en la salida del agua clarificada. Se encuentra anclada en el muro del canal perimetral mediante pletinas y tornillos.



Figura 17. Deflector perimetral.

#### 4.2.7.2 Aliviadero

Su función es el reparto del agua clarificada al canal perimetral. Aliviadero de perfil Thompson (dientes de sierras), para el reparto del agua. Está formado por chapas de aluminio. Se encuentra sujeto en el muro del canal perimetral mediante tornillo.



Figura 18. Aliviadero.

#### 4.2.8 Campana deflectora

Construida en chapa y perfil de acero. Su forma es cilíndrica y se encuentra suspendida del puente mediante angulares, envolviendo a la columna central del decantador. Su función la reducción de la velocidad del agua que entra al decantador.



Figura 19. Campana deflectora.

### 4.3 Obtención de los parámetros de diseño

En este apartado, se procede a la obtención de los parámetros de diseño de un decantador secundario circular.

Según documentación facilitada por la EDAR de Brenes, la planta permite el tratamiento de los vertidos de los 12.501 habitantes de esta población.

Para la obtención de las dimensiones características del decantador secundario que se desea modelar, se ha hecho uso del catálogo de Hidrometalica, empresa especializada en decantadores. Con el caudal medio se consigue las diferentes dimensiones del decantador secundario.

#### 4.3.1 Caudal medio.

Para la obtención del caudal medio se debe de tener en cuenta el número de habitantes y la dotación correspondiente, que es el número de litros de agua depurada por habitante y día.

$$Q_m = \frac{hab * D}{24.000}$$

Donde:

- $Q_m \equiv$  Caudal medio ( $m^3/h$ ).
- $hab \equiv$  Habitantes.
- $D \equiv$  Dotación (aprox 300 l/hab/días).

Se ha aproximado a una población de 13.000 habitantes, con un resultado de caudal media de **162,5  $m^3/h$** .

Con este caudal entramos en la tabla de la empresa especializada para la obtención de las dimensiones características del decantador secundario que se va a diseñar, el modelo más apropiado para nuestro caudal de diseño es el DCR-13000.

Se representa la tabla y la figura proporcionada por la empresa para la elección del decantador según su caudal de diseño ( $m^3/h$ ), todas las demás dimensiones se encuentran en metros, exceptuando la superficie y volumen que se encuentran en  $m^2$  y  $m^3$  respectivamente.

<b>CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES:</b>									
MODELO	$D_i$	$e$	$D_u$	$D_c$	$D_p$	H	$Q_m$	$S_u$	V
DCR-600	6	0.20	5.00	1.20	3	2.50	36.7	19	70.7
DCR-700	7	0.20	6.00	1.20	3	2.50	50	27	96
DCR-800	8	0.25	7.00	1.20	3	2.50	65.3	37	125
DCR-900	9	0.25	7.90	1.35	3	2.50	82.6	48	160
DCR-1000	10	0.25	8.90	1.35	3	2.50	102	61	200
DCR-1100	11	0.25	9.90	1.50	3	2.50	123.5	75	237.5
DCR-1200	12	0.25	10.80	1.50	3	2.50	147	90	282.74
DCR-1300	13	0.30	11.80	1.60	3	2.50	172.4	116	331.83
DCR-1400	14	0.30	12.80	1.70	3	2.50	200	129	384.85
DCR-1500	15	0.30	13.70	1.80	3	2.60	230	146	459.46
DCR-1600	16	0.30	14.40	1.90	3	2.60	261	160	522.76
DCR-1700	17	0.30	15.40	2.00	3	2.60	295	186	590.15
DCR-1800	18	0.30	16.30	2.00	3	2.60	330	206	661.62
DCR-1900	19	0.30	17.30	2.10	3	2.60	368	235	737.18
DCR-2000	20	0.30	18.20	2.10	3	2.60	408	257	816.82
DCR-2200	22	0.35	20.20	2.20	4	2.60	494	317	988.35
DCR-2400	24	0.35	23.10	2.30	4	2.60	587	419	1176.22

Figura 20. Catálogo dimensiones características decantador secundario circular.

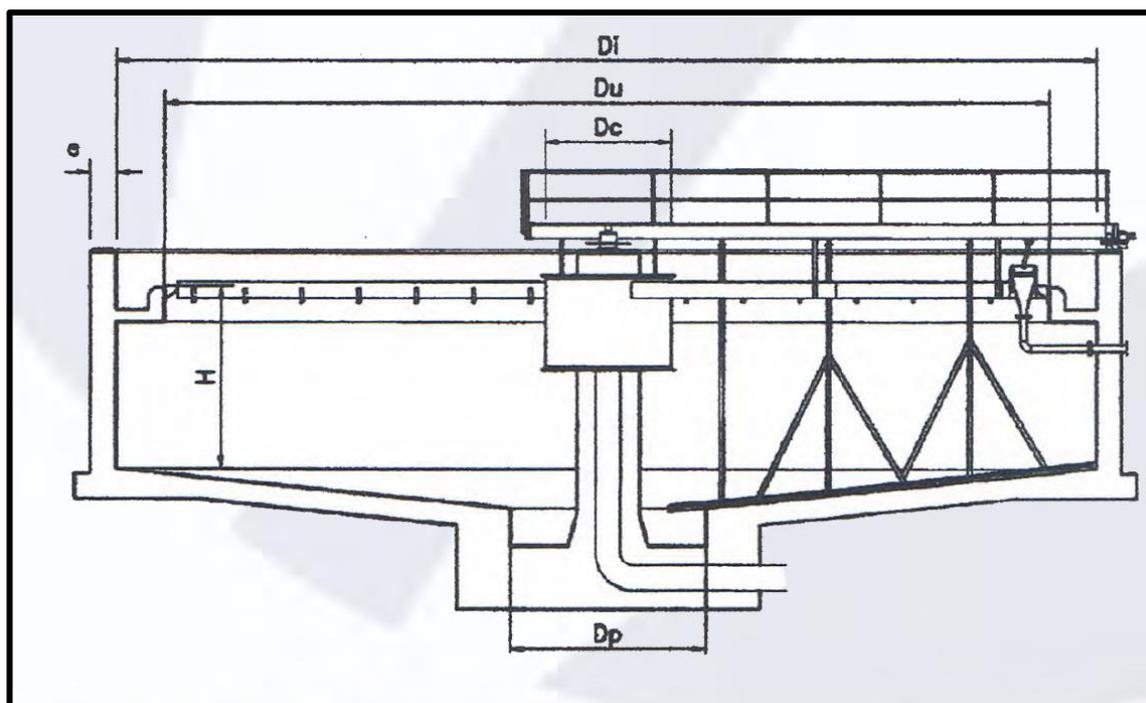


Figura 21. Relación de dimensiones del decantador secundario circular.

## 5 HERRAMIENTA DE DISEÑO

Hoy en día, tanto en el mundo de la ingeniería como el de cualquier actividad que implique la generación de cualquier diseño, ha cambiado drásticamente con la aparición de las herramientas de diseño asistido por ordenador, CAD (computer aided design), el diseño y el desarrollo de nuevos productos se ha convertido en un elemento clave para la mejora de la capacidad de innovación y competencias de las empresas.

Por ello, resulta interesante el conocimiento y manejo de esta herramienta de diseño.

La herramienta de diseño utilizada se denomina Solid Edge, un programa de diseño en propiedad y desarrollado por SIEMENS. Se ha hecho uso de este programa debido a su gran relación que guarda con la asignatura de “Diseño Asistido por Ordenador (DAO)” en el 4º curso del grado de ingeniera química impartida en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI).

Solid Edge es un programa de diseño asistido por ordenador (CAD) de pieza tridimensionales 3D.

### 5.1 CAD

Los sistemas CAD (diseño asistido por ordenador o computer aided design), hace referencia a una herramienta de software que, mediante el ordenador, permite crear, modificar, analizar y optimizar planos y modelos en dos y tres dimensiones. Las herramientas de dibujo en 2D se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, con las que se puede operar con una interfaz gráfica. Los modelados en 3D añaden superficies y sólidos.

El usuario puede asociar a cada entidad una serie de propiedades: color, estilo de línea, capa, nombres, etc., que permiten manejar la información de forma lógica y ordenada. Además, se pueden generar imágenes o videos de los modelos 3D para la obtención de una previsualización algo más realista del objeto, aunque para la obtención del producto mucho más realista se suelen exportar a programas más especializado para ese ámbito.

Los sistemas CAD actúan en los campos de diseño mecánico, estructural, arquitectura e ingeniería civil, sistemas de información cartográfica y geográfica, industrial, de instalaciones, etc.

Los sistemas CAD aportan soluciones que mejoran el proceso de diseño, dotándolo de grandes beneficios, entre los que se pueden destacar:

- Posibilidad de corregir errores en fase de diseño.
- Ahorro de tiempo y aumento de la productividad ante las posibles modificaciones de mejora de la pieza.
- Facilidad de uso de la herramienta, respecto a los sistemas de dibujo tradicionales.
- Mayor calidad y precisión en los productos.
- Disminución de costes y elevado retorno de la inversión.

## 5.2 Módulos de diseño Solid Edge.

En este apartado se procede a una breve explicación de los módulos de diseño existente en el programa. En el cual los utilizado para la realización de este Proyecto han sido los modulos ISO métrico Pieza y ISO métrico conjunto.

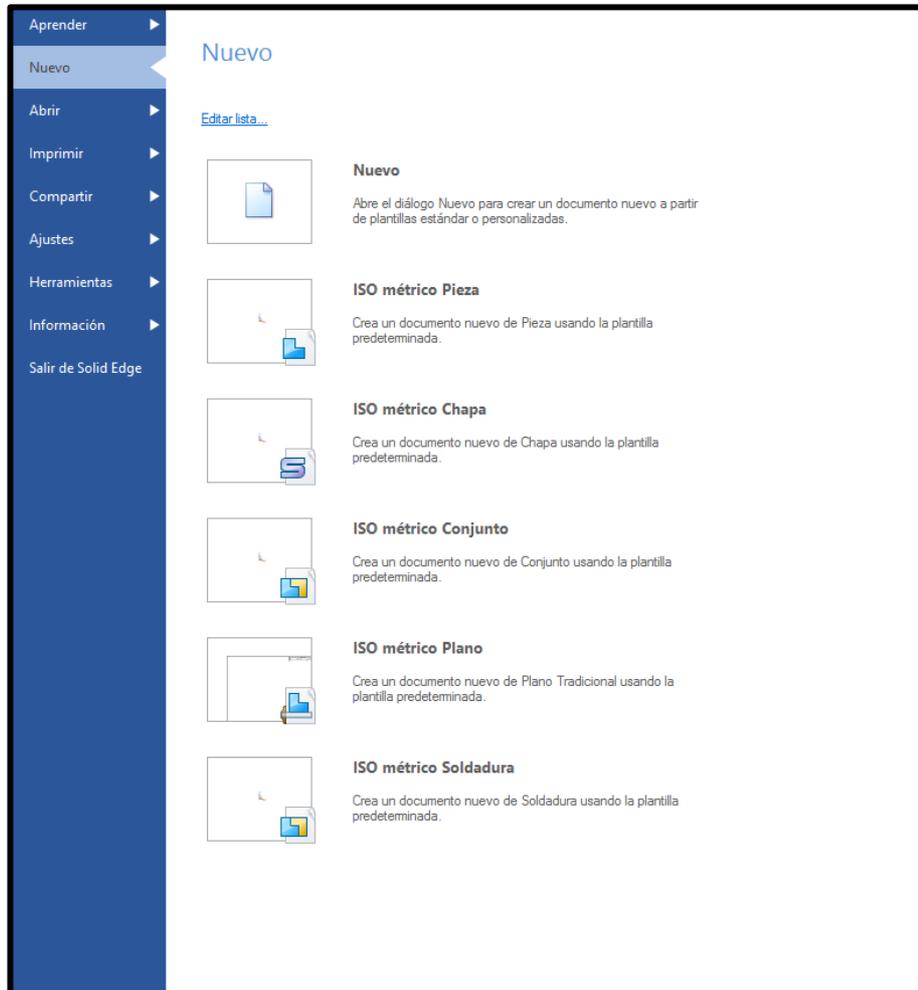


Figura 22. Módulos Solid Edge.

- **ISO métrico pieza:** en el entorno de modelado de piezas de Solid Edge permite construir modelos de sólidos, primeramente, haciendo uno de la geometría del programa (puntos, líneas, curvas...). Una vez que se realiza el boceto, las operaciones que posibilitan el modelado de piezas incluyen, protrusiones y vaciados, agujeros refuerzos redondeos, ángulos de desmoldeo, etc. También se pueden construir patrones de operaciones y copias simétricas
- **ISO métrico-chapa:** ofrece un entorno independiente de modelado de piezas de chapa para acomodar más eficazmente los requisitos únicos de chapa. Al igual que en el módulo de piezas, el proceso de modelado de chapa comienza con una operación base que se construye con operaciones geométricas (líneas, puntos, círculos ...). Incluyen prácticamente todos los comandos existentes en el módulo de pieza.

- **ISO métrico conjunto:** el módulo conjunto tiene comandos para el ensamblaje de piezas, como la alineación coincidencia... para poder realizar el modelado completo del conjunto.
- **ISO métrico plano:** en este módulo se tiene la posibilidad de realizar planos independientes para producir dibujos técnicos directamente a partir de piezas tridimensionales o modelos de conjuntos. Se pueden crear dibujos que muestren varias vistas, secciones, detalles, cotas, notas...
- **ISO métrico soldadura:** este módulo proporciona un conjunto de comandos pensado para la construcción de soldaduras. En este módulo se permite la selección de la pieza del conjunto en la que se quiere incluir una soldadura.



## 6 MODELADO DE PIEZAS

Tras la obtención de los parámetros de diseño obtenidos anteriormente y la herramienta de diseño ya seleccionado, se procede a las explicaciones de todas las operaciones realizadas para el modelado tridimensional del decantador secundario circular con rasquetas.

### 6.1 Recinto circular del decantador secundario.

El recinto del decantador circular se compone de las siguientes piezas:

- Cuerpo del recinto circular.
- Secciones de distribución de entrada de agua.
- Tuberías.
- Sujeción pivote central.

#### 6.1.1 Cuerpo de recinto circular.

Primeramente, se ha procedido a la obtención del recinto circular del decantador secundario, se muestra a continuación el boceto realizado.

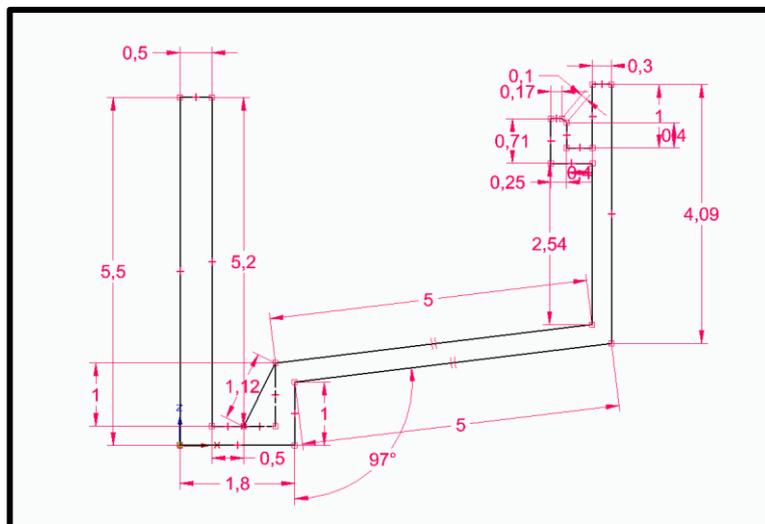


Figura 23. Boceto decantador secundario circular.

Tras el diseño del boceto, se realiza una extrusión por revolución para la obtención completa del cuerpo del decantador.



Figura 24. Extrusión por revolución decantador secundario circular.

### 6.1.2 Secciones de distribución de entrada de agua.

Seguidamente, se realiza las secciones para los huecos de distribución de salida de agua al decantador, mediante la realización de un rectángulo en una de las caras de la columna, con un vaciado y un patrón circular se completan las cuatro salidas de agua.

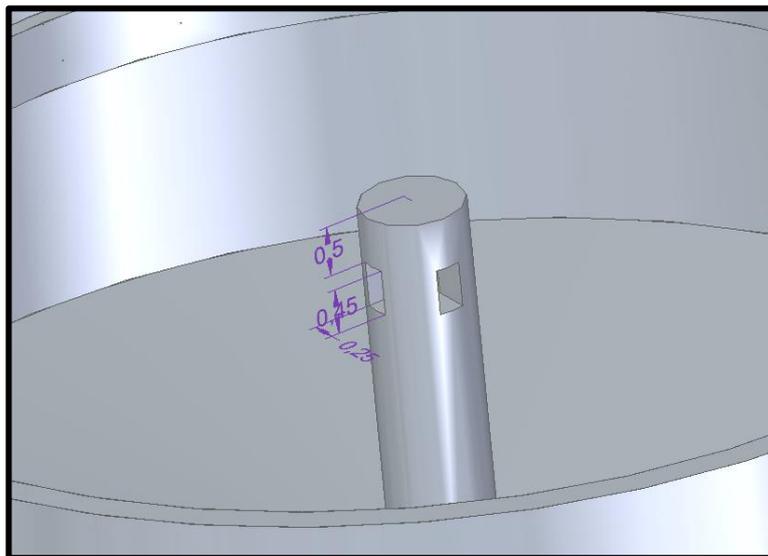


Figura 25. Secciones de distribución de entrada de agua.

### 6.1.3 Tuberías.

Se realiza el diseño de las tuberías del decantador, dichas tuberías se modelan en el mismo decantador ya que se encuentran embutidas en él, el modelado de las tuberías se realiza mediante, boceto circular con los diferentes diámetros de tubería y extrusión.

Se diferencian las siguientes:

- Tubería de entrada de agua.
- Tubería de salida de agua clarificada.
- Tubería de salida de sobrenadantes.
- Tubería de salida de fangos.

#### 6.1.3.1 Tubería de entrada de agua.

Se ha diseñado la tubería de entrada de agua de diámetro 250 mm, la cual se encuentra dentro de la columna central.

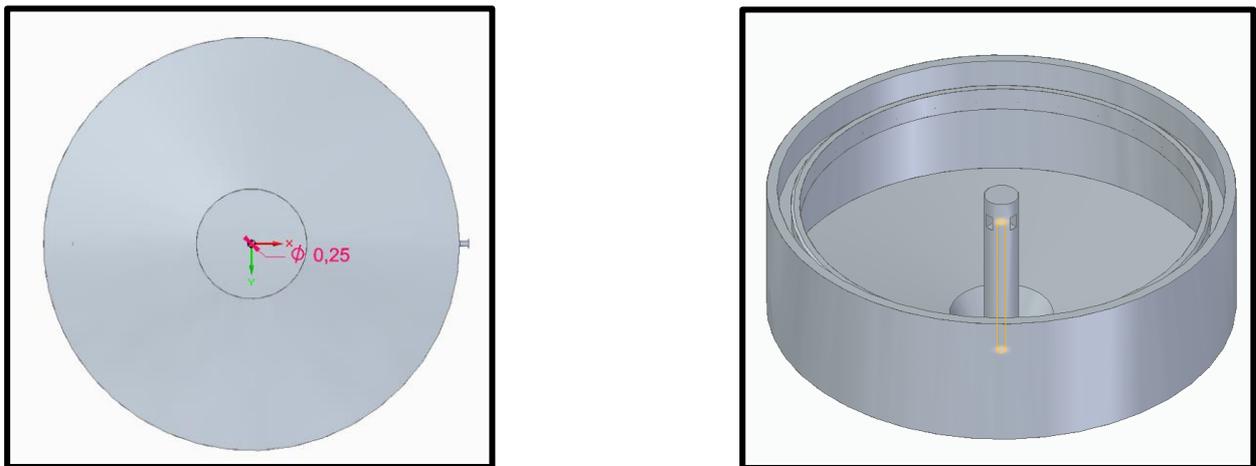


Figura 26. Tubería de entrada de agua.

### 6.1.3.2 Tubería de salida de agua clarificada.

El modelado de la tubería de salida de agua clarificada de 200 mm de diámetros, se ha diseñado hacienda uso de lo ya comentado anteriormente. Esta tubería se encuentra con una unión por bridas para su posterior conexión con otra tubería, la cual se diseña mediante un boceto circular y una realización de 8 agujeros mediante patrón.

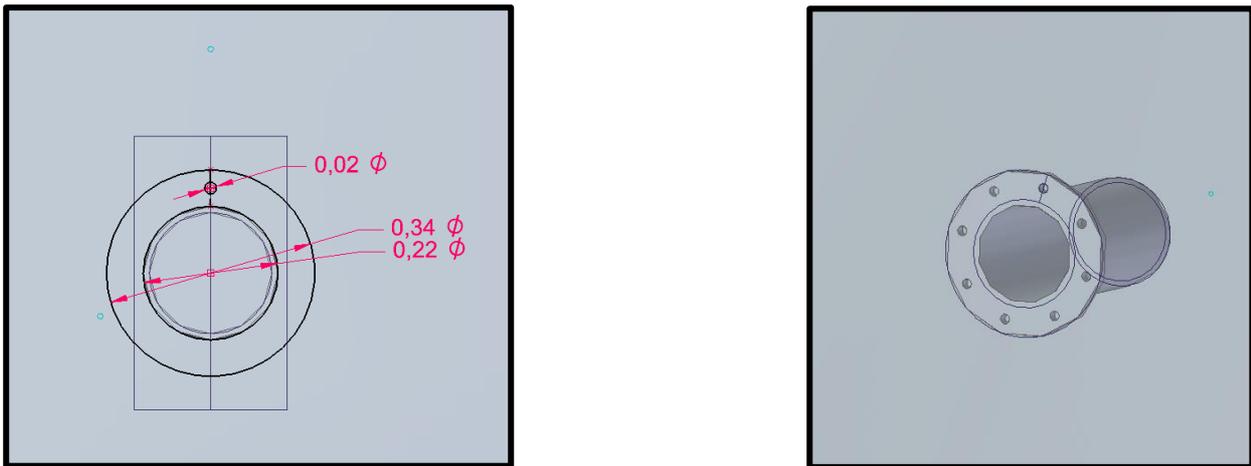


Figura 27. Tubería agua clarificada.

