



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

ESCUELA SUPERIOR DE CD. SAHAGÚN.

INGENIERÍA DE DETALLE, ARREGLO DE TUBERÍAS EN  
FOTOBIOREACTOR FBR-02, PARA PLANTA PILOTO EN LA  
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL CULTIVO  
SUSTENTABLE ACELERADO DE MICROALGAS.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

MARÍA ISABEL JAÉN GONZÁLEZ.

ASESOR:

VICTOR MANUEL PIEDRA MAYORGA.

CO-ASESOR:

ING. GREGORIO RANGEL RANGEL.

# AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco a la Escuela Superior de Cd. Sahagún de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por brindarme la oportunidad de formarme como profesionista y saber afrontar cada obstáculo que conlleva la vida de estudiante, lo cual me hizo crecer como persona y profesionista. Esto no hubiera sido posible sin la dedicación cada uno de los docentes, que me brindaron sus conocimientos y apoyo para salir adelante día a día.

Agradezco a mi asesor de tesis el: **Mtro. Víctor Manuel Piedra Mayorga**, quien me brindó la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos, por su paciencia ante mi inconsistencia, por su valiosa guía y apoyo para lograr esta tesis.

Al **Ing. Gregorio Rangel Rangel** por haberme motivado a aprender nuevas cosas y enseñarme que no hay imposibles, por sus consejos, sabiduría y paciencia que me brindó durante mi estancia, en la cual, tuve la oportunidad de generar grandes conocimientos.

Mi agradecimiento a CIATEQ Hidalgo, por haberme abierto las puertas en el área de manufactura virtual y concederme la oportunidad de formar parte de este proyecto, poniendo en práctica los conocimientos adquiridos en la universidad, así como una nueva conyuntura para instruirme.

Al CONACYT por haberme otorgado una beca, como sosten para alcanzar un objetivo más en mi vida profesional y terminar esta tesis.

A todos y cada uno de ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.

# DEDICATORIA

---

Mi tesis la dedico con todo mi amor a mi hija Danae, por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un mejor futuro.

A mis padres por el sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera para mi futuro y el de mi hija y por creer en mi capacidad, aunque hemos pasado por momentos difíciles siempre han estado brindándome su comprensión, cariño y amor.

A mis hermanos, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus alegrías y tristezas. Por haber creído en mi cuando nadie más lo hacía.

**Gracias a mi familia.**

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Propuesta de solución al problema.....	4
1.3 Hipótesis .....	5
1.4 Objetivos.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos .....	5
1.5 Justificación .....	6
<b>2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1 Ingeniería de detalle .....	7
2.1.1 Etapas de la Ingeniería de Detalle .....	8
2.1.2 Documentos principales para el diseño de tubería.....	9
2.1.3 Definición de planos, funciones y tipos. ....	10
2.2 Tubería .....	18
2.2.1 Materiales típicos para fabricar tubos.....	18
2.2.2 <i>Medidas y espesores de pared de tubería de línea</i> .....	20
2.3 Accesorios para tuberías .....	22
2.3.1 Bridas .....	22
2.3.2 Codos .....	27
2.3.3 Accesorio Tipo “T” .....	28
2.3.4 Normas para el Diseño de Tuberías.....	29
2.3.5 Reducciones.....	30
2.3.6 Coples y Medios Coples.....	31

2.3.7	Válvulas.....	31
2.3.8	Reducción Bushing .....	34
2.3.9	Juntas de Plástico (Empaques).....	35
2.3.10	Espárragos.....	36
2.4	Microlga .....	37
2.4.1	Sistemas de Cultivo.....	38
2.5	Fotobiorreactor .....	40
2.5.1	Aspectos a considerar en el Diseño de un Fotobiorreactor Luz .....	40
2.5.2	Tipos de Fotobiorreactor .....	41
2.5.3	Especificación de los Materiales de Tubería .....	43
2.5.4	Tubería de Policloruro de Vinilo (PVC).....	43
2.6	Selección de accesorios para el fotobiorreactor FBR-02. ....	47
2.6.1	Funciones de los planos.....	47
2.6.2	Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) .....	47
2.6.3	Tubería no metálica.....	48
2.6.4	Selección de Accesorios. ....	51
6.1.2	Bridas. ....	51
6.1.3	Pasa tanque. ....	52
6.1.4	Codo de 90°. ....	53
6.1.5	Cople:.....	53
6.1.6	Reducción Bushing .....	54
6.1.7	Placas de orificio. ....	55
6.1.8	Regulador de Flujo.....	56
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>57</b>
3.1	Software para modelado.....	57
3.1.1	Sistema CAD.....	57
3.1.2	Elección del Software.....	58
3.1.3	SolidWorks 2015 .....	59
3.2	Modelado en SolidWorks. ....	66
3.2.1	Modelado de accesorios .....	66
3.3	Ensamble en SolidWorks.....	84
3.3.1	Métodos de diseño .....	84

3.3.1.1	Diseño descendente. ....	84
3.3.1.2	Diseño ascendente .....	84
3.4	Ensamblaje de accesorios .....	85
3.5	Ensamble de accesorios en SolidWorks.....	87
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>92</b>
4.1	Ensamble general del fotobiorreactor FBR-02.....	93
4.2	Pie de plano en hoja de dibujo de SolidWorks.....	94
4.3	Diseño paramétrico.....	100
4.4	Parametrización de accesorios en SolidWorks .....	101
4.4.1	Parametrización de Brida ciega 12". ....	104
4.4.2	Parametrización de brida van stone. ....	105
4.4.3	Parametrización de empaque de neopreno de 1/8" .....	106
4.4.4	Parametrización de Tubería de 12" de PVC de 10ft de longitud. ....	107
4.4.5	Parametrización de Cople 12" Ø. ....	108
4.4.6	Parametrización de Codo de 12".....	109
4.4.7	Parametrización de Tubería de 12" Ø de 313mm de longitud.....	110
4.4.8	Parametrización de esparrago. ....	111
4.4.9	Parametrización de arandela.....	112
4.4.10	Parametrización de tuerca. ....	113
4.5	Análisis comparativo del resultado de la parametrización en FBR-02 .....	114
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>118</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>119</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Fig. 1</b> Plano general o de conjunto. Representa el mecanismo de todas las piezas ensambladas para su funcionamiento.	11
<b>fig. 2</b> Plano de despiece. Muestra todos y cada uno de los accesorios necesarios para el armado de un control de videojuego, así mismo este plano sirve para realizar la fabricación del mismo (12).	12
<b>fig. 3.</b> Plano de montaje de unas tijeras.	13
<b>fig. 4.</b> Dibujo de detalle, expresado por la letra a, en la cual el detalle es un corte a-a, de igual manera b, el corte b-b.	14
<b>fig. 5</b> Los formatos se obtienen en sus dimensiones, doblando el formato base u origen exactamente por la mitad logrando así su dimensión mayor.	15
<b>fig. 6</b> Representación de los formatos, y su semejanza debido a sus dimensiones logrando el inmediato inferior.	16
<b>fig. 7.</b> Representación de la regla de referencia, en el cual todo formato está referido al sistema métrico decimal. La superficie del formato origen es igual al metro cuadrado.	16
<b>fig. 8.</b> Representación de tamaños del formato ansi arch (fuente propia).	17
<b>fig. 9</b> uniones de tubería por medio de bridas.	23
<b>fig. 10</b> Brida de cuello soldable.	24
<b>fig. 11</b> Brida deslizante.	24
<b>fig. 12.</b> Brida ciega.	25
<b>fig. 13.</b> Bridas con asiento para soldar.	26
<b>fig. 14.</b> Bridas roscadas.	26
<b>fig. 15</b> codo reducción 90° (3/4" x 1/2").	27

<b>fig. 16.</b> Representación gráfica de a) “t” recta y b) “t” reductora.	28
<b>fig. 17.</b> Reducciones a) concéntricas y b) excéntricas.	30
<b>fig. 18.</b> Coples roscados de 1”.	31
<b>fig. 19.</b> Válvula de compuerta.	32
<b>fig. 20.</b> Válvula de mariposa (33)	33
<b>fig. 21.</b> Válvula de bola	33
<b>fig. 22</b> Válvula de globo.	34
<b>fig. 23.</b> Válvula de aguja.	34
<b>fig. 24</b> reducción bushing de ½” x ¼”.	35
<b>fig. 25.</b> Esparrago allen nylon m4, con extremo biselado hueco.	36
<b>fig. 26</b> sistema de cultivo al aire libre.	38
<b>fig. 27</b> sistema de cultivo cerrado, fotobiorreactores tubulares.	39
<b>fig. 28.</b> Ejemplo de fotobiorreactor tubular vertical (48).	41
<b>fig. 29.</b> Ejemplo de fotobiorreactor tubular helicoidal.	42
<b>fig. 30.</b> Ejemplo de fotobiorreactor horizontal.	42
<b>fig. 31.</b> Composición química del policloruro de vinilo $[(C_2H_3Cl)_n]$ . Producto de la polimerización (proceso químico por el que compuestos de bajo peso molecular se agrupan químicamente) del monómero de cloruro de vinilo.	44
<b>fig. 32</b> Brida van stone (s) 12”.	51
<b>fig. 33</b> Brida ciega 12” ø.	52
<b>fig. 34.</b> Cople hexagonal pasa tanque 2” ø y 3”ø.	52
<b>fig. 35.</b> Codo de 12” ø (s x s)	53
<b>fig. 36</b> Cople de 12” ø (s x s).	53



<b>fig. 37.</b> Cople de ½" ø (s x s)	54
<b>fig. 38.</b> Cople de 2" ø (fpt x fpt).	54
<b>fig. 39</b> Reducción bushing (mpt x fpt) de 2" ø x ½" ø	55
<b>fig. 40</b> Lamina de acero inoxidable t316.	55
<b>fig. 41</b> Regulador de flujo.	56
<b>fig. 42.</b> Interfaz de usuario.	60
<b>fig. 43</b> Barra de menús en la base de conocimientos de solidworks 2015.	61
<b>fig. 44</b> Administrador de comandos de solidworks 2015.	61
<b>fig. 45</b> Interfaz de usuario.	62
<b>fig. 46</b> Ventana de inicio de solid works 2015.	63
<b>fig. 47</b> Planos de solidworks 2015.	64
<b>fig. 48</b> herramienta de croquizado (59).	65
<b>fig. 49</b> ejemplo de contorno.	65
<b>fig. 50.</b> Brida ciega 12".	67
<b>fig. 51.</b> Brida van stone (s) de 12".	68
<b>fig. 52</b> vista isométrica del modelado de empaque de 1/8" (fuente propia).	69
<b>fig. 53.</b> Tubo de 12".	70
<b>fig. 54.</b> Cople de ½" ø (tpt x fpt).	70
<b>fig. 55.</b> Cople de 2" ø (tpt x fpt)	72
<b>fig. 56.</b> Cople hexagonal pasa tanque de 2"	73
<b>fig. 57.</b> Cople hexagonal pasa tanque de 3" ø fpt.	74
<b>fig. 58.</b> Reducción bushing (mpt x fpt) de 2" x ½".	75
<b>fig. 59.</b> Cople de 12" perforado.	76