### 6.1.3.3 Tubería de salida de sobrenadante

El diseño de la tubería de sobrenadantes de 150 mm de diámetro sigue la misma metodología de modelado que las tubería de agua clarificada, la única diferencia que en los dos extremos de la tubería nos encontramos con dos bridas de unión.

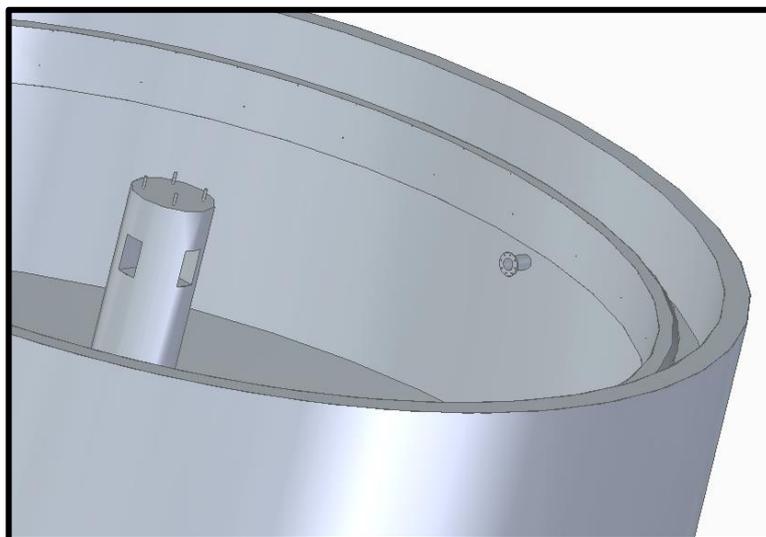


Figura 28. Tubería sobrenadante.

#### 6.1.3.4 Tubería de salida de fangos.

El modelado de la tubería de fango tiene el mismo inconveniente que la tubería de entrada de agua, están enterradas por tanto solo se ha diseñado el agujero del pasamuros de 150 mm de diámetro.

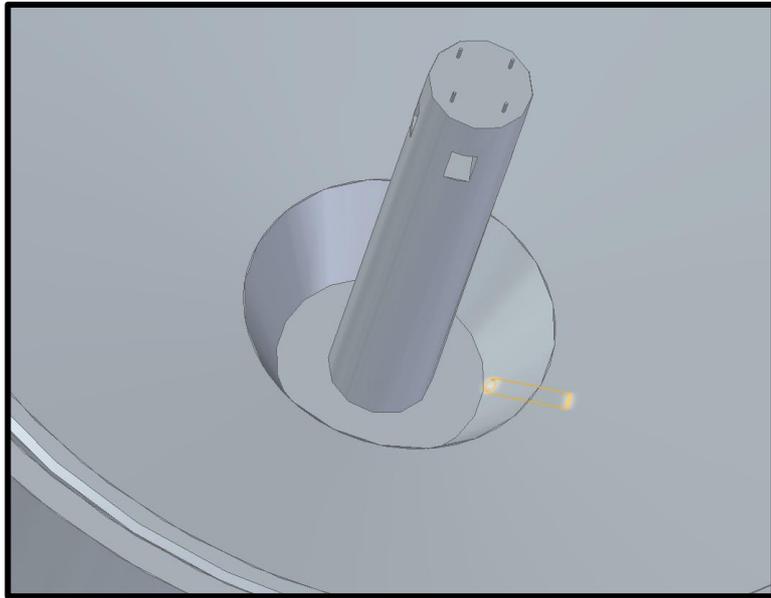


Figura 29. Tubería de fango.

#### 6.1.4 Sujeción pivote central.

Por último, se realiza el diseño de la sujeción de anclaje del pivote central. Se ha comenzado con la realización de un boceto de una simple circunferencias de 25 mm de diámetro, tras el boceto se continua con una extrusión para dar altura a la pieza. Se realiza la rosca de métrica 25 (M25x2) para la sujeción con tuercas y tras ello, se aplica un patrón para obtener las cuatro piezas requeridas.

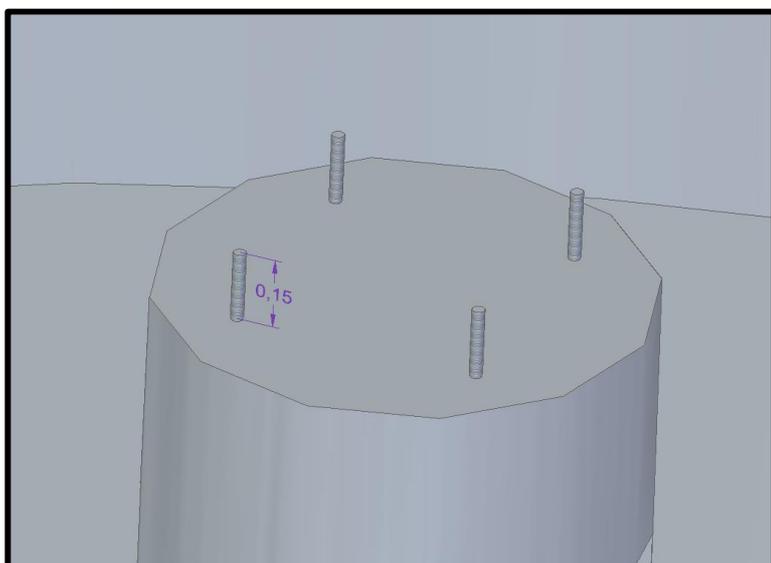


Figura 30. Sujeción pivote central.

## 6.2 Aliviadero perimetral.

Para el modelado de esta pieza primeramente, se realizan unas circunferencias de diámetro 11,62 m y un espesor de 4 mm, tras ello se realiza una protrusión de 0,20 m.

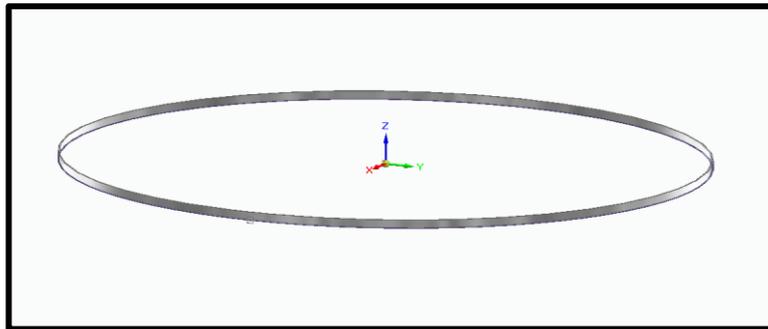


Figura 31. Aliviadera.

Para la forma del aliviadero, se realiza un boceto como se muestra en la figura 32, a continuación se le realizan los taladros de sujeción de agarre al hormigón, y mediante patrón circular tanto la forma del aliviadero como de los agujeros realizados, se obtiene el diseño mostrado en la figura 34.

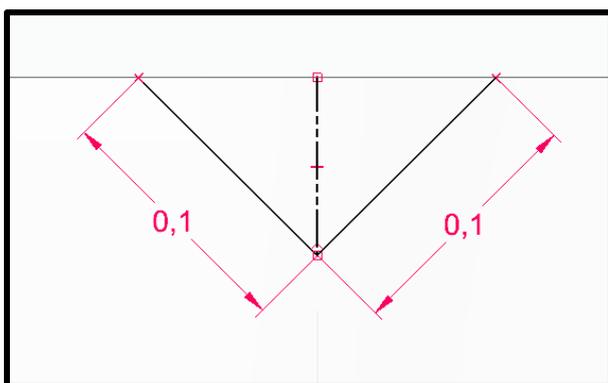


Figura 32. Boceto aliviadero

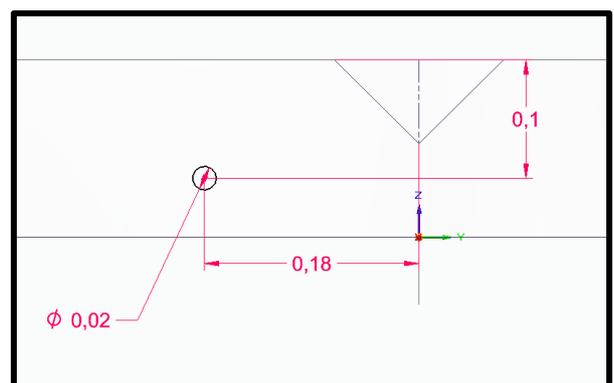


Figura 33. Taladro aliviadero.

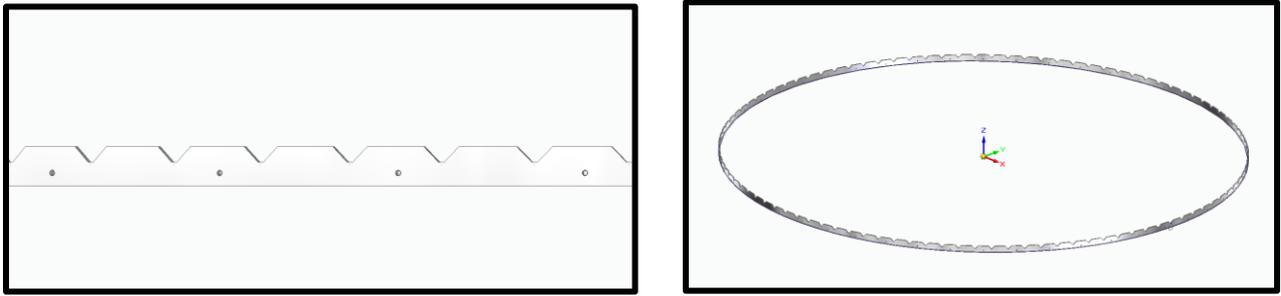


Figura 34. Resultado final modelado aliviadero.

### 6.3 Deflector perimetral.

Se comienza a modelar de forma similar al aliviadero, se realiza una circunferencia de diámetro 11,02 y espesor 4mm, en este caso se ha realizado una protrusión simétrica de 0,40 m.

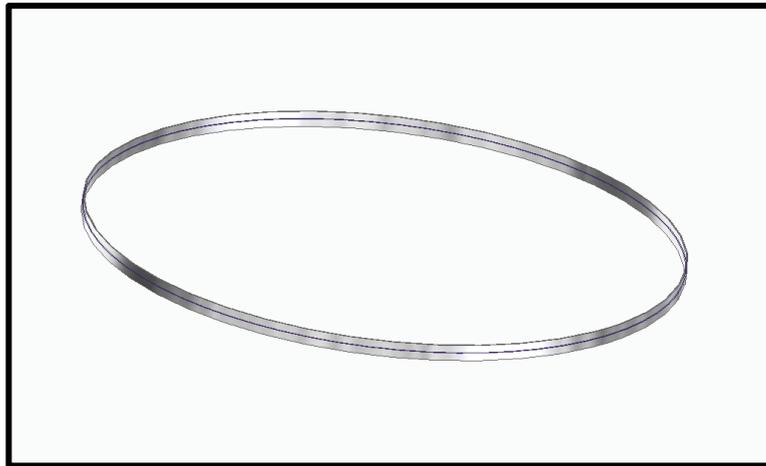


Figura 35. Protrusión simétrica deflector perimetral.

Se realiza a continuación el modelado de las pletinas de agarre para la sujeción del deflector perimetral. Se realiza el modelo con un protrusión por barrido. Mediante patrón circular se colocan 30 soportes, en los cuales se les realizan unos taladros de 20 mm para la sujeción en la pared del decantador.

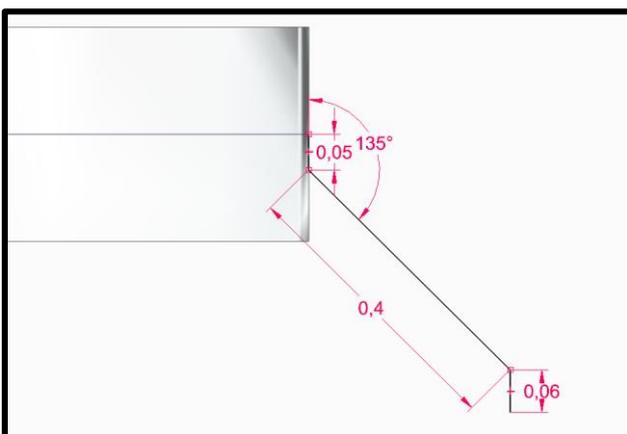


Figura 37. Boceto de pletina eje xz

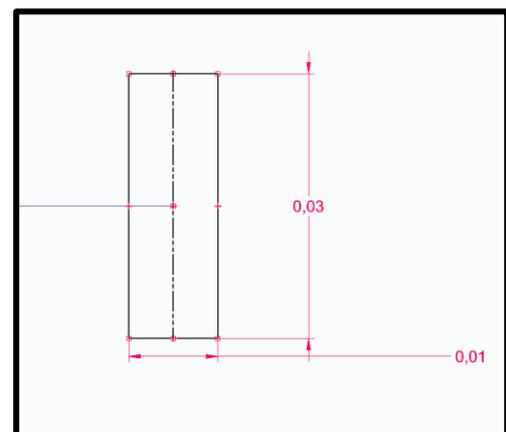


Figura 36. Boceto de pletina eje xy

Se muestra a continuación el resultado final de la pieza.

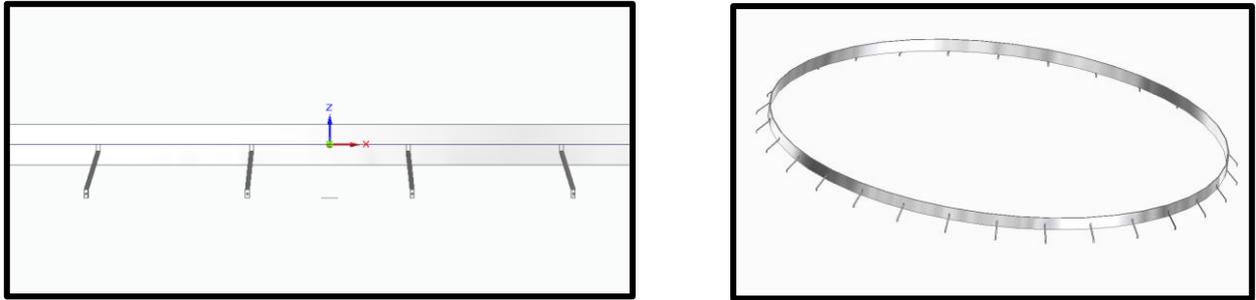


Figura 38. Resultado final deflector perimetral

## 6.4 Pivote central.

Para el diseño de esta pieza, primeramente, se modela el soporte que se conecta a la columna central del decantador.

Se realiza un boceto de forma cuadrada tal como muestra la figura 39, mediante extrusión y realización de agujeros pasantes para la sujeción, se obtiene el diseño de la pieza.

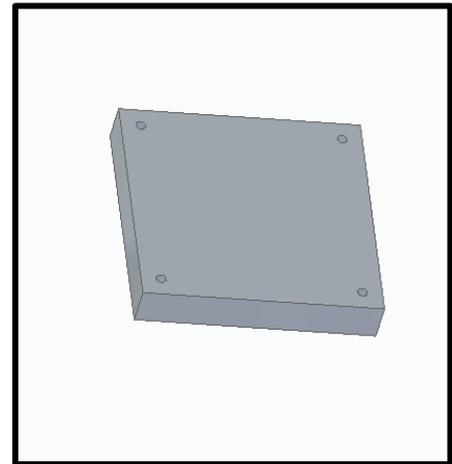
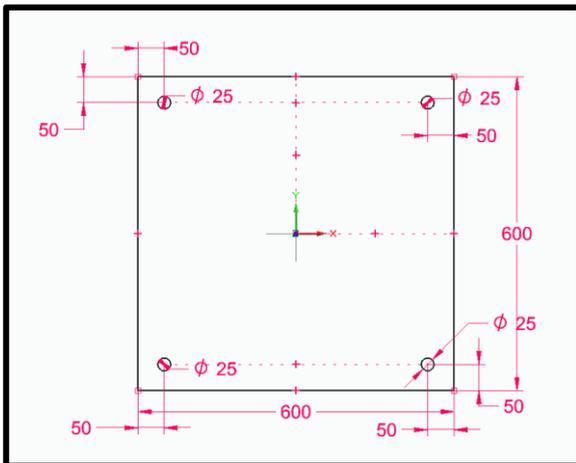


Figura 39. Placa sujeción pivote central.

A continuación, se procede al modelado del soporte inferior de 50 cm de diámetro y 10 mm de espesor y la carcasa del rodamiento de diámetro exterior de 40 cm y espesor 20 mm y una altura de 50 mm.

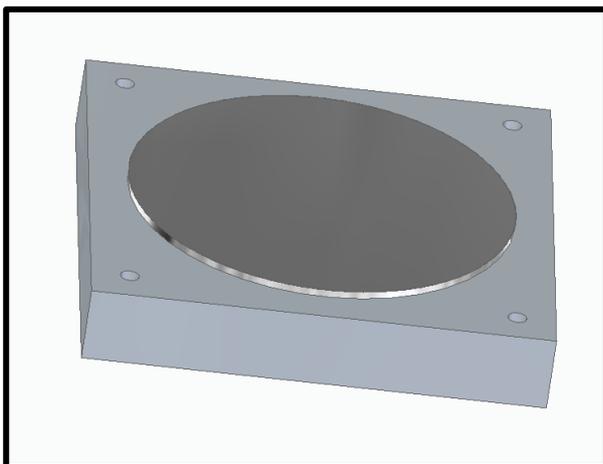


Figura 41. Soporte rodamiento.

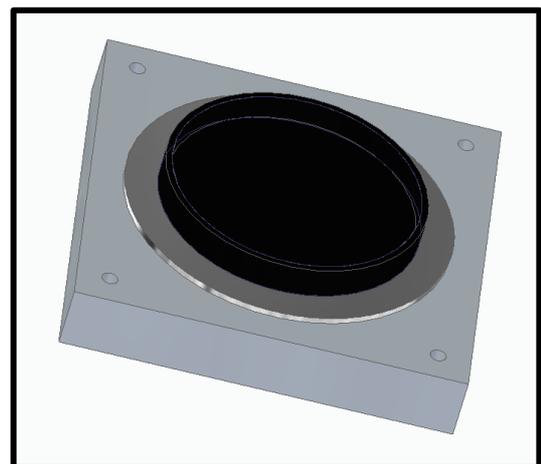


Figura 40. Carcasa rodamiento.

Tras ello se procede al modelado del rodamiento. El diseño se realiza mediante una protrusión de circunferencias. El rodamiento tiene de diámetro exterior 37 cm y de interior 15 cm y una altura de 40 mm.

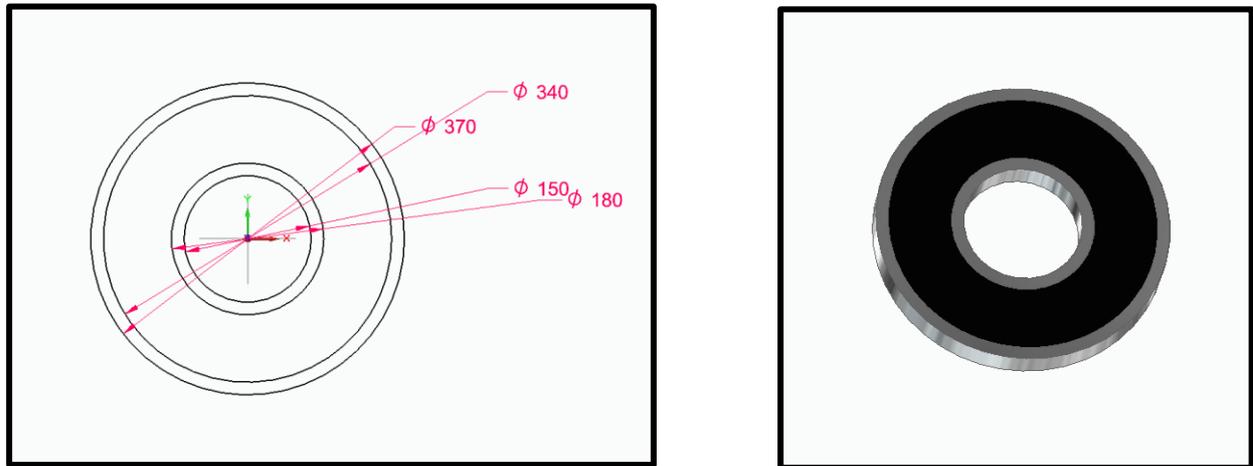


Figura 42. Rodamiento pivote central.

A continuación, se realiza el modelado de la parte superior del pivote central. El diseño se realiza mediante la protrusión de los bocetos realizados. Primeramente, se realiza el boceto de la parte superior que cubre la carcasa y el rodamiento con unas dimensiones similares al anterior soporte y seguidamente la unión con el puente, con un diámetro de 30 cm.

Tras ello se procede al diseño de las pletinas de unión del puente con el pivote central, se les realiza unos taladros de 20 mm de diámetros para la sujeción con tornillos. Una vez realizado eso se diseña el eje que se introduce en el rodamiento para la permisión de giro, con un diámetro de 14 cm y una altura de 40 mm.

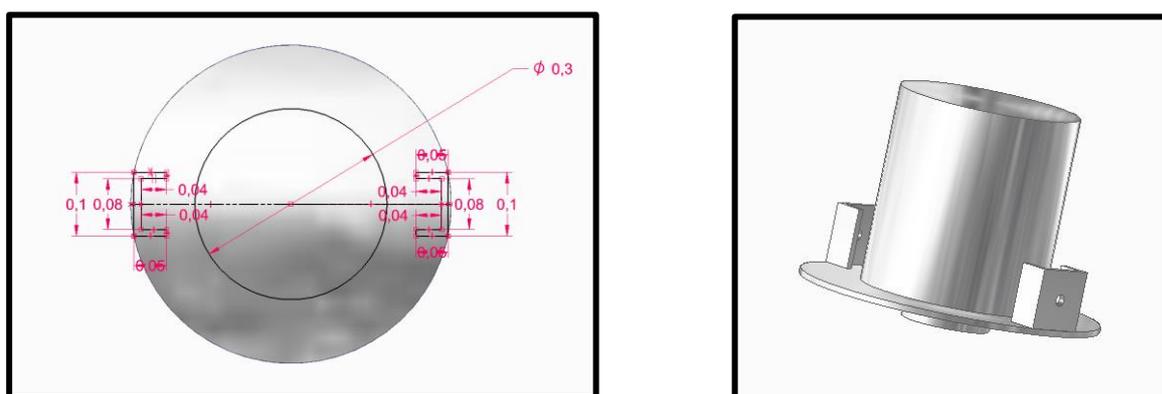


Figura 43. Diseño superior del pivote central.