<b>fig. 60.</b> Codo de 12" ø (tpt x fpt).	77
<b>fig. 61.</b> Tubería pvc transparente de 12" de 313 mm de longitud.	78
<b>fig. 62.</b> Regulador de flujo.	79
<b>fig. 63.</b> Lámina de acero inoxidable calibre 11.	80
<b>fig. 64.</b> Esparrago galvanizado de 7/8" ø x 6" de longitud.	81
<b>fig. 65.</b> Arandela para esparrago.	82
<b>fig. 66</b> tuerca para esparrago.	83
<b>fig. 67</b> Subensamble de bridas.	87
<b>fig. 68.</b> Subensamble de coples y accesorios.	88
<b>fig. 69</b> Subensamble de coples y tubería de 12"ø.	89
<b>fig. 70.</b> Subensamble de codos en u.	90
<b>fig. 71.</b> Subensamble de bridas y accesorios.	91
<b>fig. 72</b> pie de plano para fotobiorreactor (fuente propia).	95
<b>fig. 73.</b> Acercamiento del contenido del el pie de plano para el fotobiorreactor.	96
<b>fig. 74.</b> Acercamiento del contenido del pie de plano para el fotobiorreactor.	97
<b>fig. 75.</b> Plano de construcción del fotobiorreactor fbr-02, mostrando a detalle las medidas de cada accesorio utilizado para su construcción.	98
<b>fig. 76</b> Parametrización de brida ciega.	104
<b>fig. 77.</b> Parametrización de brida van stone (fuente propia).	105
<b>fig. 78.</b> Parametrización de empaque.	106
<b>fig. 79.</b> Parametrización de tubería de 12".	107
<b>fig. 80.</b> Parametrización de cople de 12".	108
<b>fig. 81.</b> Parametrización de codo de 12".	109

<b>fig. 82.</b> Parametrización de tubería de 313 mm de longitud	110
<b>fig. 83.</b> Parametrización de esparrago.	111
<b>fig. 84</b> Parametrización de arandela.	112
<b>fig. 85.</b> Parametrización de tuerca.	113
<b>fig. 86</b> Plano de construcción del fotobiorreactor de 10" con accesorios parametrizados.	115
<b>fig. 87</b> Plano de construcción del fotobiorreactor de 8", con accesorios parametrizados.	116
<b>fig. 88</b> Plano de construcción del fotobiorreactor de 6", con accesorios parametrizados	117

## ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Plano De Tubería E Instrumentación Fase 1. Etapa De Crecimiento A-303-A (1 De 3). Muestra Las Entradas Y Salidas Del Fotobiorreactor Así Como La Dirección Del Flujo De Este. .....	125
<b>Anexo 2.</b> Plano De Tubería E Instrumentación Fase 1. Etapa De Crecimiento A-303-A (2 De 3) Muestra Las Entradas Y Salidas Del Fotobiorreactor Así Como La Dirección Del Flujo De Este .....	126
<b>Anexo 3</b> Plano De Tuberías E Instrumentación Fase 1. Etapa De Crecimiento A-303-A (3 De 3) Muestra Las Entradas Y Salidas Del Fotobiorreactor Así Como La Dirección Del Flujo De Este. .....	127
<b>Anexo 4.</b> Plano Civil. Planta Localización De Bases Para Tanques Y Soportaría (C-014).....	128

## ÍNDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1</b> Tabla de tamaños y espesores de pared establecidos como estándares, o específicamente:	20
<b>Tabla 2.</b> Selección de válvulas de acuerdo al tipo y función de la válvula (31)	32
<b>Tabla 3.</b> Índice de líneas. Tabla de material para la tubería del fotobiorreactor frb-02	50
<b>Tabla 4.</b> Comparación de diferentes software, para realizar el modelado en 3d del fotobiorreactor.	58
<b>Tabla 5.</b> Comparación de los tamaños de hoja, con respecto a los formatos ISO y ANSI ARCH.	94
<b>Tabla 6</b> Accesorios que requieren de parametrización.	101
<b>Tabla 7</b> Tabla para diámetros de tubería.	102
<b>Tabla 8</b> Capacidad volumétrica estimada para el fbr utilizando diferentes diámetros.	114

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

<b>Ilustración 1</b> esquema para la selección de materiales de tubería. ....	19
<b>ilustración 2</b> estructura del armado del fotobiorreactor fbr-02, representado en un diagrama (fuente: propia).....	86

# RESUMEN

---

Un fotobiorreactor (FBR), es un sistema capaz de generar fotosíntesis de la clorofila existente en las cianobacterias, musgos o algas y son utilizadas para la producción de biomasa controlada, utilizando la fijación de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) (proceso que resulta de la fotosíntesis realizada por las plantas, en la cual el  $\text{CO}_2$  es absorbido y transformado en material orgánico o biomasa) y la utilización de luz solar como fuente de energía para producir biomasa (1).

El manejo de una masa biológica implica limitaciones operativas desde el punto de vista del diseño, por lo que se requiere una determinación precisa de parámetros y variables involucrados para su puesta en marcha, aunado a la correcta selección de materiales para su construcción. Por lo tanto, en este trabajo de tesis, se optimizó la ingeniería de detalle y el arreglo de tuberías, mediante el diseño y construcción de un fotobiorreactor, a través de la utilización de un software comercial (SolidWorks), facilitando la aplicación en base a las necesidades de diseño, operación y construcción de un fotobiorreactor.

El desarrollo de la ingeniería de detalle, permitió llevar a cabo el diseño de los elementos y accesorios consecutivos en el arreglo de tubería del fotobiorreactor, realizando las siguientes actividades: revisión puntual de la ingeniería básica, especificaciones técnicas de materiales y equipos, especificaciones funcionales (conocer la operación de accesorios y equipos), dimensionado de tuberías y la realización de lista de materiales. De esta forma, se modeló cada accesorio con el software SolidWorks, creando subensambles precisos de cada elemento, para lograr el montaje deseado en cada sección del fotobiorreactor FBR-02 y al mismo tiempo, se generó el plano constructivo principal, conteniendo las especificaciones técnicas de los accesorios que se necesitaron para la fabricación del FBR-02. De este modo, CIATEQ aseguró la factibilidad de fabricar el FBR, así mismo, este plano de fabricación será la guía maestra para el personal técnico, que estará a cargo del mantenimiento preventivo y/o en su caso correctivo, lo cual permitirá un funcionamiento óptimo y prolongará su vida útil.

# ABSTRACT

---

A photobioreactor (FPR) is a system capable of generating chlorophyll photosynthesis in cyanobacteria, mosses or algae and is used for the production of controlled biomass, using CO<sub>2</sub> fixation (a process resulting from photosynthesis by plants, where CO<sub>2</sub> is absorbed and transformed into organic material or biomass) and the use of sunlight as a source of energy to produce biomass.

The management of a biological mass implies operational limitations from the point of view of the determination of parameters and variables involved for its commissioning, together with the correct selection of materials for its construction. Therefore, in this thesis work, the ingestion of detail and piping arrangement was optimized through the design and construction of a photobioreactor, through the use of commercial software (SolidWorks), facilitating the application in the basis of the design, operation and construction needs of a photobioreactor.

The development of detailed engineering allowed the design of the consecutive elements and accessories in the piping the following activities: timely revision of basic engineering, technical specifications of materials and equipment, functional specifications (know the operation of accessories and equipment), dimensioning of pipelines and the realization of bill of materials.

In this way, each accessory was modeled with SolidWorks software creating precise subassemblies of each section of the main construction plane was generated, containing the technical specifications of the accessories that were needed for the manufacture of the FBR-02.

In this way, CIATEQ ensured the feasibility of manufacturing the FBR, likewise, this manufacturing plan will be the master guide for technical personnel, who will be in charge of preventive maintenance and/or corrective case, which will allow a functioning optimum and extend useful life.

# CAPÍTULO I.

---

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, hay un gran interés por reducir los niveles de contaminación de CO<sub>2</sub> en la tierra, ya que este ocasiona un efecto invernadero en la atmosfera existiendo actividades humanas que lo provocan; la causa principal de algunas de las actividades humanas es el uso de automóviles, autobuses, aviones, entre otros utilizados por el hombre, debido al aumento de población. Por tal motivo, se han buscado alternativas que reduzcan el CO<sub>2</sub>, una de ellas es la aplicación de la biotecnología que utiliza sistemas biológicos y organismos vivos para la creación o modificación de productos o procesos para algún uso en específico. A través de esta área multidisciplinaria, se crearon diferentes equipamientos especializados para ayudar al medio ambiente, entre los cuales destacan los fotobiorreactores, para lo cual es el tema principal de este trabajo. Un fotobiorreactor (FBR), es un sistema capaz de generar fotosíntesis de la clorofila existente en cianobacterias, musgos o algas y son utilizadas para la producción de biomasa controlada, utilizando la fijación de CO<sub>2</sub> (proceso que resulta de la fotosíntesis realizada por las plantas, en donde el CO<sub>2</sub> es absorbido y transformado en material orgánico o biomasa) y la utilización de luz solar como fuente de energía para producir biomasa. (1) El manejo de una masa biológica implica limitaciones operativas, desde el punto de vista del diseño, por lo que se requiere una determinación precisa de parámetros, (como lo son el suministro de luz, el mezclado, transferencia de CO<sub>2</sub> y la acumulación de oxígeno) y variables involucradas para su puesta en marcha, aunado a la correcta selección de materiales para su construcción. (1)

La ingeniería de detalle, es el resultado del análisis de una obra en particular para ser construida, consiste en interconectar cada uno de los equipos e instrumentos de la ingeniería básica y la ingeniería de procesos para llevar a cabo la implementación de un nuevo proyecto. (3)

Por lo tanto, le corresponde determinar las especificaciones técnicas definitivas con la elaboración de documentos o planos que sean emitidos y estos a su vez, deben contener

detalles concretos (croquis de ubicación, simbología, cuadro de datos, acotación, vistas de detalles, vistas de corte o vistas de sección.), que permitan fabricar o realizar el montaje final en terreno. (4)

El presente trabajo de investigación, se realiza en conjunto con el centro de tecnología avanzada CIATEQ, con la finalidad de realizar la ingeniería de detalle y arreglo de tubería para un fotobiorreactor FBR-02, la cual es necesidad que surge de la empresa ASEPRO ECOLOGÍA. Para llevar a cabo este proyecto, es necesario generar en 3D el arreglo de tubería del fotobiorreactor FBR-02, mediante la aplicación de un software comercial (SolidWorks), con la finalidad de comprobar que es factible concretar la fabricación del FBR-02. Al obtener el arreglo de tubería se genera un plano constructivo del mismo, el cual le servirá a ASEPRO ECOLOGÍA en la fabricación y montaje del fotobiorreactor.

Esto se puede lograr modelando los accesorios de tubería como lo son: reguladores de flujo, codos, bridas, empaques, coples, espárragos, tuercas, reducciones bushing y conectores, generándolos en un software comercial SolidWorks, con la finalidad de tener un 3D de los accesorios.

Debido a lo anterior, se modelo cada accesorio necesario para el montaje del fotobiorreactor, lo cual simplifica operaciones en el diseño, lo cual facilitará su fabricación con diferentes dimensiones en cuanto a diámetro nominal y longitud total.

Por ello, el objetivo general de este trabajo es, optimizar la ingeniería de detalle y el arreglo de tubería, en el diseño y construcción de un fotobiorreactor, mediante la utilización de un software comercial SolidWorks para facilitar su aplicación en base a las necesidades de operación.



## 2.1 Planteamiento del Problema

CIATEQ, es un centro de tecnología avanzada cuyas actividades están encaminadas a solucionar problemas de la industria, a través de diversas ramas de la ingeniería. La empresa ahora cuenta con el proyecto de ASEPRO ECOLOGÍA, para desarrollar la ingeniería de detalle de un fotobiorreactor, el cual estará destinado al cultivo a gran escala de microorganismos fotosintéticos para la generación de biocombustible.