## 6.5 Puente.

Para el modelado del Puente completo, se ha de destacar las partes principales de diseño:

- Estructura del Puente.
- Barandas Puente.
- Tramex de la pasarela.
- Campana deflectora central.
- Rasqueta sobrenadante.

### 6.5.1 Estructura del Puente.

Para el diseño de la estructura del Puente se ha realizado un boceto en planta de un rectángulo de 7,76 m de longitud y 1 m de ancho, tras ello y mediante un boceto en el plano YZ se realiza la biga.

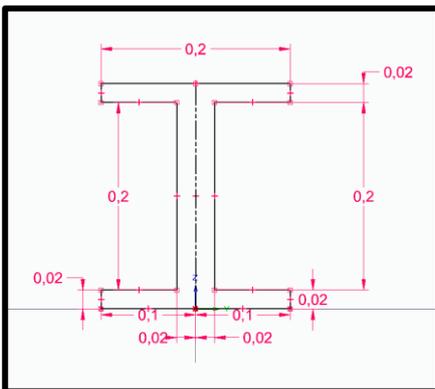


Figura 45. Boceto biga puente.

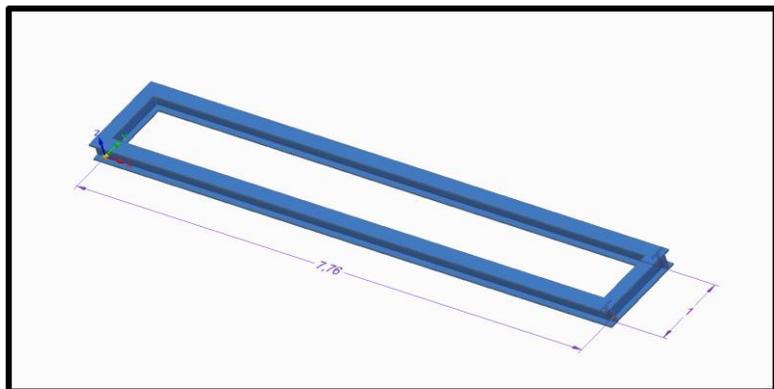


Figura 44. Protrusión por barrido biga puente.

Una vez realiza la estructura, se diseña en ella el soporte de las ruedas, del pivote central y el de la sujeción del tramex.

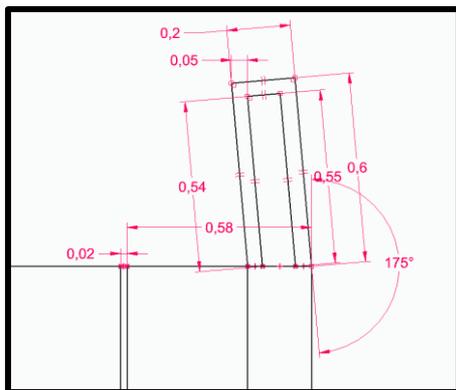


Figura 47. Boceto soporte ruedas

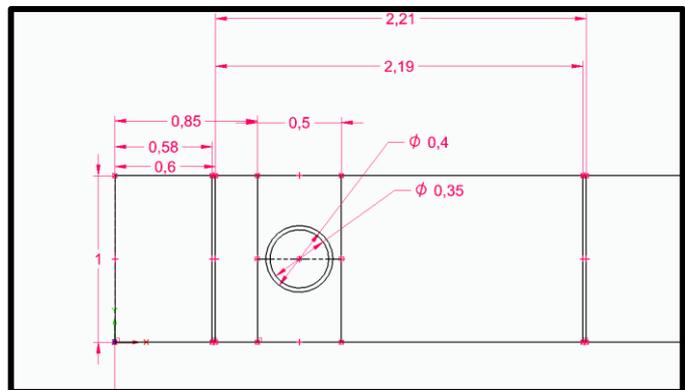


Figura 46. Soporte pivote central y estructuras soporte tramex

Se representa las piezas con lo diseñado anteriormente, cabe destacar que se ha diseñado los agarres del Puente con la estructura del pivote central.

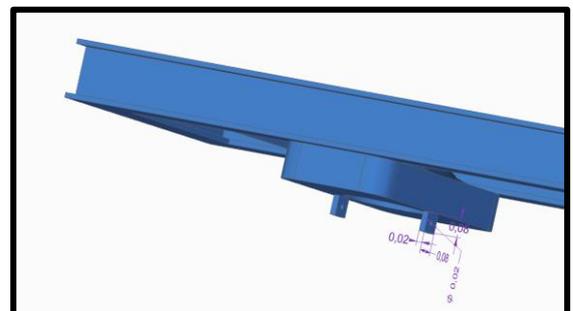
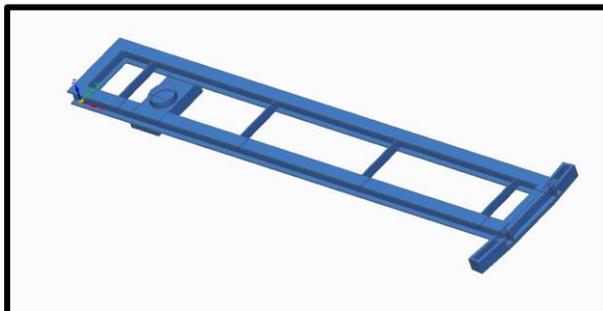


Figura 48. Modelado final estructura puente.

### 6.5.2 Barandas puentes.

Tras el modelado de la estructura del puente, se modelan las barandas, primeramente, se ha diseñado los postes verticales, se ha realizado un boceto en plano XY y tras ello una protrusión, una vez modelado una de ella se realiza un patrón para colocar las demás en la estructura del Puente, en total se han colocado 16 postes de sujeción para la baranda.

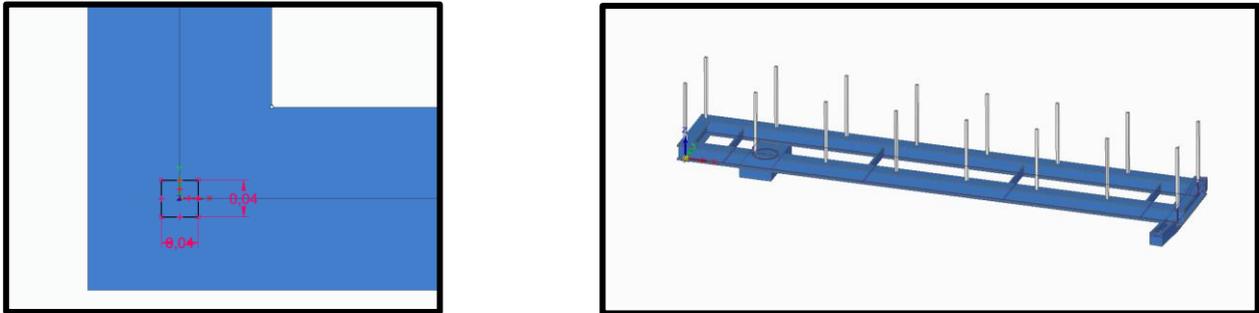


Figura 49. Boceto y protrusión de postes para baranda.

Para las barandas superiores se ha procedido de la misma forma, se realiza un boceto de 40x20 mm y mediante protrusión por barrido se obtiene el modelado del pasa mano de la baranda del puente.

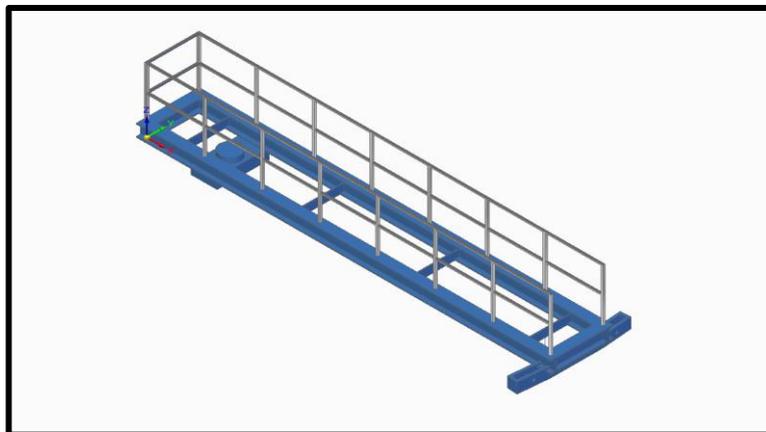


Figura 50. Diseño final de las barandas del puente.

### 6.5.3 Tramex

A continuación, se modela el tramex colocado para pasarela del puente, para ello se ha hecho uso de las mismas herramientas empleadas anteriormente, se ha realizado dos tipos de boceto, el primer boceto a realizar son las pletinas verticales de 1x5 mm y tras ella el boceto de los redondos horizontales de 5 mm de diámetro, se les realiza un protrusión por barrido y mediante patrón se obtiene el modelo completo del tramex, cabe destacar que se ha diseñado según catalogo de area 3x3 mm.

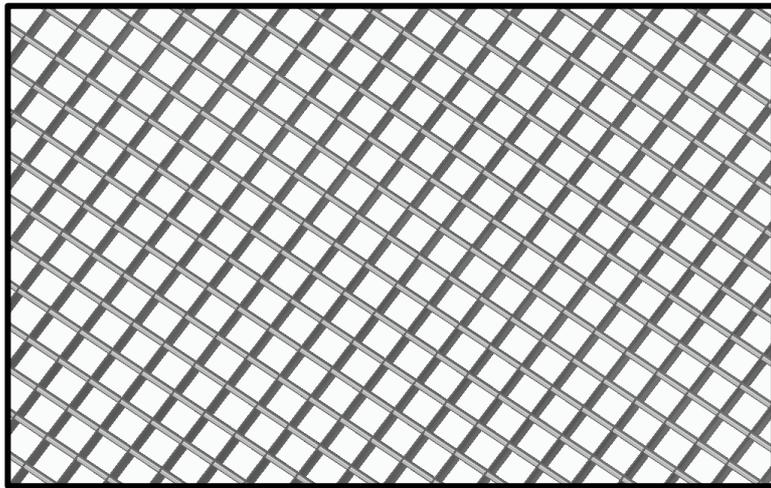


Figura 51. Diseño de tramex.

### 6.5.4 Campana deflectora central.

A continuación, se realizan los soportes de la campana deflectora central o campana de tranquilización, haciendo uso de la misma metodología que en los diseños anteriormente, se plantea un boceto en planta y mediante protrusión y patrón se obtienen los cuatro soportes para la sujeción de la campana central.

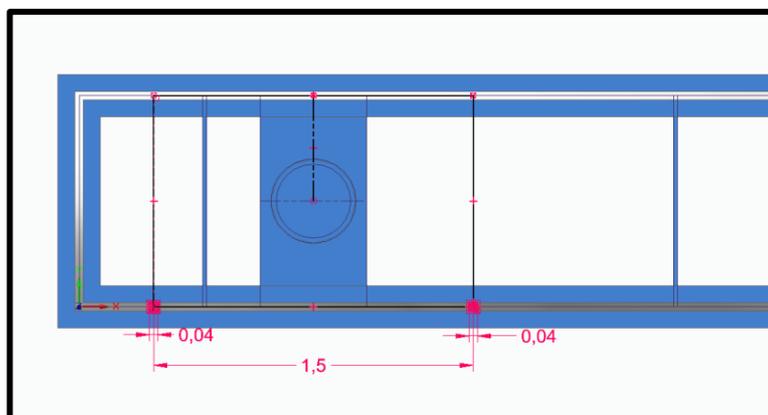


Figura 52. Boceto soporte vertical sujeción campana central.

Seguidamente, se realiza el boceto de las sujeciones horizontales y los refuerzos de las mismas, se procede de forma similar a lo explicado anteriormente.

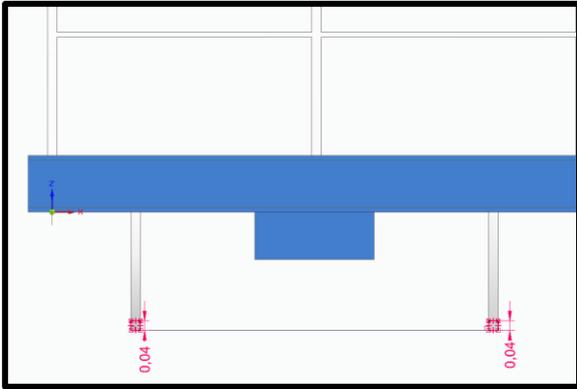


Figura 53. Sujeción horizontal.

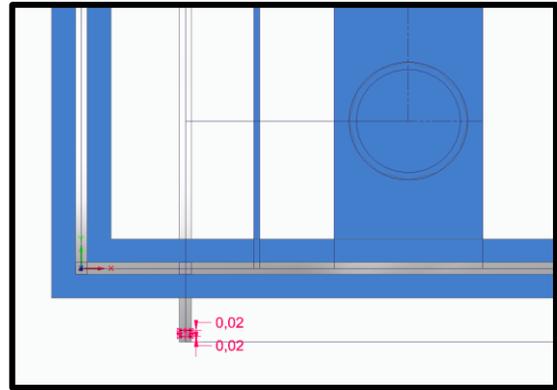


Figura 54. Refuerzos de las sujeciones

A continuación, se representa el resultado final de las sujeciones de la campana deflectora.

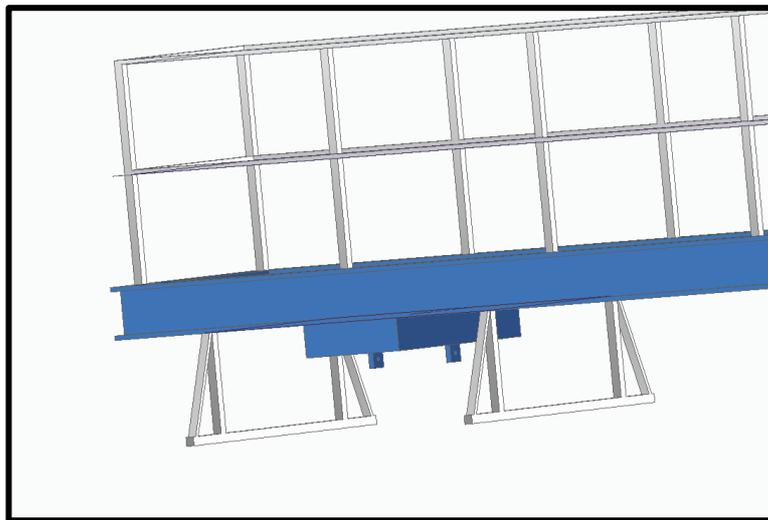


Figura 55. Sujeción campana deflectora central.

Seguidamente se realiza el modelado de la campana deflectora central, se diseña mediante una circunferencia de 2,18 m de diámetros y 3 mm de espesor.

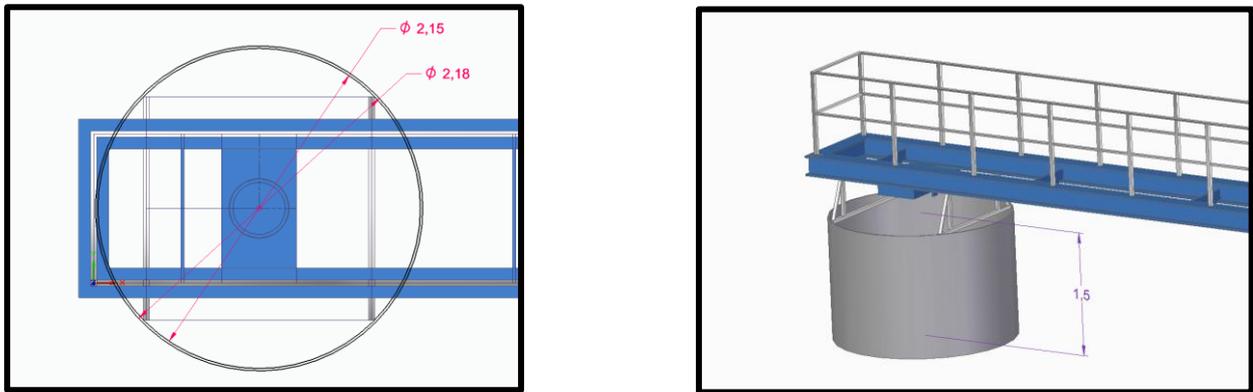


Figura 56. Campana deflectora central.

### 6.5.5 Deflector radial.

Tras el diseño de la campana central, se dispone a modelar las correas de sujeción de las rasquetas de fondo y del deflector radial, también incorporadas en el puente, se realizan la misma metodología ya comentada anteriormente, protrusión por barrido, para la obtención las piezas.

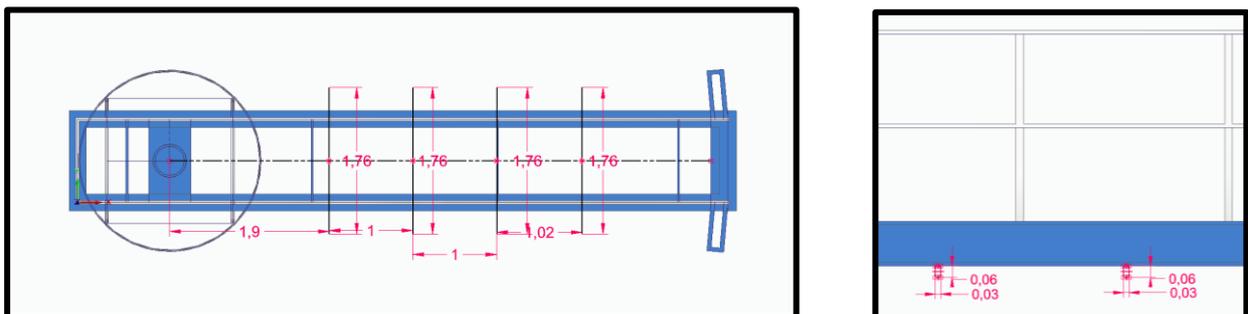


Figura 57. Bocetos correas de sujeción de rasquetas.

Se representa el resultado final de la piezas modeladas.

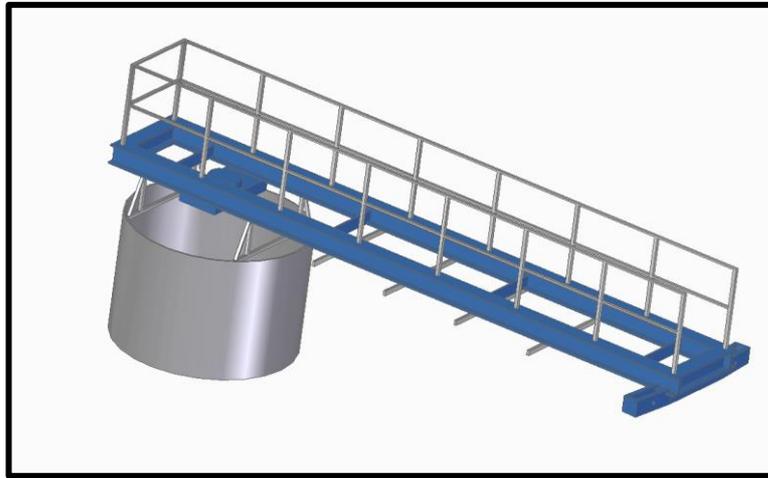


Figura 58. Diseño correas de sujeción.

En dichas correas se diseñan los agarres de las rasquetas de fondo.

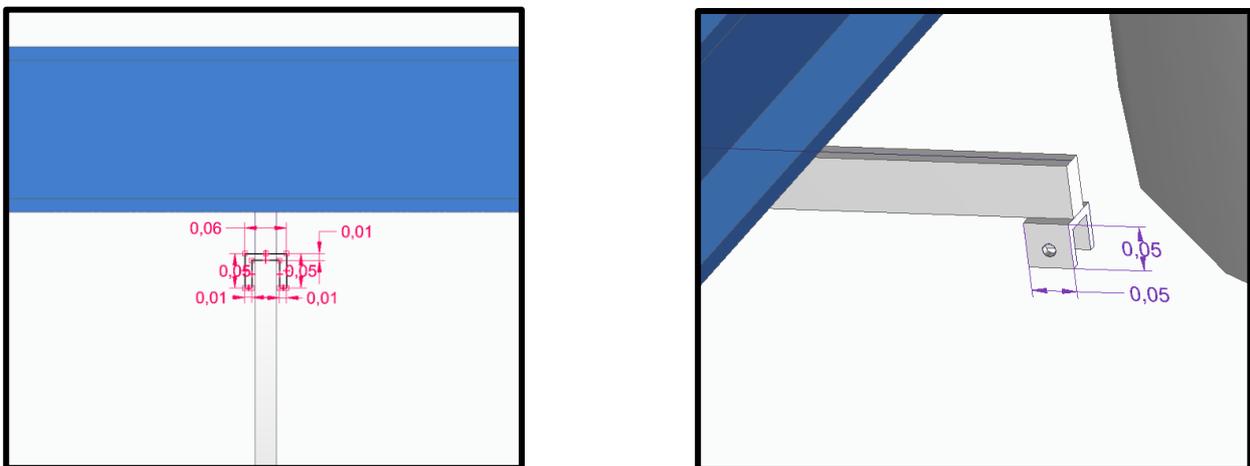


Figura 59. Agarre de rasqueta de fondo.

Tras los agarres de la rasqueta de fondo, se continúa con el modelado del deflector radial. Se diseña la trayectoria y el boceto, tras ello se realiza la operación de protrusión por barrido.