Este trabajo tiene como fin, realizar la ingeniería de detalle y el arreglo de tubería de un fotobiorreactor mediante un modelado en 3D para visualizar el ensamble que tendrá; posteriormente, se realizará un plano constructivo en el cual se podrán observar las vistas de planta, elevación, cortes y detalles. Esto servirá a CIATEQ para comprobar que es factible concretar la fabricación del fotobiorreactor, ya que contara con las dimensiones exactas con base a las medidas que se tomaron en el levantamiento topográfico (medidas que por cuestiones de confidencialidad de la empresa no se pueden mostrar). Así mismo, este plano de fabricación será la guía maestra para el personal técnico a cargo de mantenimiento preventivo y/o en su caso correctivo, lo cual permitirá un funcionamiento óptimo y prolongará su vida útil.

Finalmente la empresa la empresa ASEPRO ECOLOGIA tiene la necesidad de seguir empleando más fotobiorreactores de diferentes tamaños, para lo cual el problema en el que se enfoca este proyecto, es el de optimizar las dimensiones de los fotobiorreactores ya que emplearan fotobiorreactores de 6", 8" y 10"; esto es con la finalidad de garantizar la fotosíntesis de la biomasa el cual parece un problema común, pero dado el caso requiere un diseño nuevo o rediseño que implica un costo demasiado alto (el costo estimado del diseño, es más o menos de \$300,000,<sup>00</sup> este dato fue consultado con expertos en diseño que por cuestiones de confidencialidad no se mencionan).

## **2.2 Propuesta de solución al problema**

La propuesta de solución al problema es, desarrollar el procedimiento de la ingeniería de detalle; en primera estancia se va a emplear las medidas que se obtuvieron al levantamiento topográfico para poder realizar un análisis del dimensionamiento que tendrá el fotobiorreactor, posteriormente se realizara una búsqueda exhaustiva de qué tipo de material serán los componentes de tubería del fotobiorreactor, con la finalidad de garantizar la fotosíntesis de la biomasa para no afectar en la producción. Por consecuente, una vez que se tenga el tipo de material del cual será el fotobiorreactor; se van a modelar cada uno de los componentes en el software SolidWorks.

Mediante el diseño de cada componente se facilitara el ensamble general del mismo, haciendo uso de los diagramas de tubería (DTI's) proporcionados por el área de procesos de CIATEQ, siendo estos una guía para conocer el flujo del proceso en las tuberías, así como los equipos y accesorios que serán utilizados.

Con base al modelado del FBR-02 se realizará un plano constructivo, en el cual se podrá observar las vistas de planta, elevación, cortes de sección y detalles. Este plano será la guía maestra para personal técnico, que llegue a estar a cargo del mantenimiento del fotobiorreactor, dando mantenimiento preventivo y/o en su caso correctivo, de tal manera que permitirá un funcionamiento óptimo y prolongará la vida útil del mismo.

El enfoque principal, es optimizar los diámetros, la longitud y materiales de tuberías, con el fin de que en un futuro ASEPRO ECOLOGIA realiza más fotobiorreactores de diferentes dimensiones, la parametrización ayudará a no generar más modelados de cada fotobiorreactor.

## 2.3 Hipótesis

Desarrollar el procedimiento de la ingeniería de detalle del arreglo de tubería se podrá hacer una parametrización del fotobiorreactor para que en un futuro se hagan más fotobiorreactores de diferentes dimensiones sin tener que volver a hacer un modelado de cada uno.

Analizar la ingeniería de detalle y el modelado de la tubería de un fotobiorreactor, mediante un software comercial (SolidWorks), hará posible la detección de errores de construcción y así poder anticipar fallas en la operación del mismo.

## 2.4 Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el procedimiento de la ingeniería de detalle y el arreglo de tubería, en el diseño y construcción de un fotobiorreactor, mediante la utilización del software comercial SolidWorks para facilitar su aplicación en base a las necesidades de operación.

### Objetivos específicos

- Analizar el arreglo de tubería que conforma el fotobiorreactor, mediante el diseño de cada componente para facilitar el ensamble general.
- Evaluar el proceso construcción del fotobiorreactor, mediante el modelado de las diferentes partes o accesorios que lo componen, para elaborar el plano maestro requerido por la empresa ASEPRO Ecología.
- Proponer una parametrización de los accesorios (codos, bridas, empaques, coples, espárragos, tuercas y tubería) mediante el software comercial SolidWorks, simplificando operaciones en el modelado, para lograr una optimización en la ingeniería de detalle de los fotobiorreactores con diferentes diámetros de tuberías, contemplando su diámetro nominal (6, 8 y 10 pulgadas) y longitud total.

## 2.5 Justificación

Con el objetivo de cumplir con el procedimiento de la ingeniería de detalle, este proyecto se basa esencialmente en cumplir con sus etapas 3 y 4. Etapa 3, se basa en el ensamble y comprobación de partes; con ayuda del software Solid Works se realizó el modelado de cada uno de los accesorios que compone un fotobiorreactor, con la finalidad de poder visualizar el ensamble general del mismo a través de cada uno de sus subensambles. Una vez que se obtuvo el plano se procede a continuar con la etapa 4, para comprobar las dimensiones y resultados bajo normas estandarizadas; se realiza un plano del armado del fotobiorreactor en el cual se indican distancias, diámetros y vistas de detalle para comprobar que el levantamiento que se realizó en la ingeniería básica corresponde al dimensionamiento del fotobiorreactor.