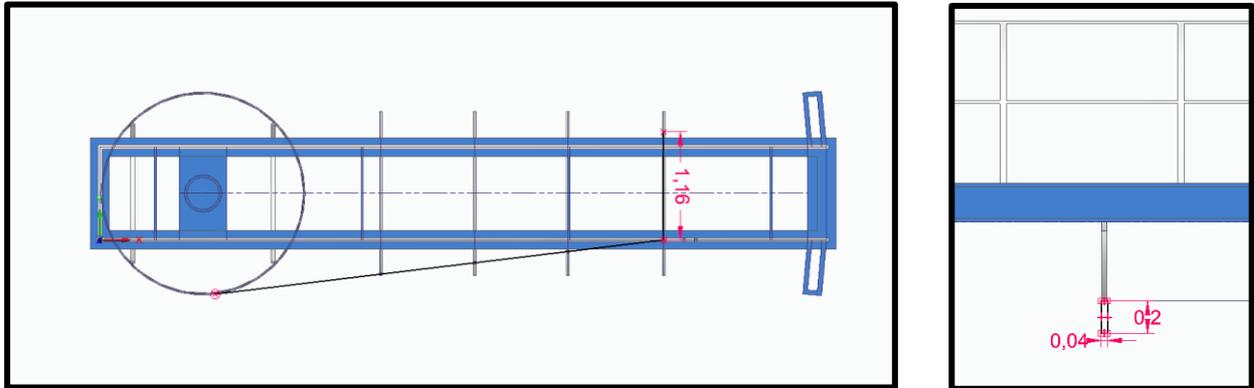


Figura 60. Trayectoria y boceto deflector radial.

Actuando con las mismas condiciones de diseño, protrusión por barrido se realizan las sujeciones del deflector radial, realizando un boceto en las correas de sujeción de 30 x 30 mm. Tras todo lo diseñado con anterioridad se representa el diseño de las piezas modeladas.

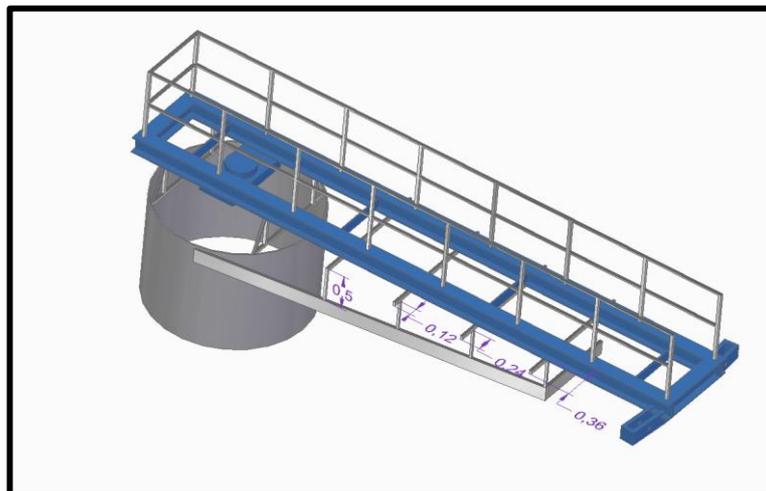


Figura 61. Deflector radial.

Seguidamente, se ha dimensionado la rasqueta encargada de verter los sobrenadantes dentro de la tolva para su posterior evacuación. Primeramente, se ha diseñado los tubos de sujeción de la pletina, haciendo uso de la trayectoria mostrada a continuación y mediante un bocedo de 30x30 mm, se obtiene el diseño haciendo uso de protrusion por barrido.

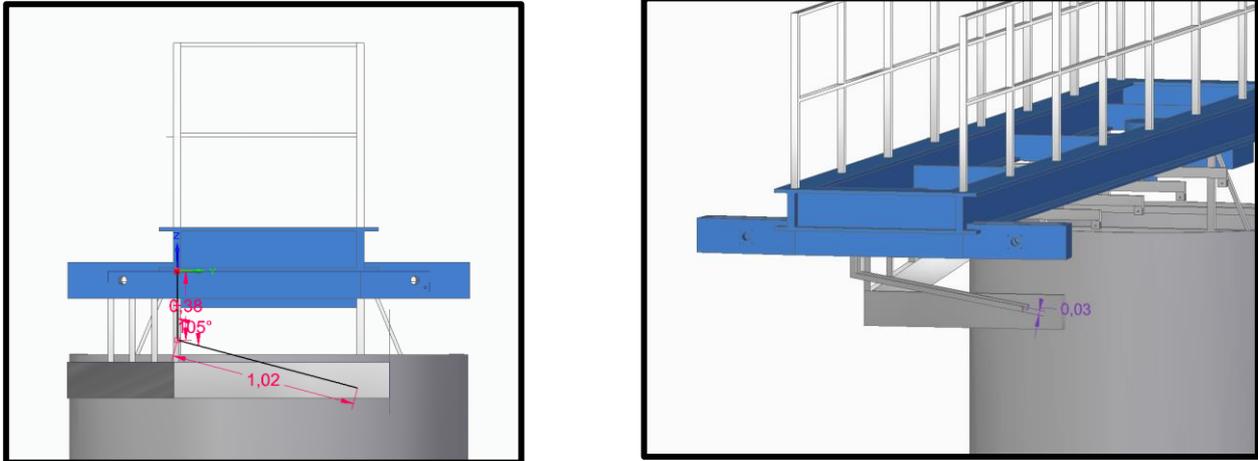


Figura 62. Sujeción pletina sobrenadante.

Se procede a realizar la pletina de sujeción del plástico encargado de verter los sobrenadantes en la tolva. El diseño se realiza con un plano perpendicular a la curva por el cual se crea un boceto y mediante protrusión por barrido se crea la pletina. Tras la obtención del modelo se le realizan unos agujeros para la sujeción del plástico.

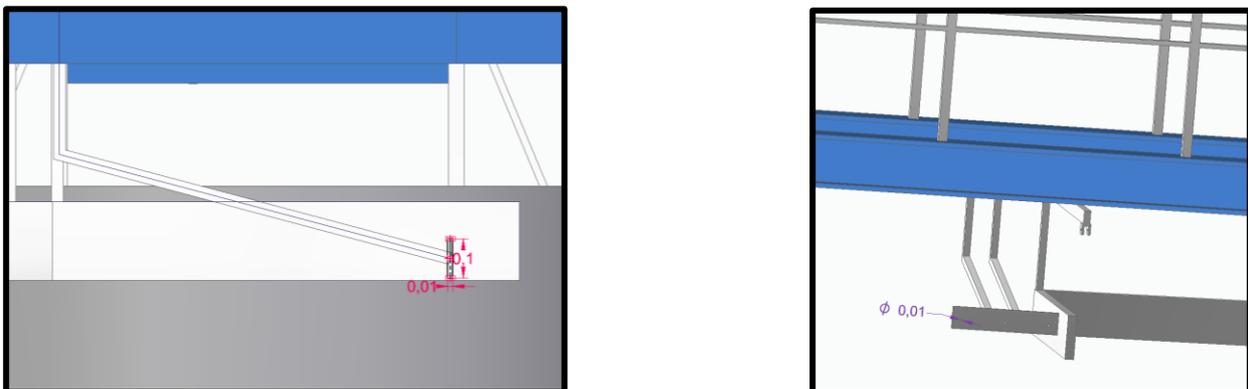


Figura 63. Pletina sobrenadante.

Se representa a continuación el diseño del puente completo.

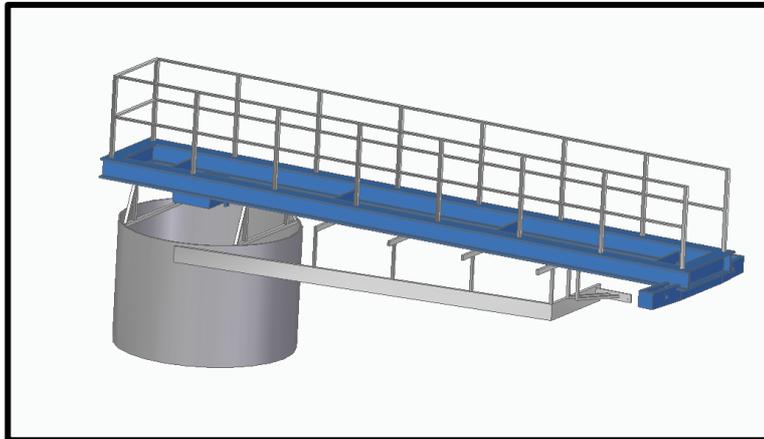


Figura 64. Diseño final del

## 6.6 Rasqueta de fondo.

En este apartado se procede al diseño de las rasquetas de fondo del decantador, para la realización del modelado, primeramente, se ha realizado una trayectoria con la inclinación que tiene el fondo del decantador y tras ella, y mediante protrusión por barrido de un rectángulo de 50x20 mm, se realiza el modelo de la pletina de fondo. Una vez obtenida la pletina se procede a la obtención de las tirantas de conexión y sujeción con el puente, realizando la misma operación explicada ya anteriormente, protrusión por barrido. Una vez obtenido el modelo completo de las rasquetas se les realizan los taladros para la sujeción con los agarres del puente.

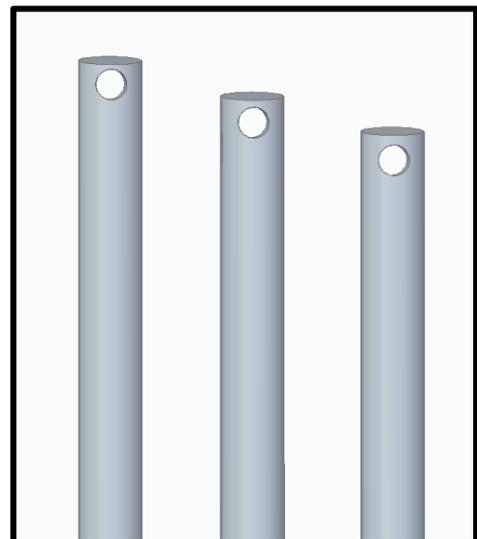
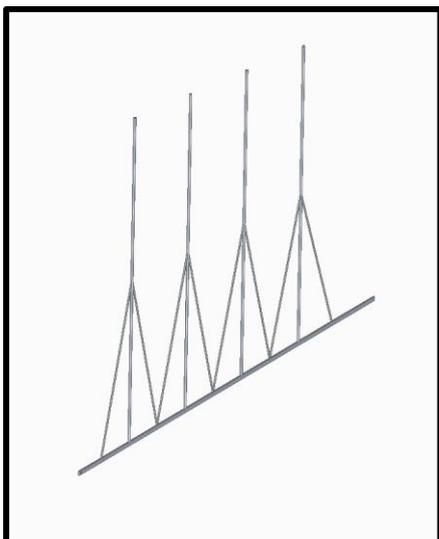


Figura 65. Rasqueta de fondo.

## 6.7 Tolva recogida de sobrenadantes.

La tolva de recogida de sobrenadantes, es la encargada de desecharlos fuera del decantador, para su modelado, primeramente, se diseña el cuerpo de la tolva y tras ella la tubería por la cual se desecha lo recogido.

Se realizan los bocetos para el cuerpo de la tolva, un rectángulo 30x50 cm y 10 mm de espesor y una circunferencia de 17 cm y 2 mm de espesor. Tras ello realizando una protrusión por sección, se obtiene el modelado, se diseña una rejilla de paso de 10 mm de espesor para evitar que el plástico de la pletina de sobrenadante choque con la pared interior de la tolva.

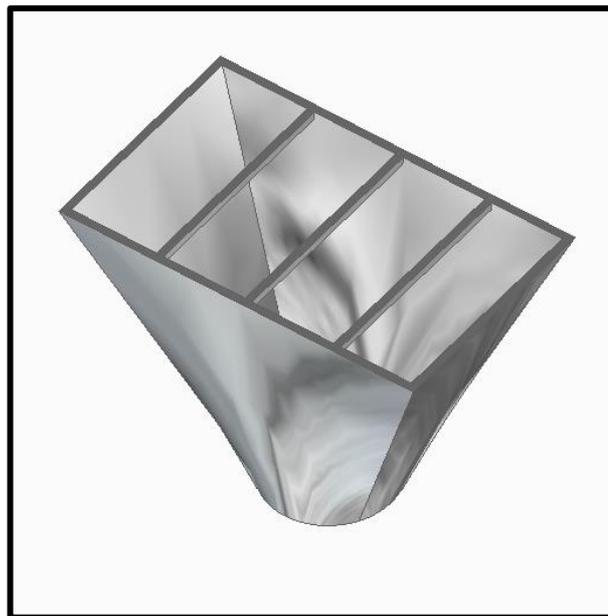


Figura 66. Cuerpo tolva sobrenadantes.

Seguidamente, se diseñan tres tipos de pletinas de 5 mm de espesor, el objetivo de la dos primeras es la permisión de facilitar la subida y bajada del plástico de sobrenadante a la tolva. La tercera pletina, se diseña para evitar que se viertan los sobrenadantes de nuevo al decantador. La forma de diseño es muy similar a la ya comentada anteriormente, protrusión por barrido.

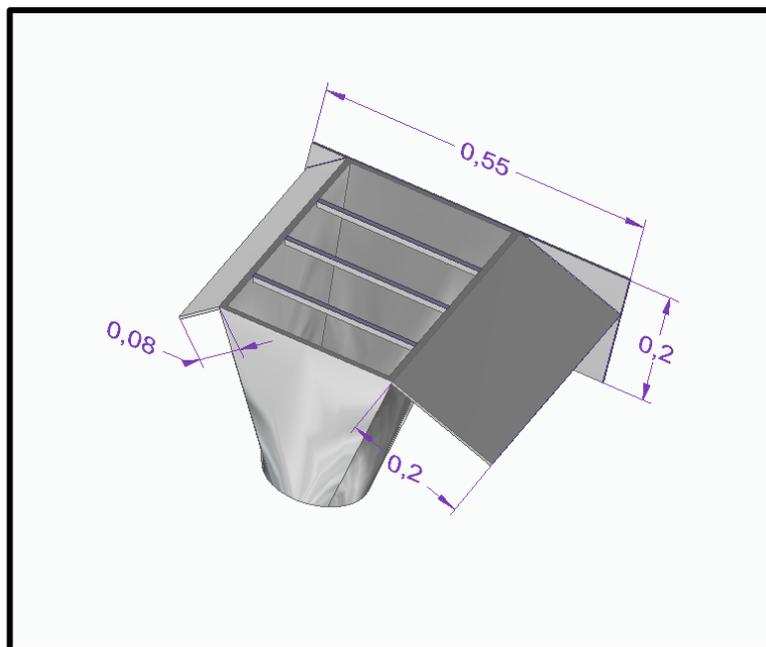


Figura 67. Pletinas tolva sobrenadante.

Una vez obtenido el diseño del cuerpo de la tolva, se diseña la tubería encargada de desechar los sobrenadantes fuera del decantador. Con el diámetro de base del cuerpo de la tolva y tras una protrusión por barrido se obtiene el modelado del tubo.

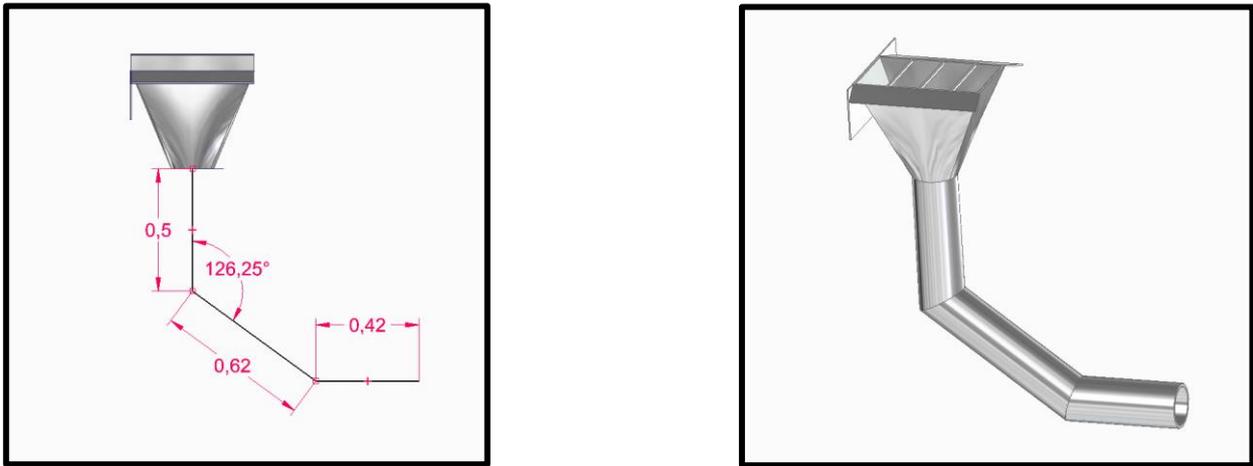


Figura 68. Boceto y protrusión por barrido tubo de salida de sobrenadantes.

Una vez obtenido el modelado del tubo se procede al diseño de la brida de unión de las dos tuberías, la de sobrenadante y la de salida del decantador. Para su diseño se ha realizado un boceto de una circunferencia, tras una extrusión se obtiene el modelo de la brida, una vez realizada dicha operación se realizan 8 taladros mediante patrón circular.

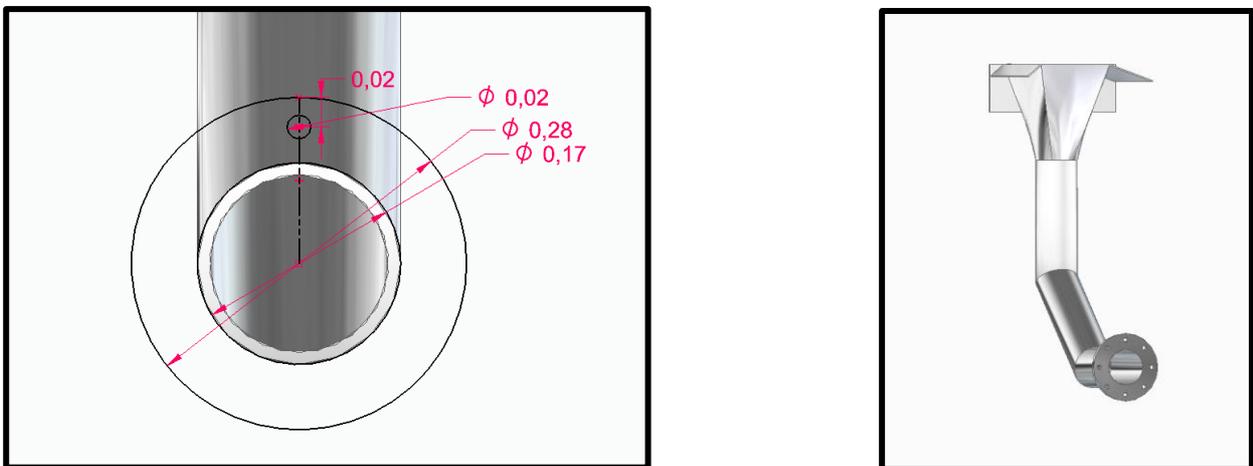


Figura 69. Brida tolva sobrenadante.

Tras el modelado de la brida de unión se procede al diseño de sujeción de la tolva con la pared del decantador. El diseño se obtiene mediante una protrusión por barrido de los diferentes bocetos y diferentes trayectorias. Se le realizan los taladros para la sujeción en la pared de decantador.

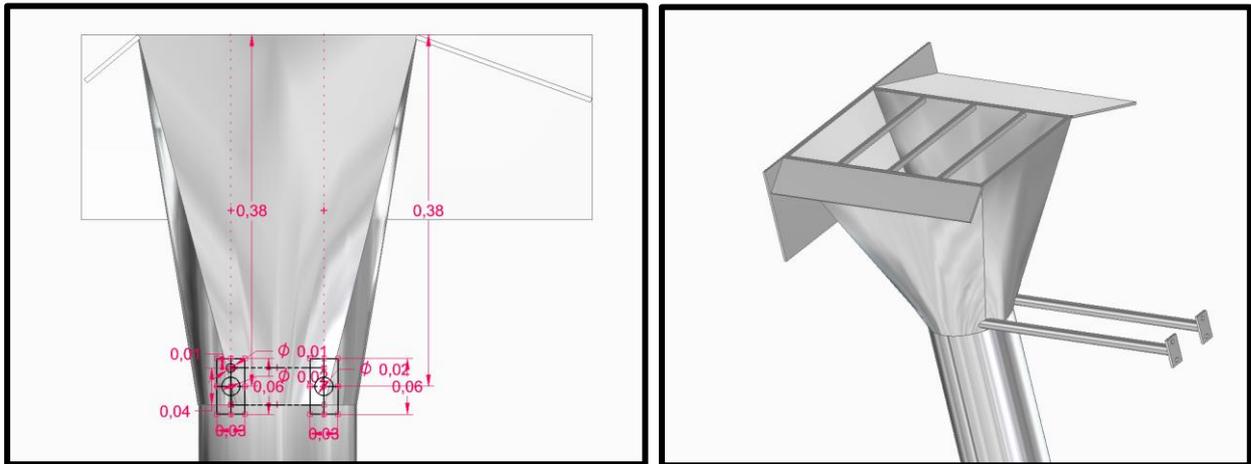


Figura 70. Sujeción tolva sobrenadante.

Una vez realizado todo lo explicado anteriormente el resultado final de la pieza modelada es el siguiente.

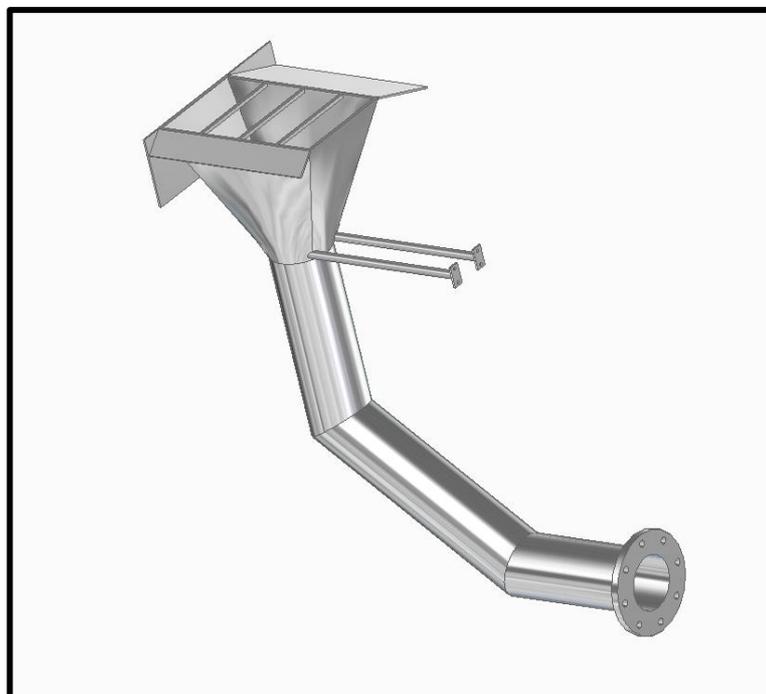


Figura 71. Tolva recogida sobrenadantes.