Con la finalidad de satisfacer futuras demandas, la empresa ASEPRO ECOLOGIA tiene la necesidad de seguir empleando más fotobiorreactores de diferentes tamaños, para lo cual como aportación para la ingeniería de detalle se presenta un diseño paramétrico de algunos de los accesorios del fotobiorreactor, como se muestra en el capítulo 4 apartado 4.4, para facilitar el diseño y optimización en función de las dimensiones de cada uno de los accesorios que componen este fotobiorreactor, ya que serán necesarios fotobiorreactores con diámetro de 10", 8" y 6", para llevarlo a cabo, se contempla el diámetro nominal y longitud. Con esto, se puede mantener un flujo turbulento que genere un movimiento dinámico que inhiba el estancamiento de la biomasa y se genere un aprovechamiento de la luz para la obtención de la biomasa.

El beneficio que otorga este trabajo, es proponer diferentes soluciones al diseño para la ingeniería en la fase de fabricación, armado y montaje de un fotobiorreactor, evitando gastos que se generen por una mala instalación, por un mal dimensionamiento en el fotobiorreactor o por material mal especificado. Con este trabajo de investigación, se podrán generar empleos para la realización de este fotobiorreactor desde su diseño hasta su montaje; también cuenta con la participación de alumnos los cuales con sus investigaciones y propuestas, aportan y generan conocimientos para el arranque de este proyecto.

## CAPÍTULO II.

---

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Ingeniería de detalle

La ingeniería de detalle, es el resultado del análisis de la ingeniería básica, llevando a cabo un proyecto y teniendo como fin último la etapa de construcción y montaje (5). Su desarrollo, da como resultado una serie de documentos técnicos, necesarios para la planificación y ejecución del proyecto en cuestión, de manera rápida y segura, optimizando recursos tanto materiales como de mano de obra (6).

La ingeniería de detalle, debe incluir los diseños constructivos de las diferentes especialidades que puedan concurrir en un proyecto, como son: diagramas de tuberías e instrumentación (DTI's), diseño térmico y mecánico de cambiadores de calor y equipo de combustión directa; diseño de tubería eléctrica, diagramas de servicios auxiliares, especificación de material, implantación definitiva, selección de accesorios; planos de planta, elevaciones, detalles y secciones, planos isométricos, definiendo el alcance que tenga cada departamento funcional (7).

La ingeniería de detalle, se ejecuta teniendo siempre en mente que todas las actividades de construcción y montaje estén lo suficientemente ilustradas y se eviten deficiencias de información, las cuales generan pérdidas de tiempo, dinero y las consiguientes reclamaciones del cliente (8).

### 3.1.1 Etapas de la Ingeniería de Detalle

#### **Etapas 1.** Comprobación de especificaciones

- Dentro de esta etapa, se lleva a cabo una revisión de los estudios de la ingeniería básica, con la finalidad de adecuarlos al momento de llevar a cabo la ingeniería de detalle (3).

#### **Etapas 2.** Definir las partes.

- Las partes en que se divide cada componente, deben ser tales que en la fase de fabricación no quede ningún aspecto constructivo sin definir. Cualquier detalle que se encuentre sin especificar en la fase de diseño, puede generar consecuencias graves en la fabricación o montaje (3).

Esta etapa incluye:

- Definición de las partes de cada componente.
- El modelado y dimensionado de cada elemento.
- La consideración de que los elementos forman parte de un conjunto y que éste debe ser óptimo.
- El estudio de los elementos de unión y piezas auxiliares, de control y montaje.
- Los planos de detalles constructivos de cada una de las partes.

#### **Etapas 3.** Ensamblar y comprobar partes.

En esta etapa da una primera solución de diseño completo, esta etapa comprende lo siguiente:

- Ensamblar partes en componentes, convirtiéndolos a su vez en subensambles.
- Dibujar el conjunto y detalles del ensamble.

#### **Etapas 4.** Comprobar dimensiones y resultados con normas.

Teniendo definidas las dimensiones del conjunto y sus componentes, es necesario comprobar los resultados de modo que cumplan las normas, con el fin de incluirlos en los planos, demás documentación y todas las condiciones que son obligatorias citar (3).

## **Etapas 5. Preparación, revisión y redacción de documentos.**

Antes de culminar con la determinación de la obra o producto, los documentos deben ser completos y suficientes para la entrega del proyecto.

### **3.1.2 Documentos principales para el diseño de tubería**

Para el diseño de tubería se necesita:

- Selección de accesorios (bridas, codos, coples, empaques, espárragos, tubería, y reducciones)
- Especificación de materiales (contemplar longitud, diámetros y resistencia térmica y dinámica de material)
- Planos de plantas, elevaciones, detalles y secciones.
- Planos isométricos
- Implantación definitiva (3).

La documentación debe incluir:

- Bases y criterios de diseño (validación y verificación de la ingeniería conceptual).
- Definición de requerimientos funcionales definitivos.
- Diagramas principales de flujo de procesos y auxiliares (definición de normas a usar).
- Diseños definitivos incluidos cálculos (de todas las especialidades que intervienen en el proyecto)
- Especificaciones de equipos mayores definitivos (incluir planos de ingeniería)
- Diagramas de tubería e instrumentación DTI's (mostrar el flujo del proceso de las tuberías y equipos instalados).
- Layout de implantación general definitivo.
- Estudios apropiados al proyecto.
- Plan de trabajo (Conformación del equipo de trabajo).

La denominación genérica que se da a estos documentos, es la de “planos”.

### 3.1.3 Definición de planos, funciones y tipos.

“Ríos”, define un plano como la superficie generada por la intersección de una o más líneas rectas o curvas, el cual puede ser cuadrado, rectangular, circular, triangular e irregular. (9)

Los planos, son los documentos más utilizados del proyecto, y por ello han de ser completos (deben contener descripción a detalle, como: vistas, dimensiones lineales y superficiales así como también dimensiones volumétricas y el acotado de las mismas, para lograr su fabricación) y concisos (toda descripción en el plano debe ser breve y precisa) (10).

Los planos son de suma importancia, ya que estos sirven de apoyo a personal capacitado para su interpretación y lograr un futuro mantenimiento para llevar a cabo el desarrollo de modificaciones o ampliaciones. Dentro de las funciones de los planos se puede decir que:

1. Agrupan los antecedentes que existan antes de realizarse el proyecto.
2. Definen de una manera exacta, unívoca y completa todos y cada uno de los elementos del proyecto, tanto en formas como dimensiones y características esenciales.
3. Representan la funcionalidad y combinación de los elementos que componen el proyecto. En los planos se refleja la información de estos.
4. Indican la flexibilidad de las soluciones adoptadas y sus posibilidades de ampliación.
5. Reflejan la influencia de la modificación sobre el área circulante.

Desde el punto de vista de ejecución del proyecto los planos deben:

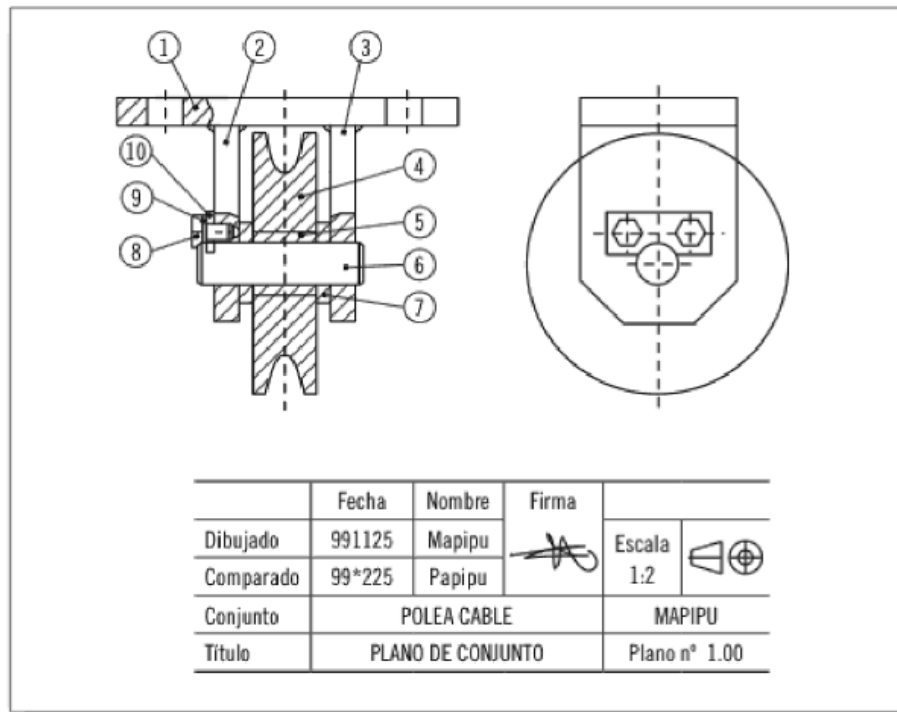
1. Ser fácilmente comprensibles por cualquier técnico, contratista o armador.
2. Ser “medibles”, puesto que en base a ellos se hacen los cálculos de dimensiones y presupuestos.
3. Facilitar la planificación de la ejecución de obras e instalaciones.
4. Permitir el control de la obra en cuanto a plazos y cualidades por parte de la dirección facultativa.
5. Ser documentos representativos de las obras e instalaciones.



### 3.1.3.1 Tipos de planos

- **Plano General o de Conjunto.** Presenta una visión general del dispositivo a construir, de forma que se puede ver la situación de las distintas piezas que lo componen, con relación y concordancias existentes entre ellas (véase Figura 1). Su función principal es hacer posible hacer posible el montaje (11).