## 6.8 Accesorios del decantador secundario.

En este apartado se va a modelar los accesorios necesarios que complementan al decantador secundario

- Ruedas del Puente.
- Carcasas de ruedas.
- Plásticos de rasqueta de sobrenadante y rasqueta de fondo.
- Motor reductor.
- Tornillos, arandelas y tuercas.

### 6.8.1 Ruedas del Puente.

Para el diseño de las ruedas del Puente, se ha de diferenciar entre los dos tipos de ejes de ruedas a modelar, la rueda motriz y la rueda conducida se diferencian principalmente en los tipos de ejes. La rueda motriz lleva un “chaveta” para engarzar con el motor reductor para permitir el giro del Puente, la rueda seguidora un simple eje circular.

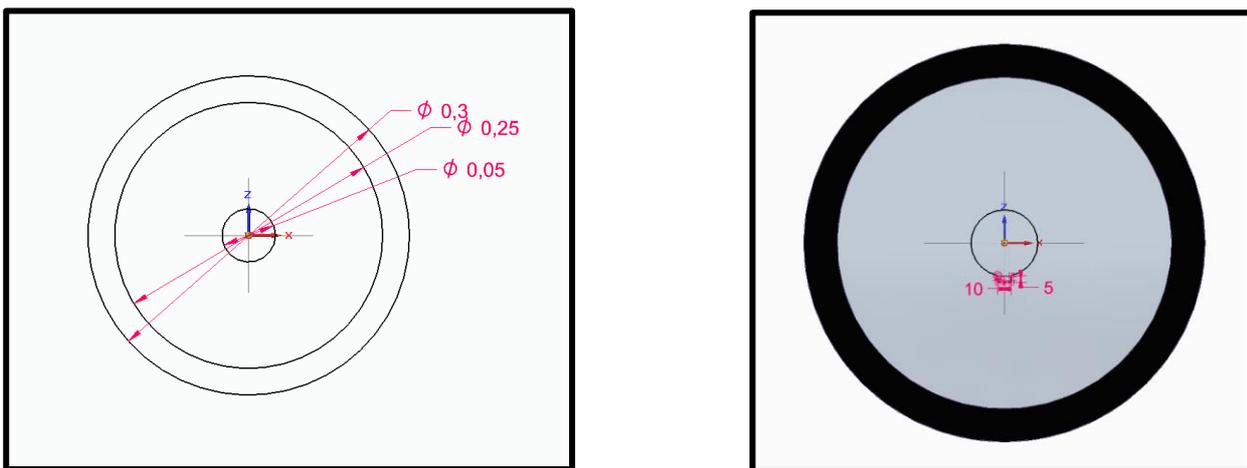


Figura 72. Boceto ruedas y boceto de conexión de la rueda motriz.

Tras la realización de los bocetos se representa el modelado final de las ruedas.

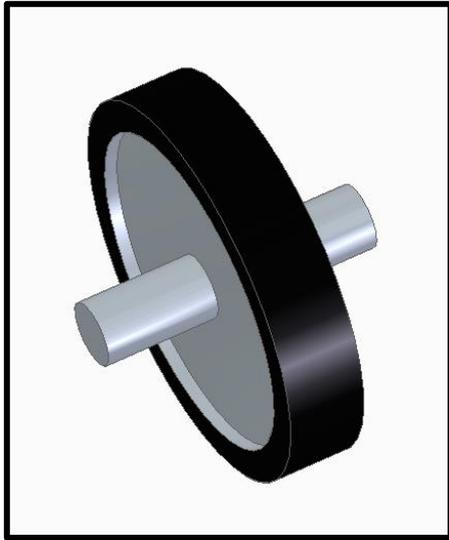


Figura 74. Rueda seguidora

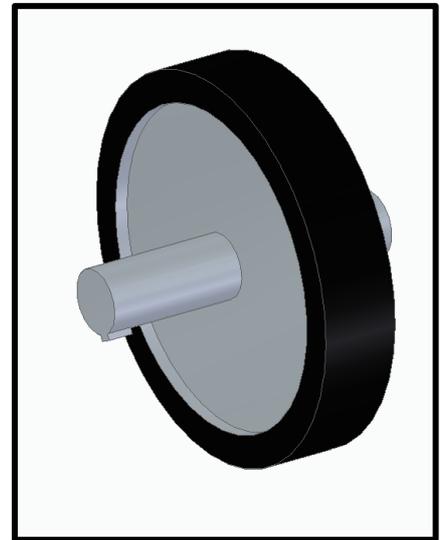


Figura 73. Rueda motriz

### 6.8.2 Carcasas de ruedas.

En este apartado se ha diseñado las carcasas de las ruedas, mediante la realización del boceto expresado en la figura 75, mediante extrusión y agujeros pasantes se obtiene el diseño final de la pieza.

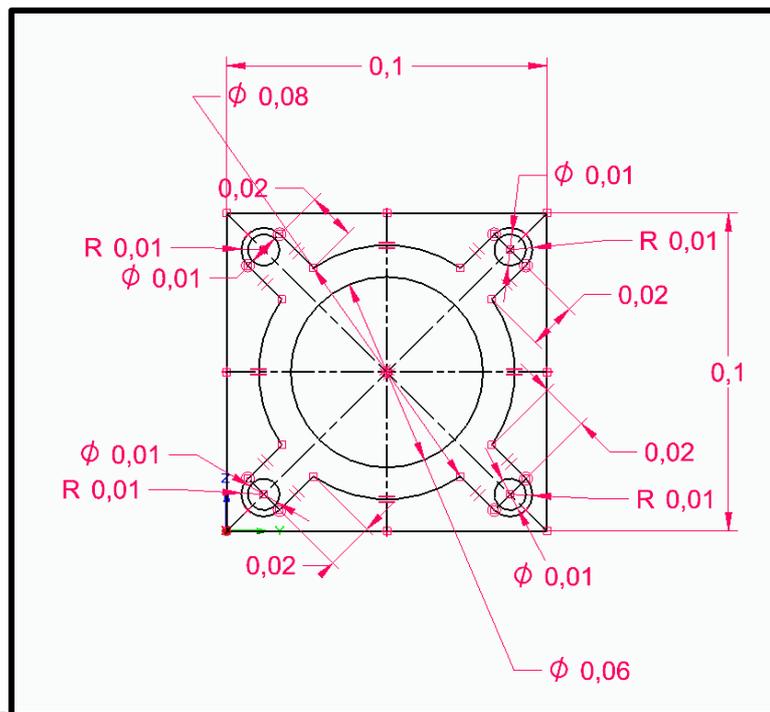


Figura 75. Boceto carcasa rueda.

El resultado final del modelado de la pieza es el siguiente.

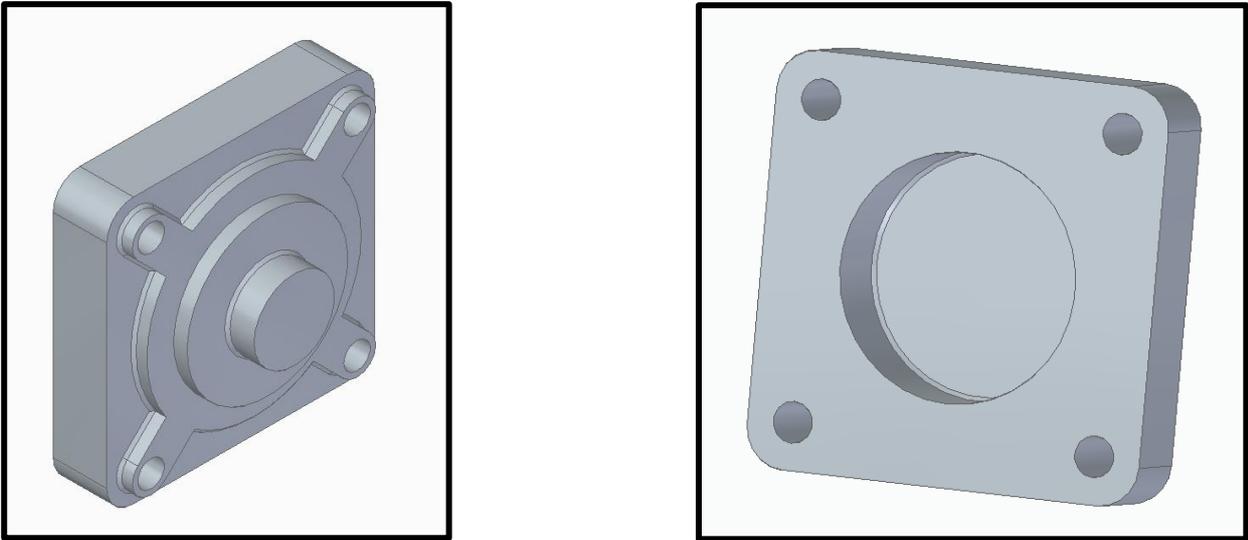


Figura 76. Carcasa de rueda.

### 6.8.3 Plástico de rasqueta de sobrenadante y rasquetas de fondo.

El modelado de estas piezas se realiza ambas de manera similar, se hace uso de la herramienta de diseño protrusion por barrido. Tras la protrusión de las piezas se le realizan unos agujeros pasantes de diametro 1 mm para su unión con las pletinas diseñadas anteriormente.

El boceto es un rectángulo de dimensiones 10x1 mm para la rasqueta de fondo y 12x1 mm para la rasqueta de sobrenadantes.

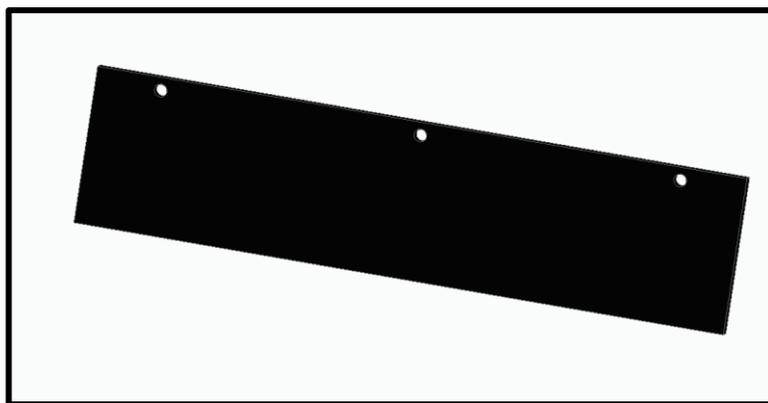


Figura 77. Plástico rasquete desobrenadante.

#### 6.8.4 Motor reductor.

En este apartado se pretende hacer una recreación del motor reductor, encargado de hacer girar el Puente, el motor consta de dos partes la parte del motor que permite el giro y la parte de reducción que permite aminorar el giro de la rueda, a continuación se presentan los bocetos para el diseño del motor reductor.

Se comienza con el diseño de par reductor, se obtiene mediante una extrusión de un cuadrado de 15 x 15 cm, en el cual se les realizan unos agujeros pasantes para la sujeción del motor con el puente.

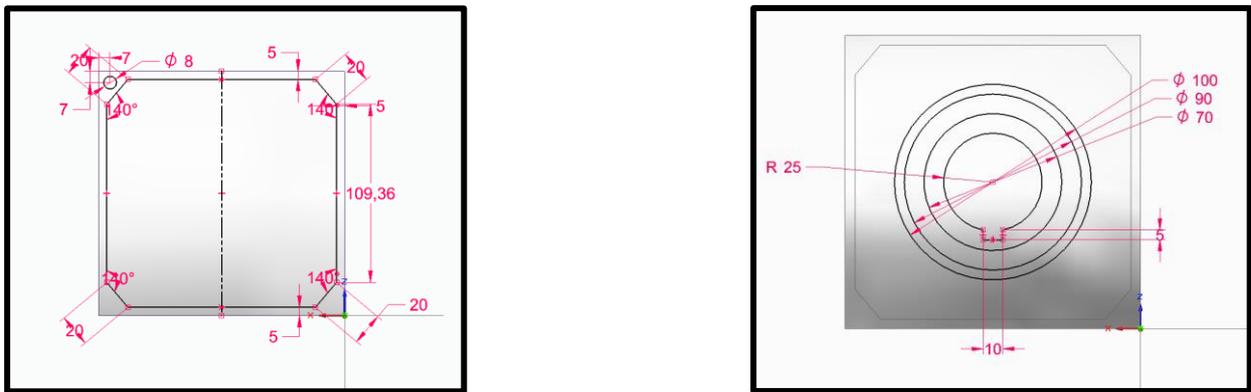


Figura 78. Boceto par reductor.

Se representa el modelo final de la pieza.

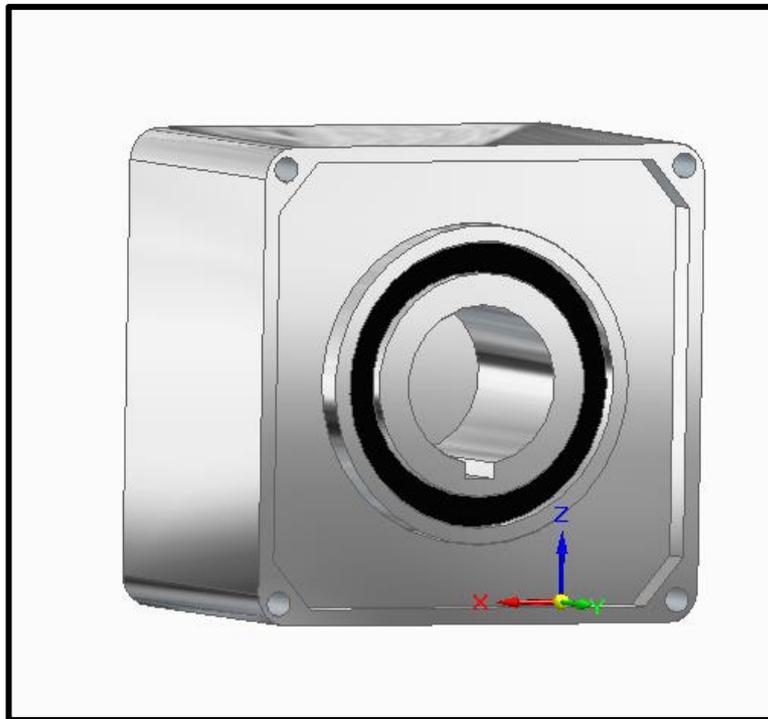


Figura 79. Par reductor.

Seguidamente, se modelan las conexiones del par reductor con el motor.

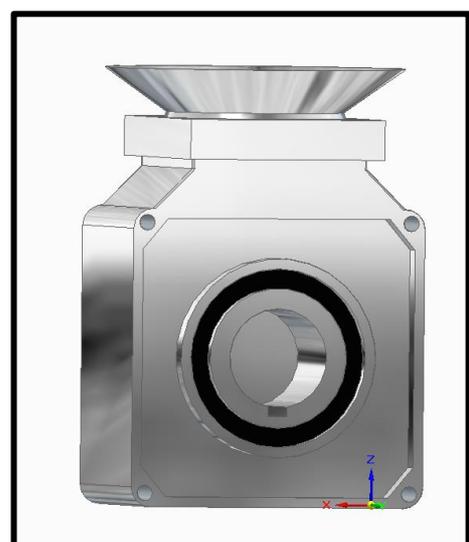
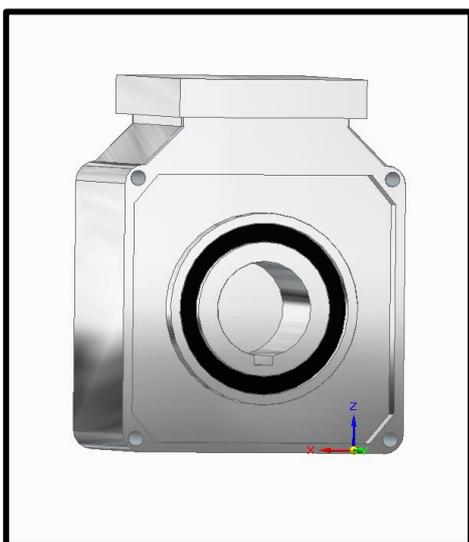


Figura 80. Conexiones motor.

A continuación, se modela el motor y sus álabes.

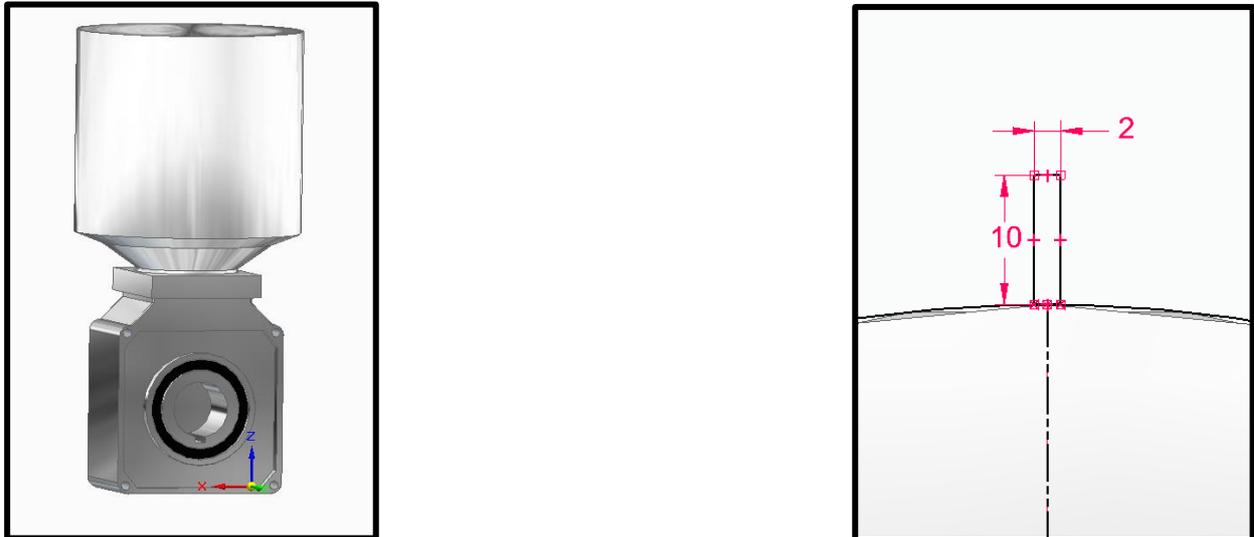


Figura 81. Cuerpo de motor y álabes.

Por consiguiente, realizando la última de las fases de diseño que es la carcasa, el modelado final del motor reductor quedaria representado en la siguiente figura.



Figura 82. Motor reductor.

## 6.9 Tornillos, arandelas y tuercas.

En este apartado se representan los diferentes tornillos, arandelas y tuercas usados para fijar las anteriores figuras modeladas al Puente.

Se modelará a modo de ejemplo uno de los diferentes piezas usadas, ya que todas las demás utilizan el mismo procedimiento de diseño.

### 6.9.1 Tornillos.

#### 6.9.1.1 Tornillo hexagonal rosca completa.

Primeramente, se comienza con el modelado de un tornillo hexagonal de rosca completa, se modela mediante un boceto mediante el cual se tiene un hexágono y una circunferencia, tras ese boceto y mediante extrusión, se obtiene el modelo de la pieza, posteriormente se ha añadido referencias de rosca al modelo.

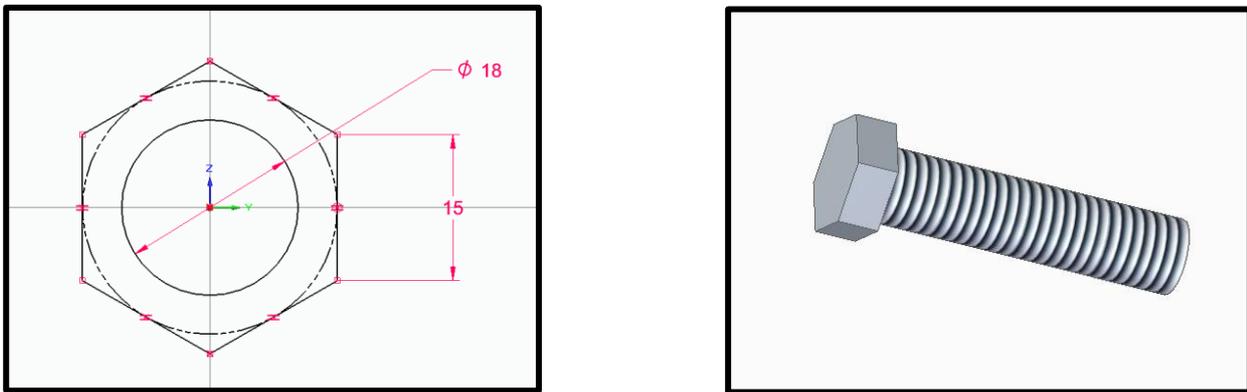


Figura 83. Tornillo hexagonal rosca completa.

#### 6.9.1.2 Tornillos Allen.

Se modela el tornillo Allen, primeramente, se realiza un boceto de dos circunferencias de diferentes diámetros, luego en la cabeza de la circunferencia de diámetro superior se realiza un corte no pesante de un boceto hexagonal, tras todo lo diseñado se hace uso de referencias de rosca al modelo.

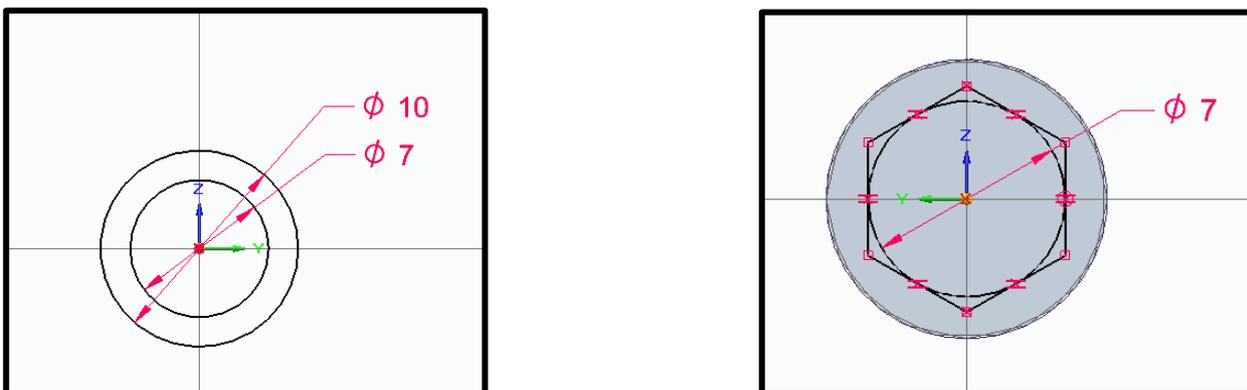


Figura 84. Boceto tornillo allen.

Una vez realizado todo lo anterior se presenta el modelado de la pieza completa.

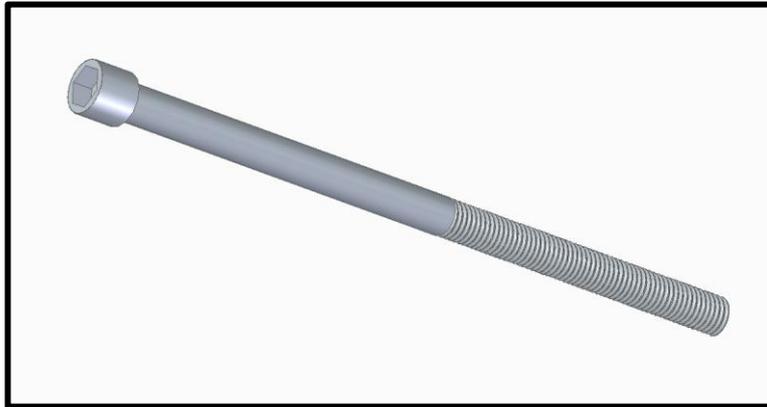


Figura 85. Tornillo allen.

### 6.9.2 Arandelas.

El diseño de esta pieza es relativamente sencillo, se realizan un boceto con dos circunferencias de diferentes diámetros y tras ello se realiza una extrusión del boceto.

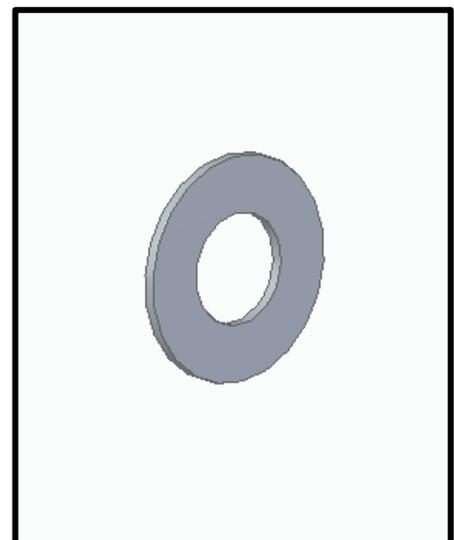
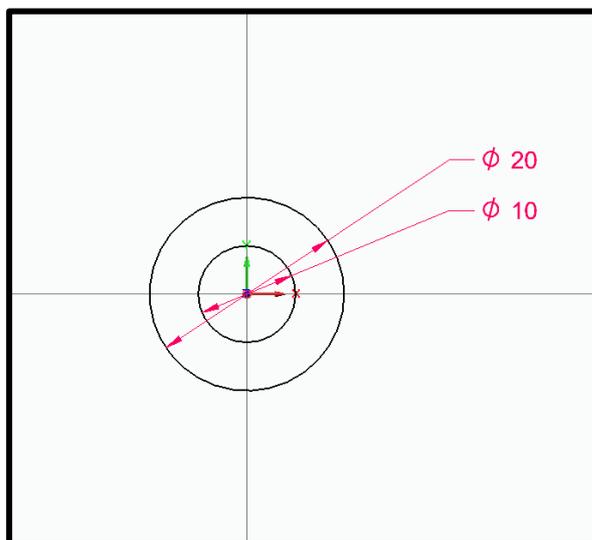


Figura 86. Arandela

### 6.9.3 Tuerca.

La realización de la tuerca, también se obtiene de manera simple y sencilla, mediante la realización una circunferencia y un hexágono, se realiza una extrusión. Tras todo lo diseñado se hace uso de referencias de rosca al modelo.

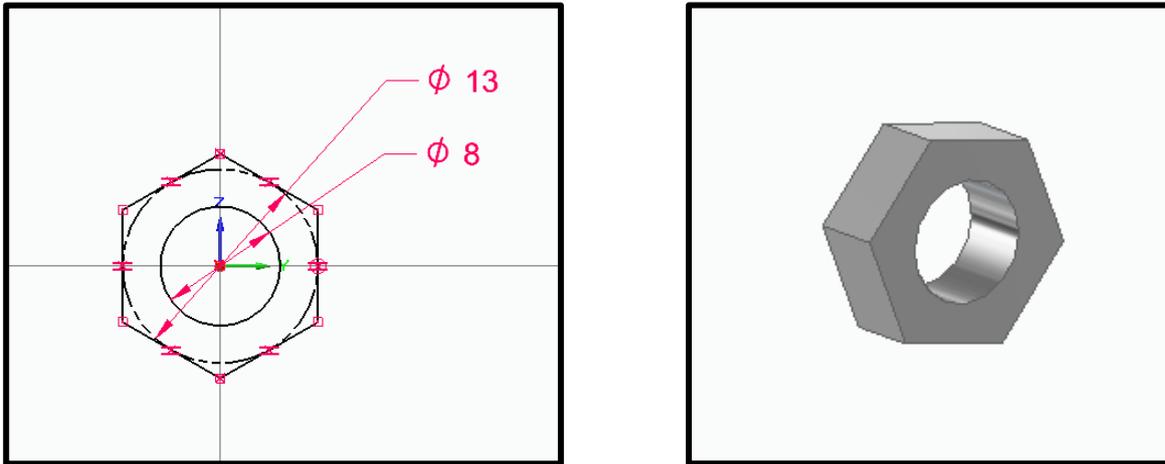


Figura 87. Tuerca.

## 7 ENSAMBLADO

Una vez obtenido el diseño de todas las piezas que componen el decantador secundario, se procede en este capítulo al ensamblaje de todas las piezas. Se ha hecho uso del módulo de “Iso Metric Assembly” del programa Solid Edge. A este módulo se importan las piezas modeladas ya anteriormente, y mediante la imposición de relaciones de ensamblado, se consigue la obtención del conjunto completo. Una vez ensamblado todo el conjunto, se procederá a dar movimiento para la obtención de una visión más real del conjunto.

### 7.1 Conjunto 1: ensamblado cuerpo circular del decantador, aliviadero y tornillos de sujeción.

En este primer ensamblado se conectan el aliviadero con el cuerpo circular del decantador. Para su ensamblaje se ha hecho uso, de alineación axial para la unión de los ejes centrales de las piezas y posteriormente unir la cara interior del triángulo de aliviadero mediante alineación plana.

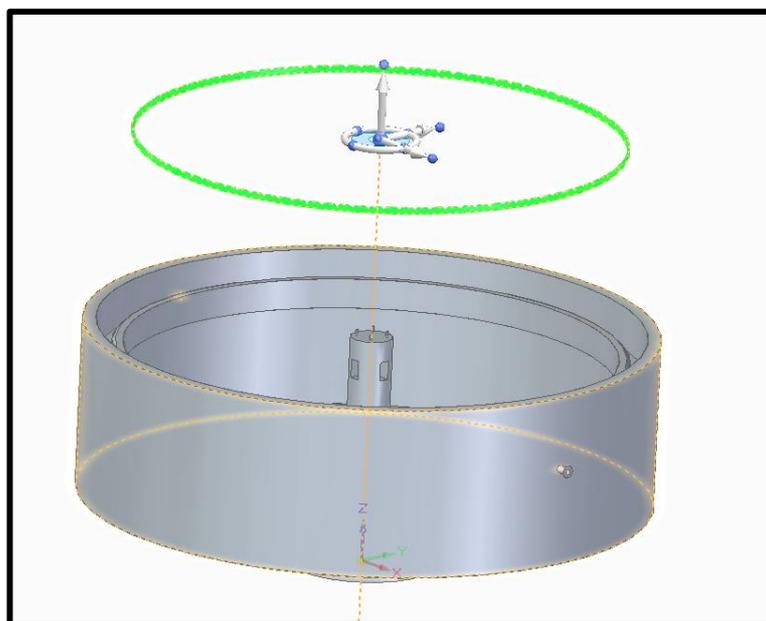


Figura 88. Ensamblaje aliviadero.

Una vez colocado el aliviadero, se colocan los tornillos de sujeción. Se ha hecho uso de las herramientas de ensamblado para la unión de arandela y tornillo de alineación axial y alineación plana. Una vez colocado uno de los tornillos mediante patrón circular se distribuyen los 50 restantes.

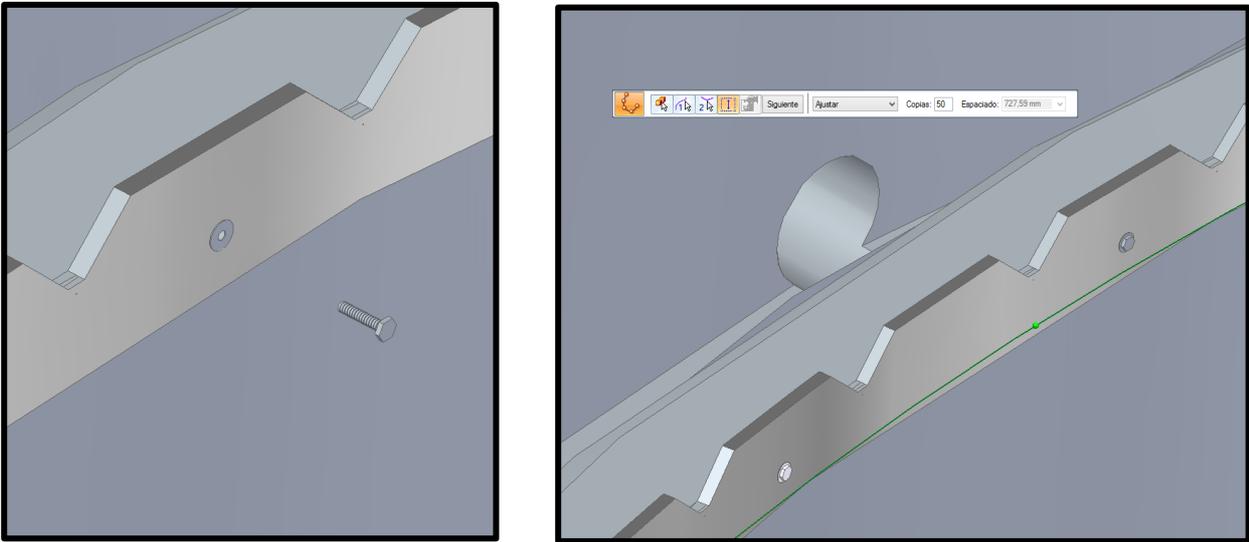


Figura 89. Emsanblaje de arandela, tornillo y colocación mediante patrón circular.

El resultado final de la colocación del aliviadero en el cuerpo decantador se representa en la siguiente figura.

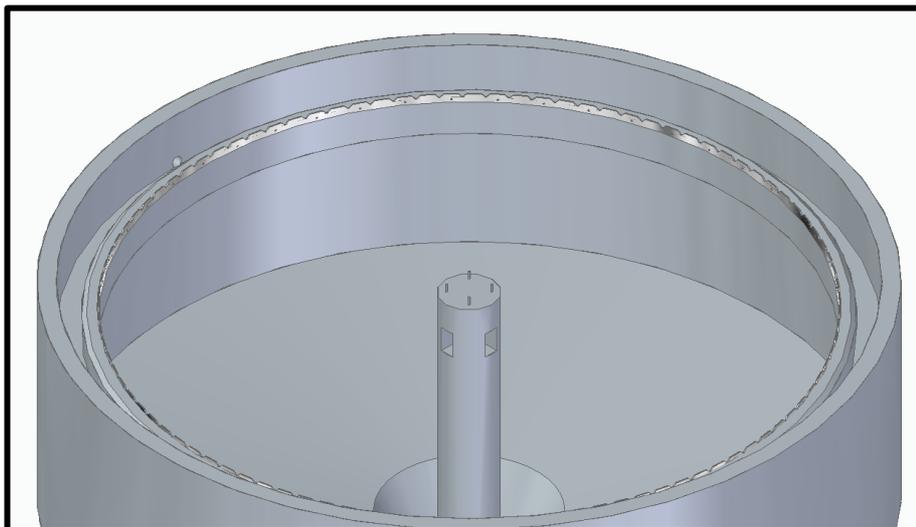


Figura 90. Aliviadero.

## 7.2 Conjunto 2: Ensamblado conjunto 1 y chapa deflectora perimetral.

A continuación, se ensambla el deflector perimetral, el método de ensamblaje usado es similar a la anterior, alineación axial y alineación plana. Para la sujeción se realizan la operación explicada para el ensamblaje del conjunto 1.

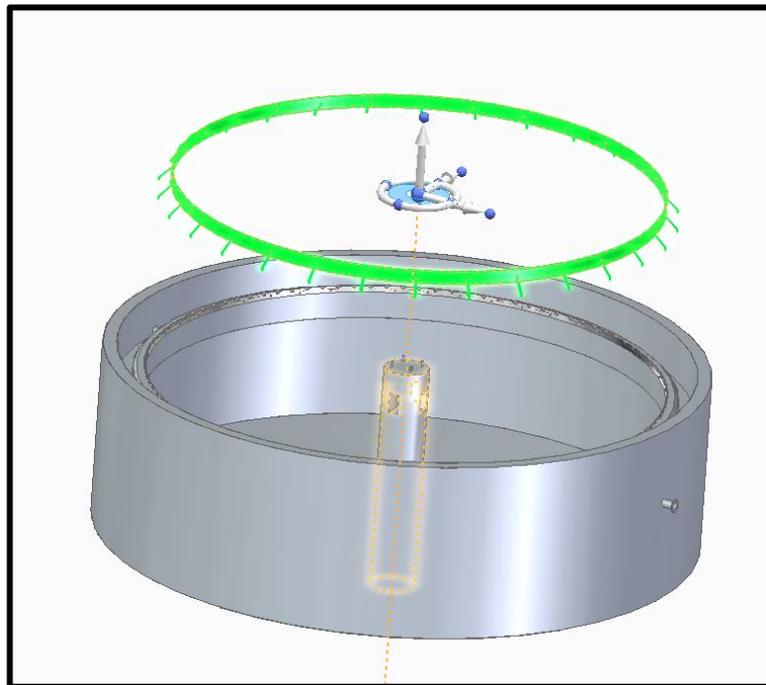


Figura 91. Emsanblaje chapa deflectora.

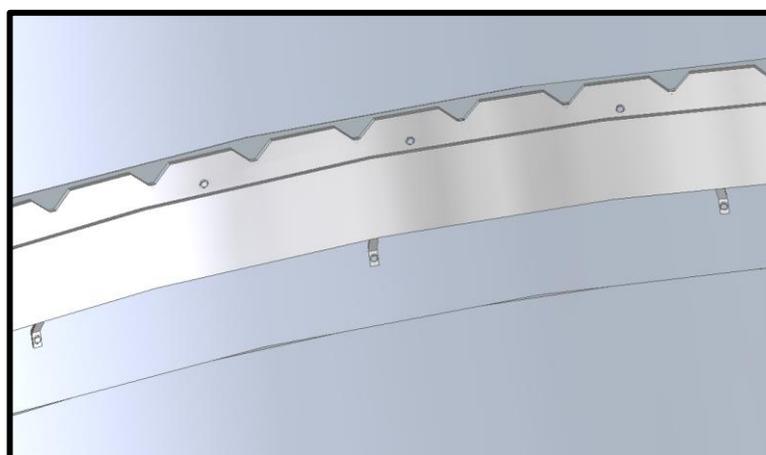


Figura 92. Ensamblaje tornillos chapa deflectora.

Por tanto, el resultado final de la pieza ensamblada es el siguiente.



Figura 93. Chapa deflectora ensamblada.

### 7.3 Conjunto 3: Ensamblado conjunto 2 y pivote central.

Seguidamente, se realiza la conexión del pivote central con todo lo unido ya anteriormente, para ello se realiza con la misma metodología ya explicada con anterioridad. Para el soporte inferior, el rodamiento y soporte superior del pivote central se hace uso del ensamblaje de alineación plana y axial.

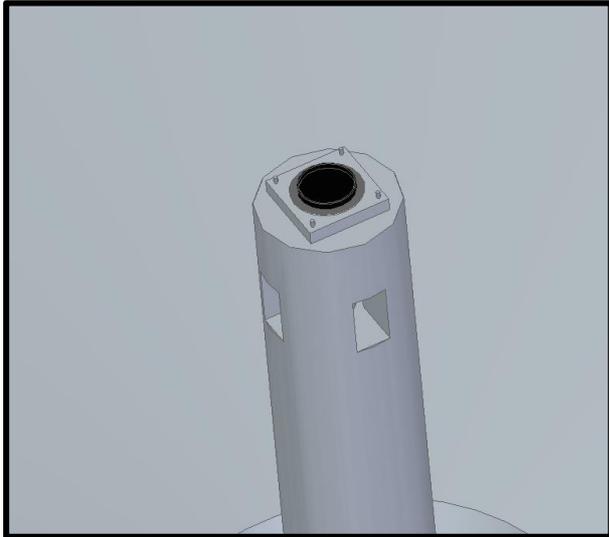


Figura 95. Ensamblaje soporte inferior pivote central

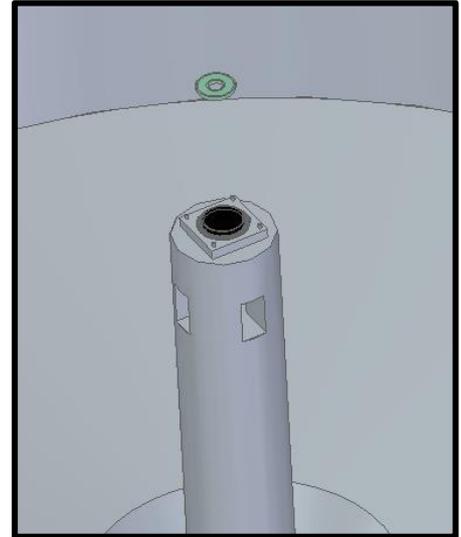


Figura 94. Ensamblaje rodamiento.

Tras el ensamblaje del rodamiento se procede al ensamblaje de la parte superior del pivote central y de los tornillos de sujeción del pivote.

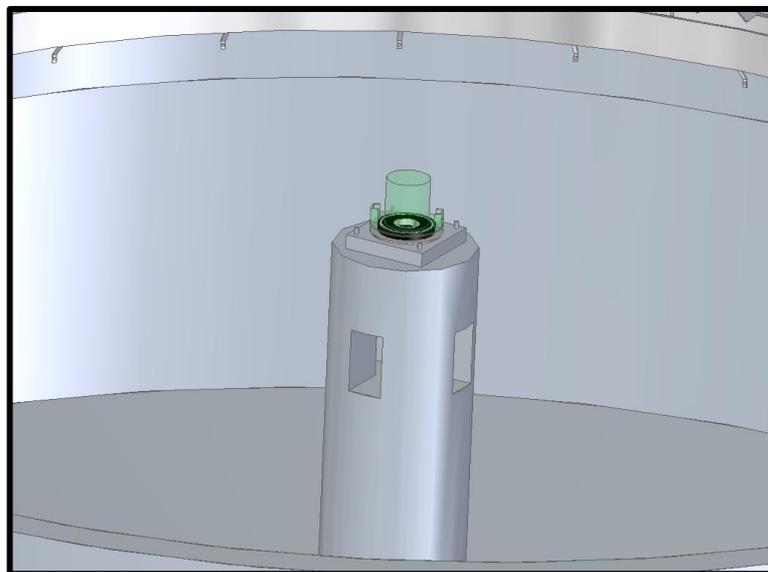


Figura 96. Ensamble parte superior del pivote superior.

Tras ellos se ensamblan todos los tornillos mediante patrón circular. Quedado la pieza ensamblada tal como se muestra en la figura 97.

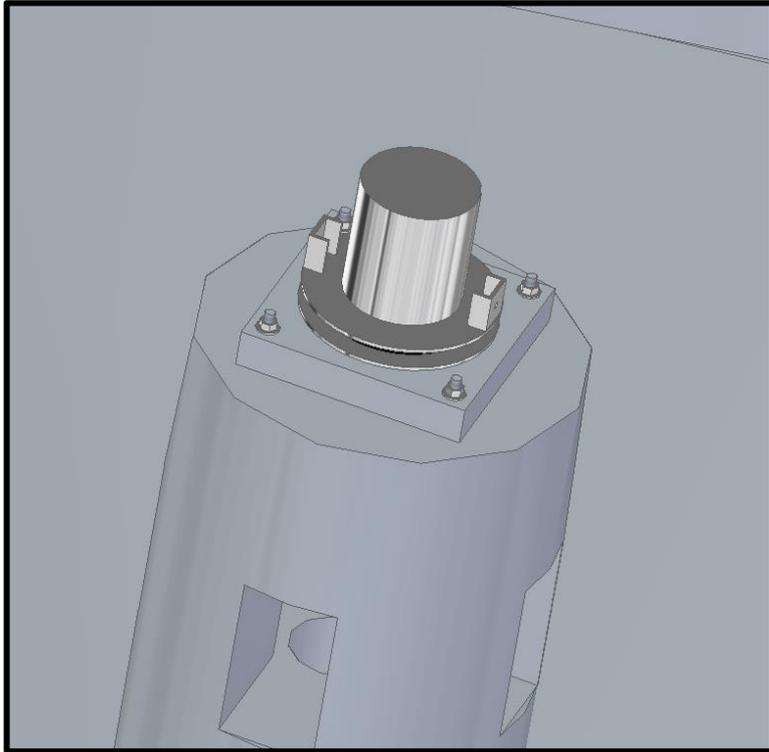


Figura 97. Pivote central ensamblado.

#### 7.4 Conjunto 4: Ensamblado del conjunto 3 y la tolva de sobrenadante.

Se procede al ensamblado de la tolva de sobrenadante al decantador secundario. Para ello se ha hecho uso de las herramientas de ensamblado de alineación axial de los ejes de las tuberías, alineación planas de las bridas y finalizando con alineación axial de los ejes de los tronillos.

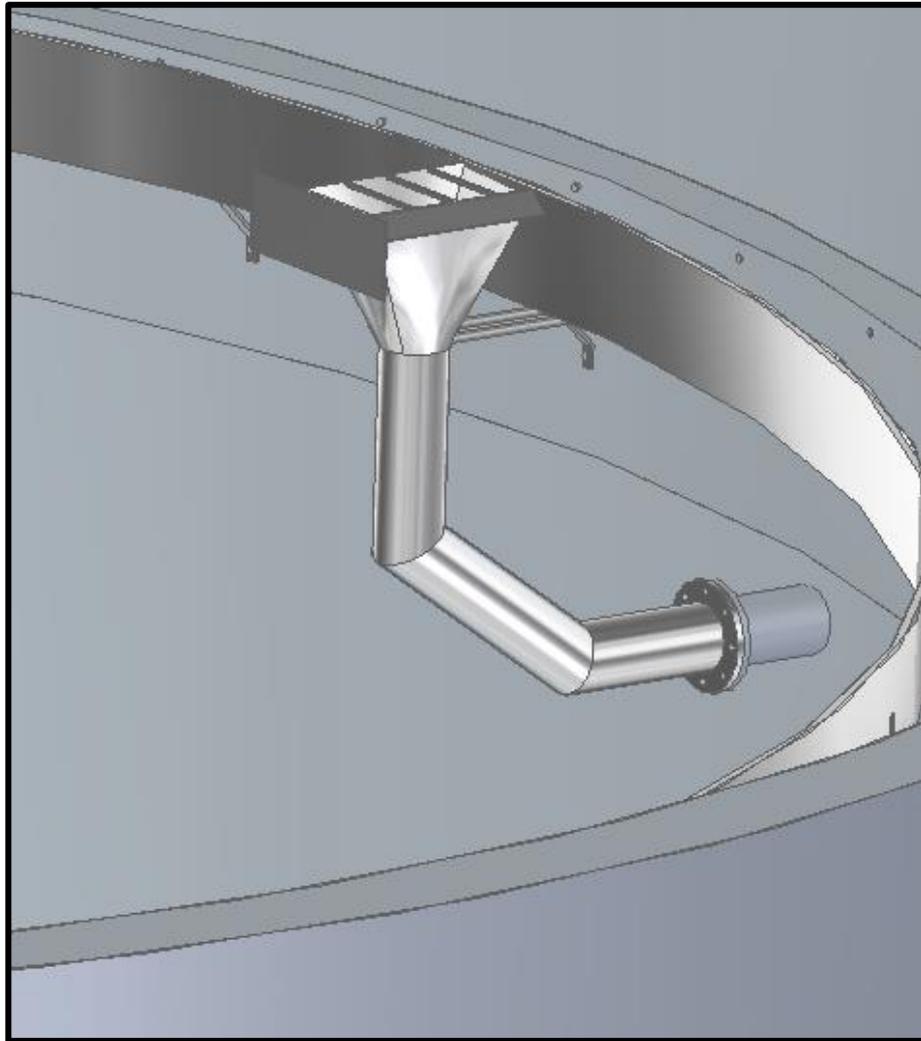


Figura 98. Ensamble tolva sobrenadantes.

Tras ello se colocan los tronillos tanto de la sujeción de la brida como de la sujeción del soporte, una vez colocado uno de los tronillos, los demás se colocan mediante un patrón de la pieza.

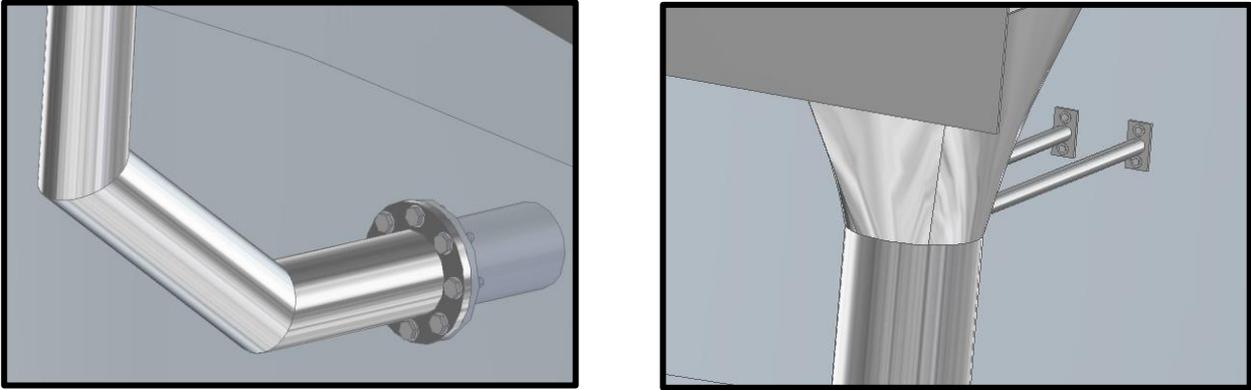


Figura 99. Ensamblaje de tornillos de sujeción de tolva de recogida de sobrenadantes.

## 7.5 Conjunto 5: Puente

### 7.5.1 Ensamblado tramex.

En este apartado se procede al ensamblado del puente con todos los elementos que lo componen. Primeramente se ha ensamblado el tramex, mediante alineación plana con las caras interiores del puente.

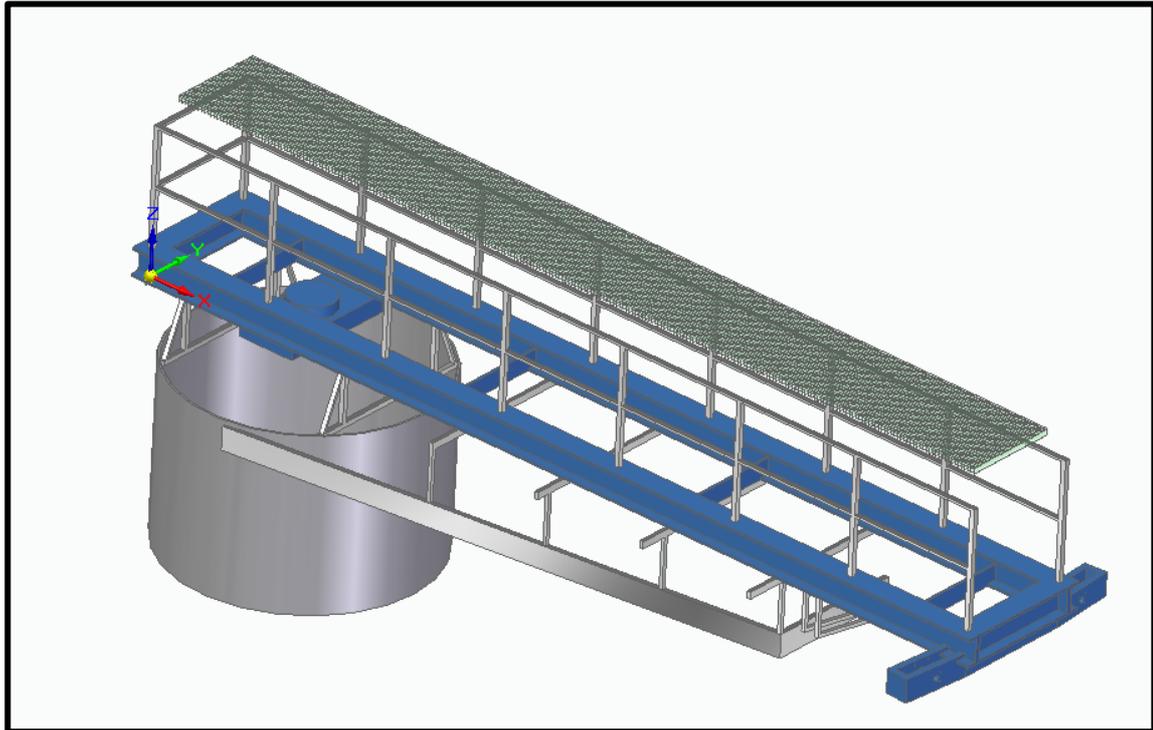


Figura 100. Ensamblado tramex con bigas de puente.

### 7.5.2 Ensamblado rasqueta de fondo y plastico rasqueta sobrenadante.

Primeramente, se conecta el plástico, encargado de verter los sobrenadantes a la tolva de sobrenadantes. Su ensamblado se realiza mediante alineación plana y los tornillos se colocan mediante patrón.

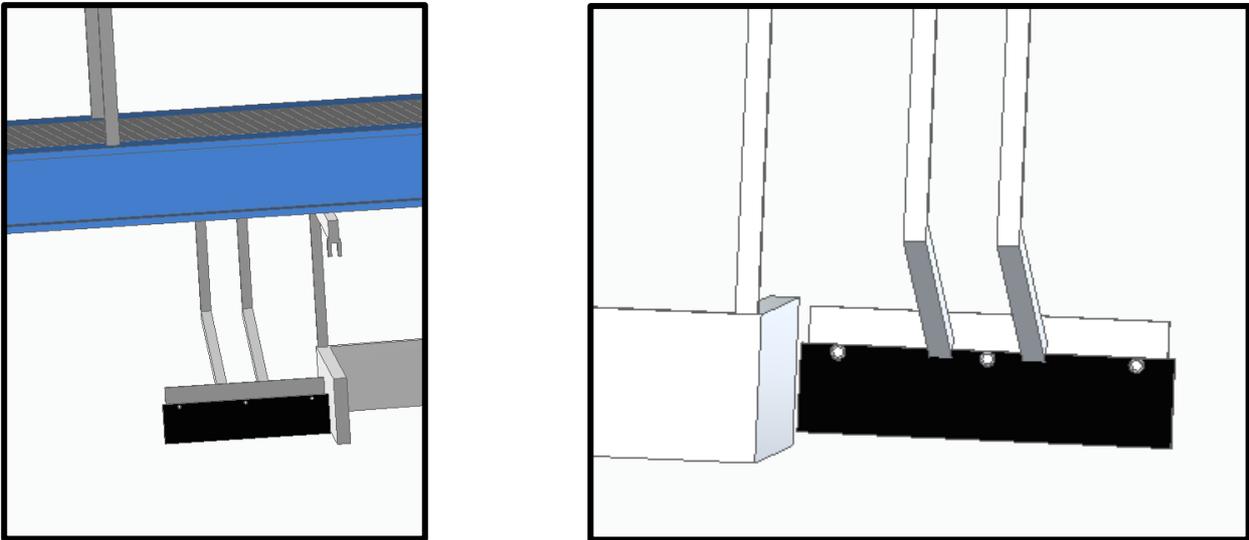


Figura 101. Ensamble plástico sobrenadante.

Tras ello se procede al ensamble de la rasqueta de fondo. Mediante plano central de la cara interior del soporte de sujeción y la cara del tubo de la rasqueta, tras ello alineación axial del agujero por donde se introduce el tornillo de sujeción y finalmente alineación plana con la cara interior de la rasqueta y cara del soporte de sujeción.

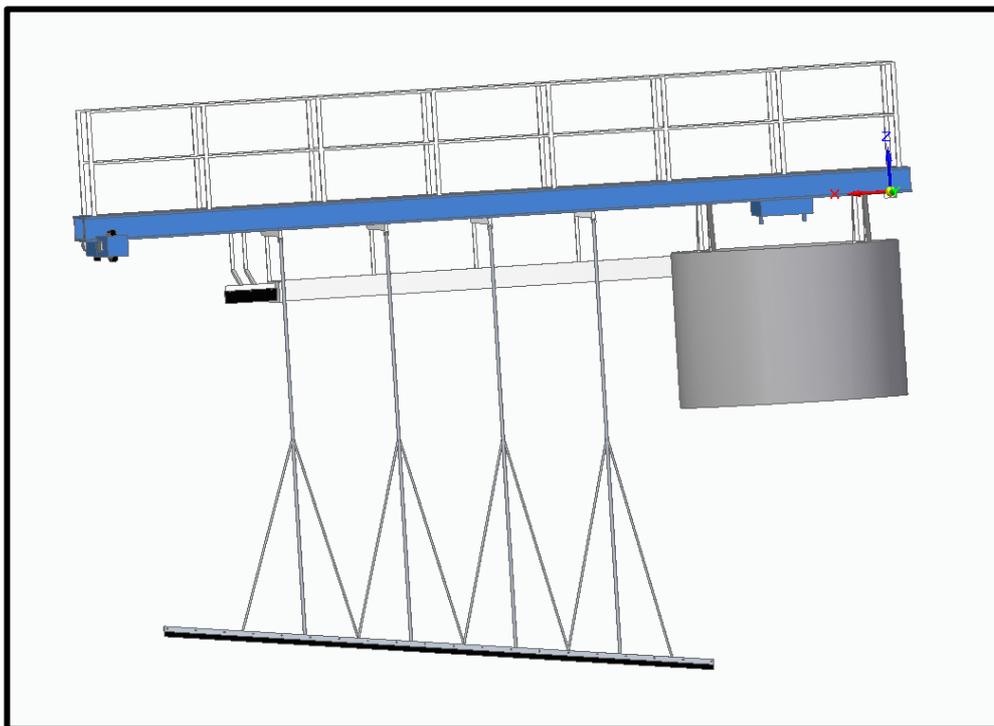


Figura 102. Ensamble de rasqueta con puente.

Se conectan los tronillos, la metodología seguida es similar a la ya explicada anteriormente.

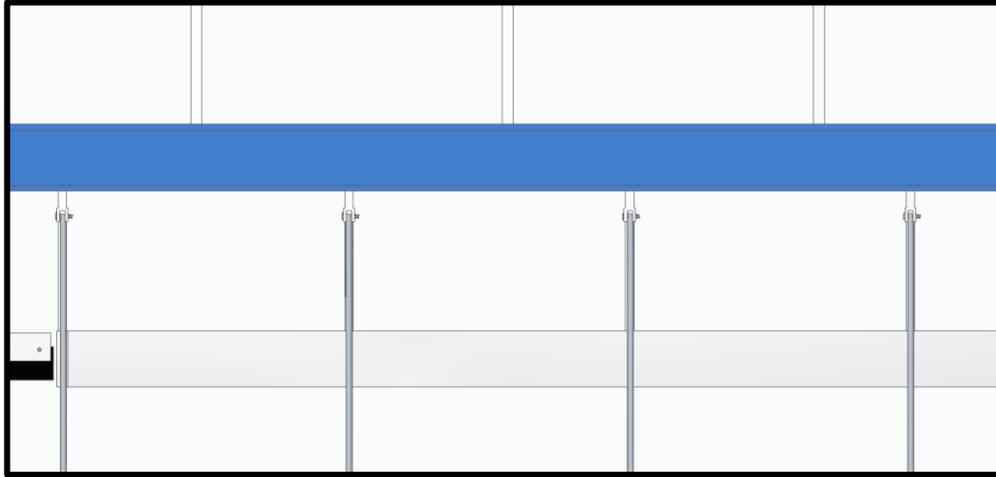


Figura 103. Tornillos sujeción rasqueta de fondo.

### 7.5.3 Emsablado ruedas Puente.

A continuación, se procede al ensamblaje de las ruedas, y de las carcasas. Para la colocación de las ruedas, tanto la rueda motriz como la rueda seguidora se ensamblan mediante la herramienta de plano central.

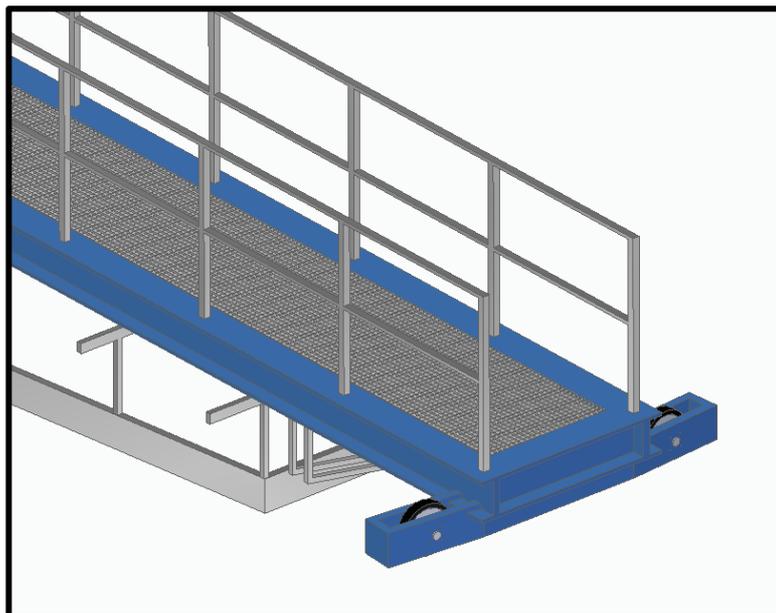


Figura 104. Ruedas puente.

A continuación, se produce el ensamblado de las tapas del eje de las ruedas, se hace uso de la herramienta de alineación plana. Se ensamblan los tornillos Allen a las tapas de las ruedas. Mediante patrón circular se colocan los restantes.

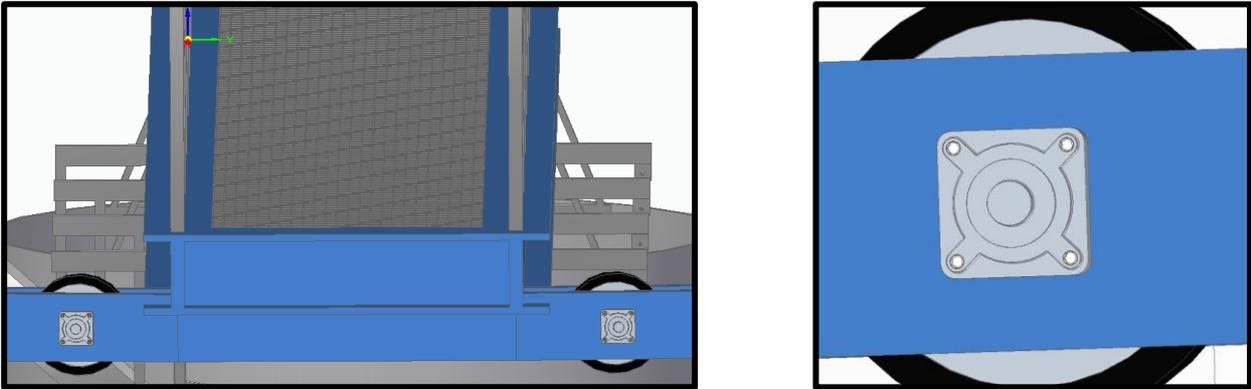


Figura 105. Tapa eje ruedas.

#### 7.5.4 Ensamblado motor reductor.

Se procede al ensamblado del motor reductor, mediante alineación axial y plano central se coloca la chaveta con el chavetero, para hacerlo solidario, tras ello mediante alineación plana de las caras coincidentes del motor y el Puente se finaliza el ensamblado.

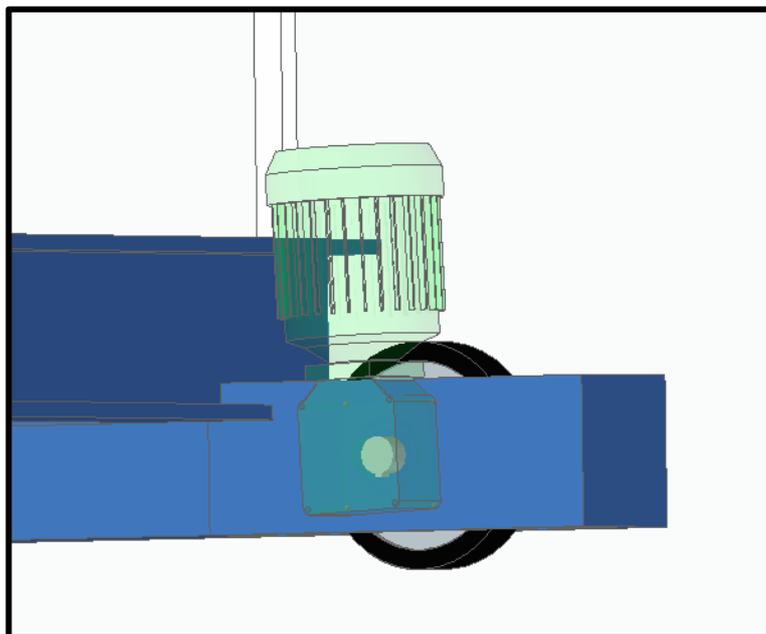


Figura 106. Ensamble motor reductor.

Tras ello se ensamblan los tornillos de sujeción.

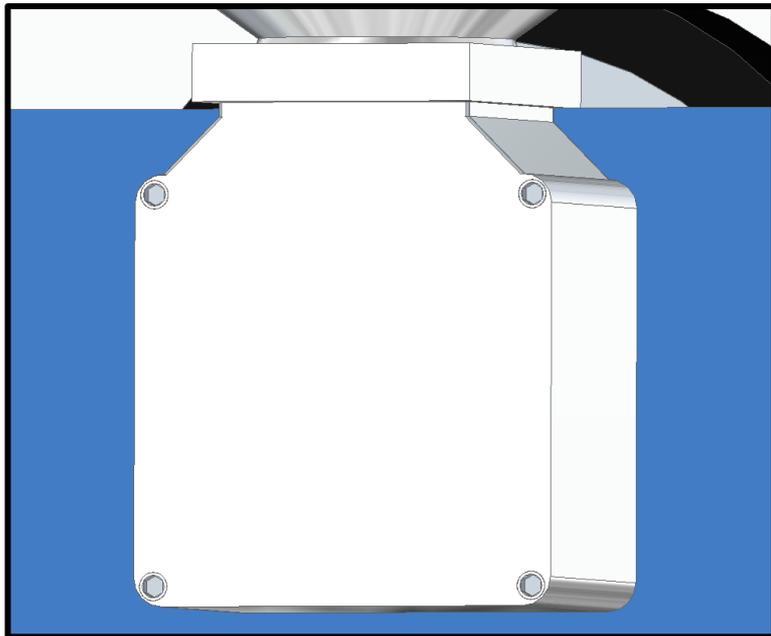


Figura 107. Ensamble de tornillo de motor reductor.

Finalmente, el motor reductor ensamblado en el puente quedaría tal como se muestra en la siguiente figura.

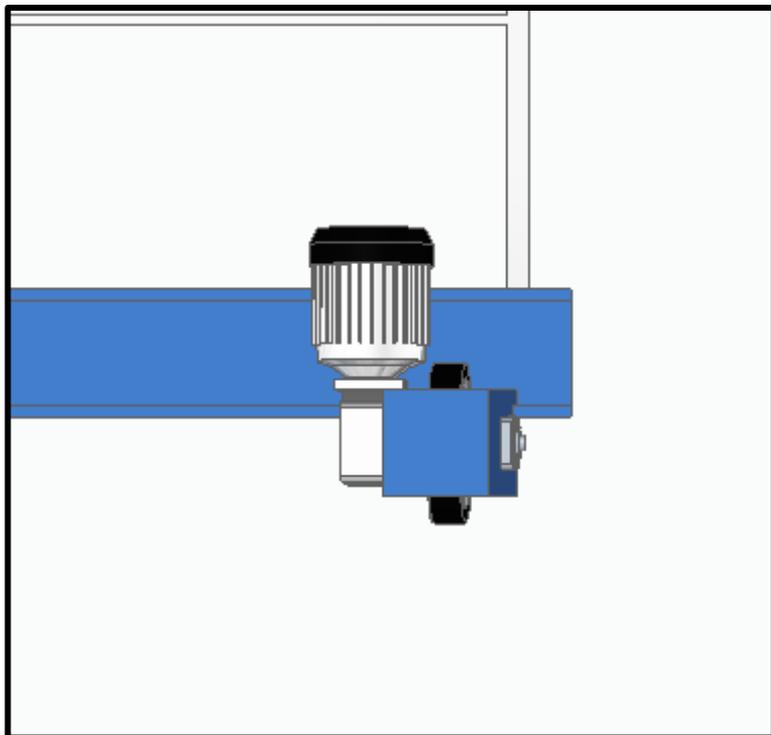


Figura 108. Motor reductor ensamblado.

## 7.6 Conjunto 6: Ensamblado del conjunto 4 y conjunto 5.

En este apartado se ensambla el decantador con todo lo anteriormente conectado en el y el puente ya también terminado de ensamblar.

El ensamblado del Puente con el pivote central se realiza mediante alineación axial de los ejes y alineación plana de la superficie interior del orificio del Puente con la cara superior del pivote central.

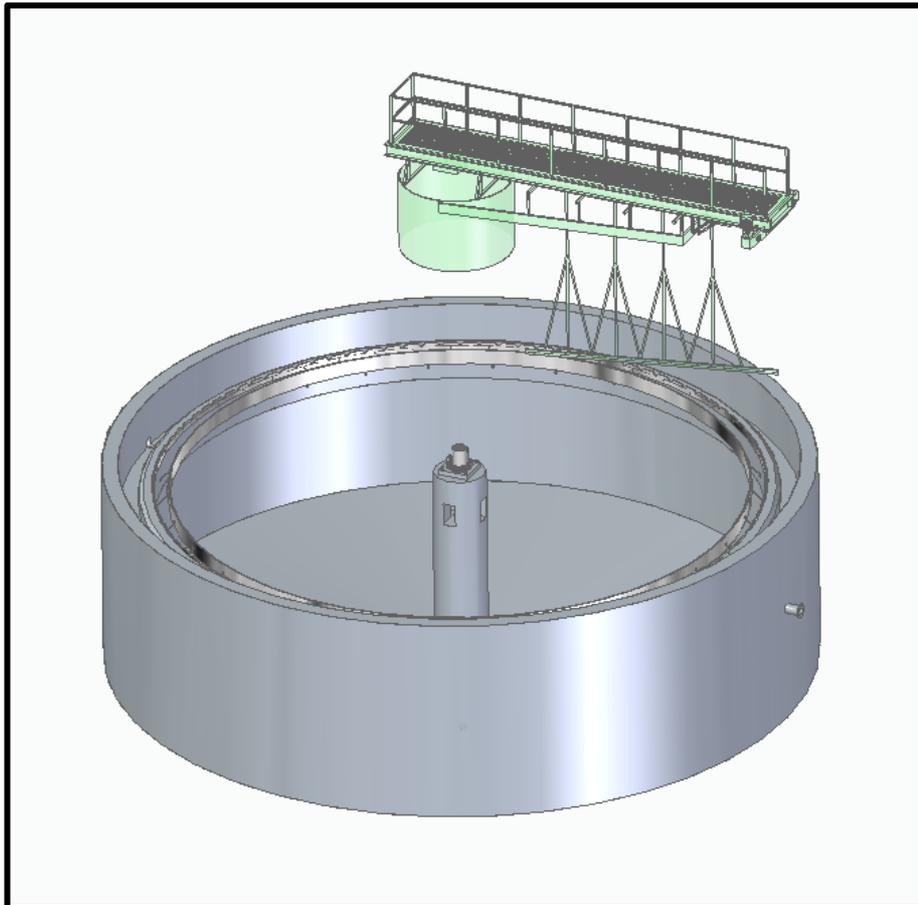


Figura 109. Ensamble puente con decantador.

Se ensamblan los tornillos de sujeción del pivote central con el puente.

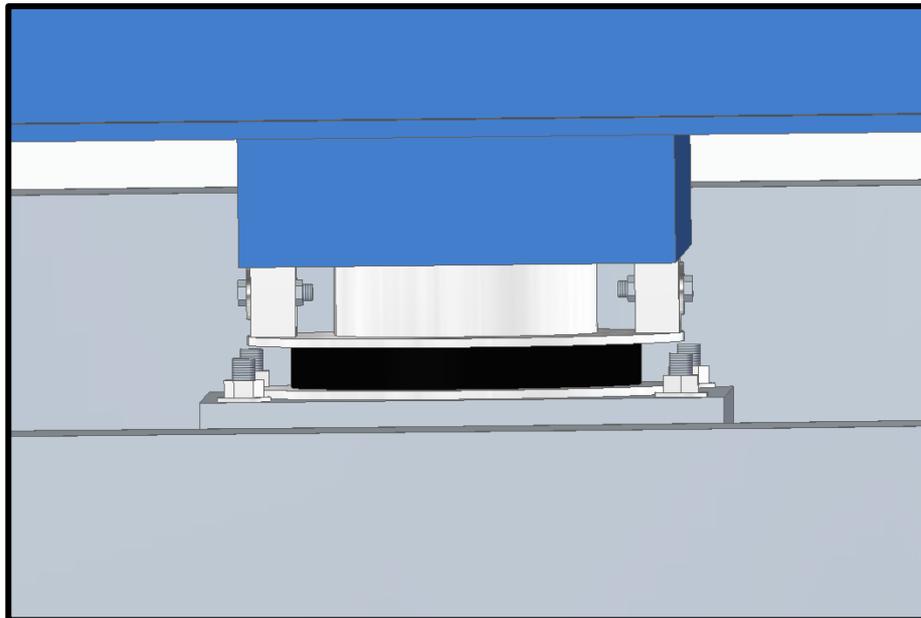


Figura 110. Colocación de tornillos de sujeción puente pivote central.

Tras todo lo realizado anteriormente se muestra a continuación en la figura 111 el resultado final del ensamblado.

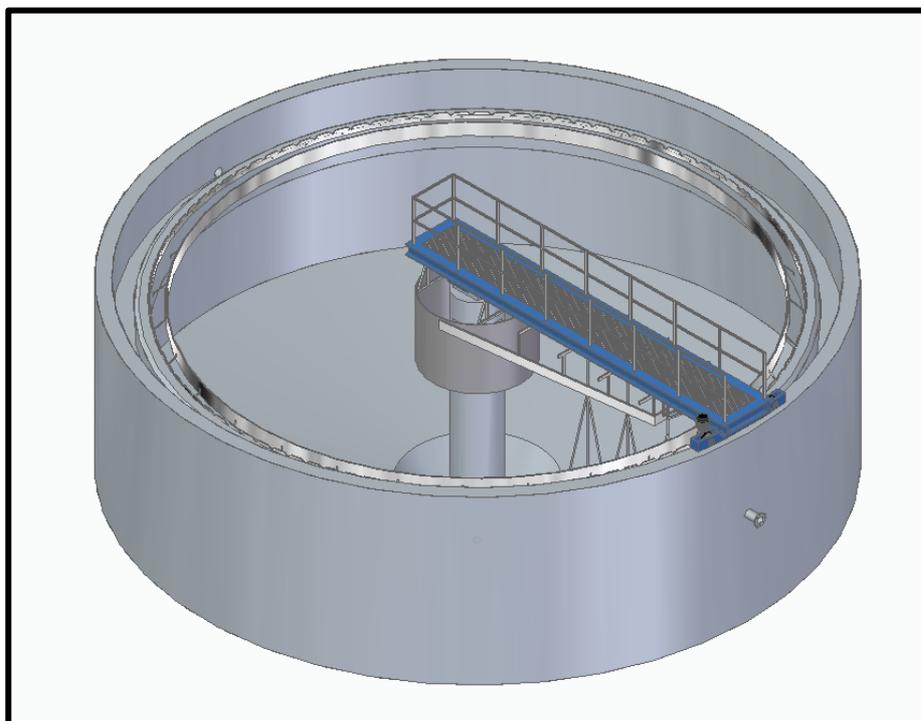


Figura 111. Ensamblado puente decantador.

## 7.7 Resultado final de la pieza ensamblada.

Tras todo lo realizado anteriormente y tras una simulación del agua en el decantador secundario, se muestra en la figura 112 la representación final del modelado de la pieza.

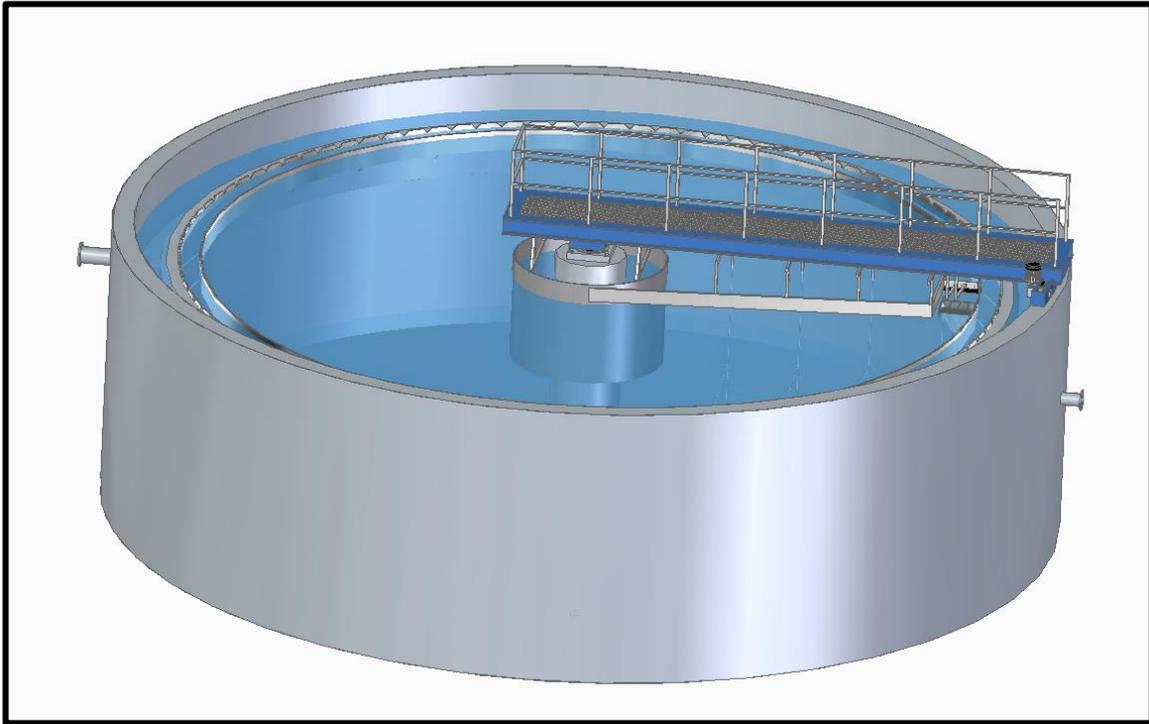


Figura 112. Modelo final del decantador secundario circular.

## 8 RENDERIZADO KEYSHOT

---

Keyshot es un programa de renderizado e iluminación que permite la obtención de imágenes fotográficas a partir de modelos tridimensionales. Debido a su gran sencillez KeyShot permite a cualquier persona que maneje modelos tridimensionales generar imágenes fotográficas con alta resolución y realismo.

Keyshot es un programa utilizado por ingenieros, diseñadores y profesionales para crear de manera fácil y rápida imágenes con efectos realistas y animaciones a partir de modelos 3D.



Figura 113. Logo KeyShot.

Ventajas de uso de Keyshot:

- El manejo del programa se realiza de manera sencilla, no se tiene que ser experto en la representación para crear imágenes de modelos tridimensionales.
- KeyShot utiliza una tecnología de renderizado que permite ver todos los cambios de materiales, iluminación y cámaras al instante.
- KeyShot es un programa muy preciso, hace uso de materiales e iluminación del mundo real.

Se ha procedido a renderizar el decantador secundario circular. A continuación, se representa las imágenes obtenidas de su renderizado. Se le ha insertado un fondo a modo de mejor visualización, así como los materiales de los diferentes elementos.



Figura 114. Imagen decantador renderizado 1.

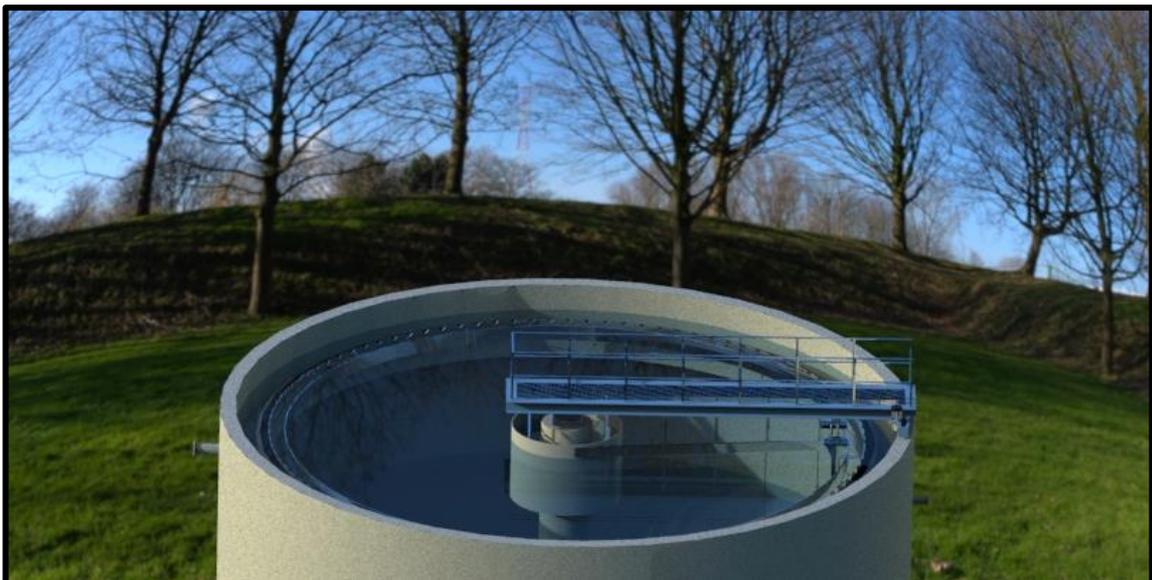


Figura 115. Imagen decantador renderizado 2.

## 9 CONCLUSIONES

---

Con el presente trabajo de fin de grado se ha adquirido un amplio conocimiento sobre las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), pero en particular sobre los decantadores secundarios circulares. Se ha obtenido primeramente unos conocimientos de los principios físicos en los que se rige la decantación y tras ellos el conocimiento de los cálculos necesario para la obtención de las dimensiones del decantador, así como el conocimiento de todos los elementos que componen el decantador secundario circular de una EDAR.

Se ha profundizado en la utilización del software Solid Edge, ampliando los conocimientos ya obtenidos en la asignatura de Diseño Asistido por Ordenado (DAO) y aprendiendo nuevas herramientas para su mejor uso, que han resultado de gran utilidad para mejorar y ampliar todo lo aprendido anteriormente. A demás se ha realizado una recreación virtual en la que se ha simulado el movimiento existente en el decantador secundario, adquiriendo en este los conocimientos y habilidades necesarias para poder generar dicha recreación.

Con este proyecto se pretende poner de manifiesto la importancia que tiene el poder diseñar, modelar y visualizar una pieza con anterioridad a su creación o construcción.



## REFERENCIAS

---

- [1] El agua potable, «historia del agua» [En línea]. Disponible en: [http://www.elaguapotable.com/tratamiento\\_del\\_agua.htm](http://www.elaguapotable.com/tratamiento_del_agua.htm)
- [2] iaguas, «historia tratamiento de agua» [En línea]. Disponible en : <https://www.iagua.es/noticias/locken/17/02/08/pioneros-agua-historia>
- [3] condorchem envitec « historia sobre el tratamiento de agua » [En línea]. Disponible en: <https://condorchem.com/es/blog/historia-sobre-el-tratamiento-del-agua-potable/>
- [4] bib «Sedimentación» [En línea]. Disponible en: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/sedimentacion-definicion-tipos-aplicaciones-y-usos/>
- [5] EATHISA « Sedimentación » [En línea]. Disponible en: <http://eathisa.com/productos/puente-sedimentador-decantador-circular/>
- [6] Filtramas « puente decantador » [En línea]. Disponible en: <http://www.filtramas.com/catalogo/mecanismos-de-arrastre-de-solidos/puentes-barredores/>
- [7] escuela de organización industrial « sedimentación » Disponible en: <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/25060/sedimentacion-aguas>
- [8] Daga equipment « tipología de decantadores » Disponible en: [https://dagequipment.com/es/docs/doc/NEKixcc8qNRC0TKqBz2uSgZ5IPdcvynUz0GjSaWBOxjRJ8SH-\\_-VN2q8q7Rmr7N4SW](https://dagequipment.com/es/docs/doc/NEKixcc8qNRC0TKqBz2uSgZ5IPdcvynUz0GjSaWBOxjRJ8SH-_-VN2q8q7Rmr7N4SW)
- [9] Daga equipment « tipología de decantadores » Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/que-es-un-decantador-lamelar-y-para-que-sirve-RDPT#:~:text=El%20papel%20del%20decantador%20lamelar,sin%20ning%C3%BAAn%20tipo%20de%20problema>
- [10] hidrometalica « dimensiones decantador » Disponible en: <https://www.hidrometalica.com/decantador-por-gravedad/>
- [11] unizar « sistemas CAD » Disponible en: [https://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/233/mod\\_label/intro/fio\\_5\\_sistemas\\_cad\\_cam\\_i.pdf](https://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/233/mod_label/intro/fio_5_sistemas_cad_cam_i.pdf)
- [12] wikipedia « sistemas CAD » Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o\\_asistido\\_por\\_computadora](https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_asistido_por_computadora)

- [13] bizkaia « herramientas CAD » Disponible en:  
[https://www.bizkaia.eus/Home2/Archivos/DPTO8/Temas/Pdf/ca\\_GTcapitulo1.pdf?hash=dedcd237604ee6354f57666e1af93807](https://www.bizkaia.eus/Home2/Archivos/DPTO8/Temas/Pdf/ca_GTcapitulo1.pdf?hash=dedcd237604ee6354f57666e1af93807)
- [14] slideshare « Módulos Solid Edge » Disponible en: <https://es.slideshare.net/tcamilor/solid-edge-16446733>
- [15] Upcommons « caudal de diseño » Disponible en:  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13058/C%C3%A0lculs.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- [16] ministerio de medio ambiente « Dotación por habitantes pag 95 » Disponible en:  
[https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/Anejos/PHJ\\_Anejo03\\_UsosYDemandas.pdf](https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/Anejos/PHJ_Anejo03_UsosYDemandas.pdf)
- [17] europapress « EDAR Brenes » Disponible en: <https://www.europapress.es/andalucia/medioambiente-00619/noticia-junta-pone-marcha-depuradora-brenes-inversion-41-millones-euros-20101213181518.html>
- [18] google maps « ubicación EDAR Brenes » Disponible en:  
<https://www.google.com/maps/search/edar+de+brenes/@37.536146,-5.8800439,162m/data=!3m1!1e3?hl=es>
- [20] support software « instrucciones Solid Edge » Disponible en:  
<https://support.industrysoftware.automation.siemens.com/training/se/es/ST3/pdf/spse01541.pdf>
- [21] acinesgon « dimensiones de tuberías » Disponible en: <https://www.acinesgon.com/productos/tubos/tuberia-iso/>
- [22] inoxpres « Bridas de unión » Disponible en: [https://inoxpres.com/wp-content/uploads/2021/07/CATALOGO\\_GENERAL\\_V2021.pdf#page=4](https://inoxpres.com/wp-content/uploads/2021/07/CATALOGO_GENERAL_V2021.pdf#page=4)
- [23] metalicas lendinez « dimensiones tramex » Disponible en:  
<http://www.metalicaslendinez.com/catalogos/catalogo%20todo%20en%20tramex.pdf>
- [24] mechanical components « tornillos » Disponible en:  
[https://www.gestiondecompras.com/files/products/mechanical\\_components\\_hardware/pernos\\_tornilleria\\_tuercas\\_arandelas\\_varilla\\_roscada\\_din\\_933\\_934\\_7989\\_125\\_127\\_4034\\_975\\_555\\_iso.pdf](https://www.gestiondecompras.com/files/products/mechanical_components_hardware/pernos_tornilleria_tuercas_arandelas_varilla_roscada_din_933_934_7989_125_127_4034_975_555_iso.pdf)
- [25] seekpng « logo keyshot » Disponible en: [https://www.seekpng.com/ipng/u2t4r5t4i1i1a9r5\\_keyshot-logo-vector-keyshot-icon-vector-png](https://www.seekpng.com/ipng/u2t4r5t4i1i1a9r5_keyshot-logo-vector-keyshot-icon-vector-png)
- [26] pixelsistemas « keyshot » Disponible en: <https://www.pixelsistemas.com/solid-edge/diseno-mecanico/keyshot>