**Fig. 1** Plano general o de Conjunto. Representa el mecanismo de todas las piezas ensambladas para su funcionamiento.

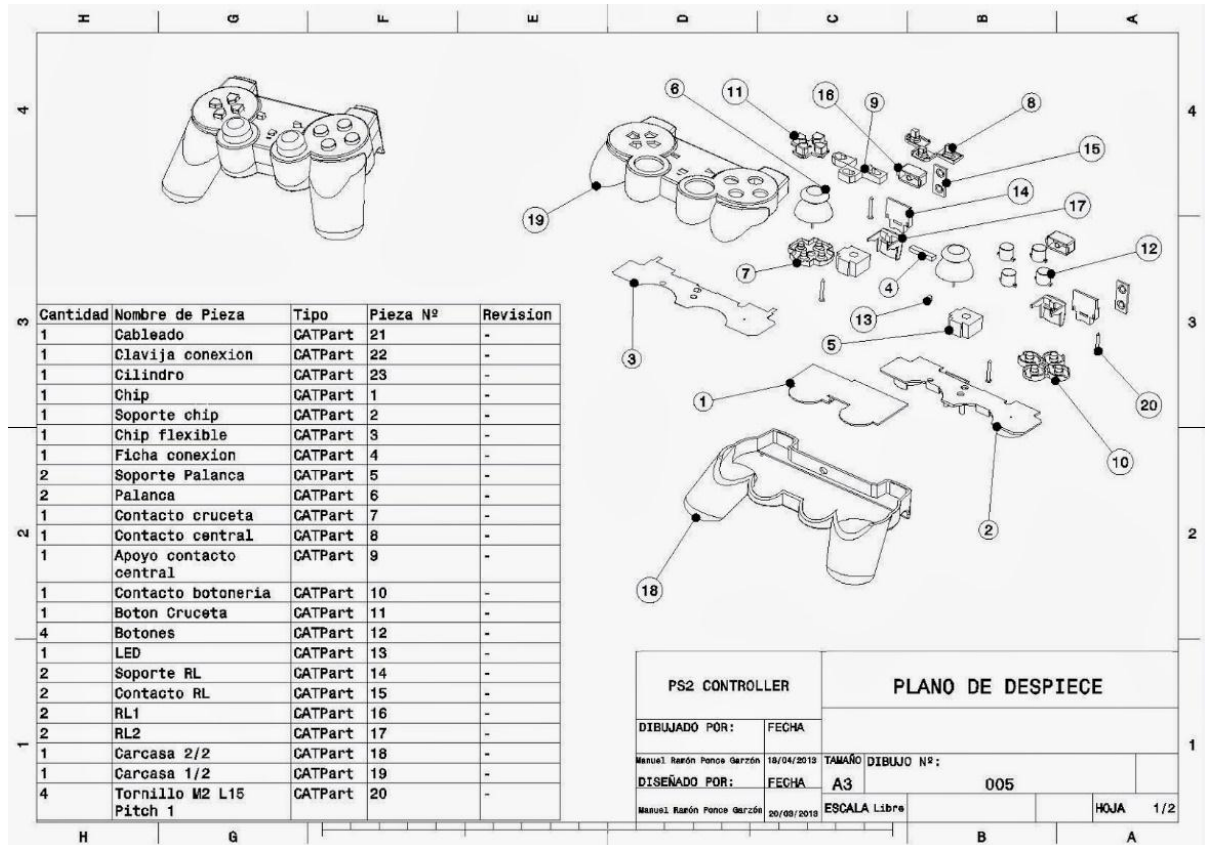


Fuente: (11)

Como se muestra en la figura 1, el esquema representa el diseño de las piezas para facilitar el montaje de un ensamble.

- **Plano de fabricación y despiece.** Son planos individuales de cada una de las piezas que se representan con las vistas necesarias para cada caso, con acotaciones e indicaciones suficientes acerca de las superficies y materiales de las piezas en cuestión, un ejemplo de ello se muestra en la fig. 2 (11).

**Fig. 2** Plano de despiece. Muestra todos y cada uno de los accesorios necesarios para el armado de un control de videojuego, así mismo este plano sirve para realizar la fabricación del mismo (12).

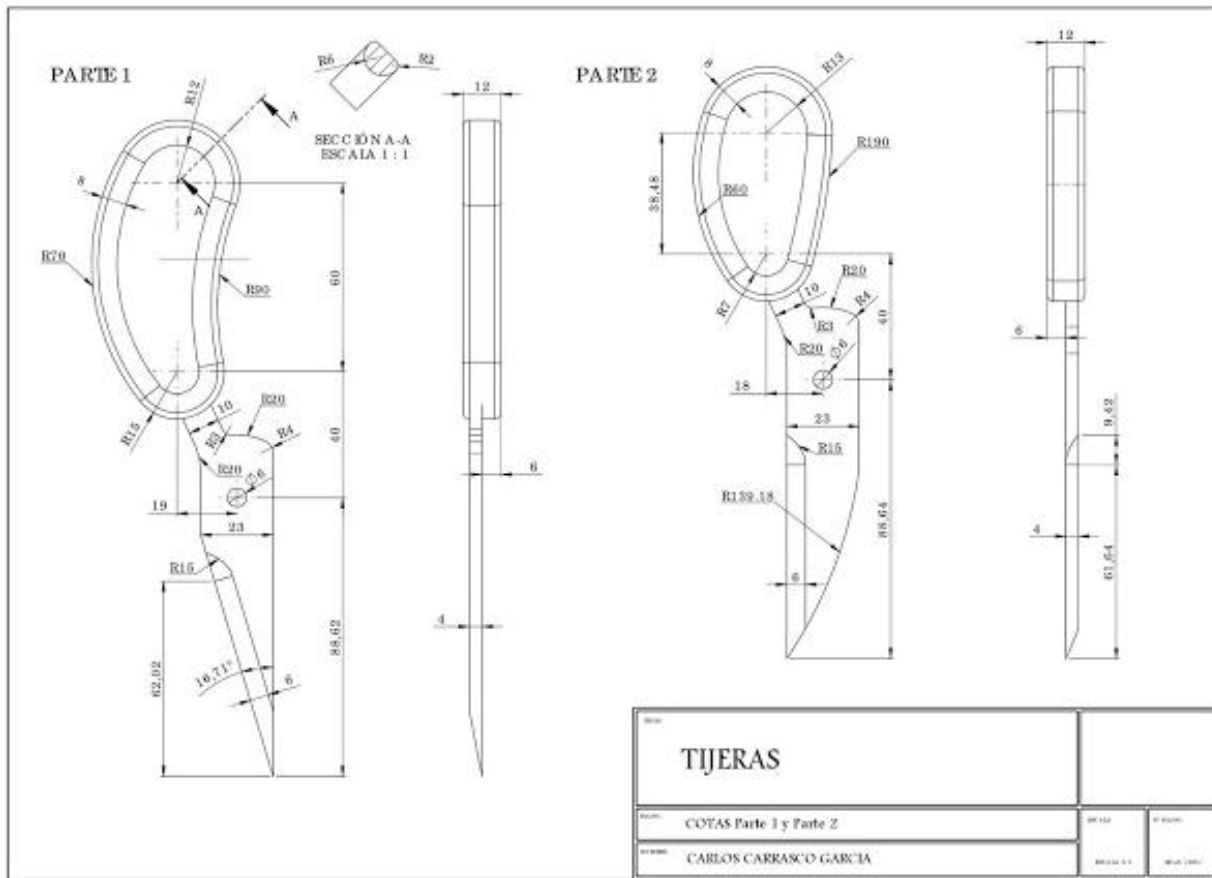


Fuente: (12)

En la figura dos se muestra un plano en el cual muestra el despiece de cada uno de las piezas que cuenta un componente para lograr su armado.

- **Plano de montaje.** Estos planos tienen la función de representar totalmente objetos sencillos, es decir, muestra las dimensiones y la información necesaria para la construcción de dicha pieza y para el montaje de los accesorios.

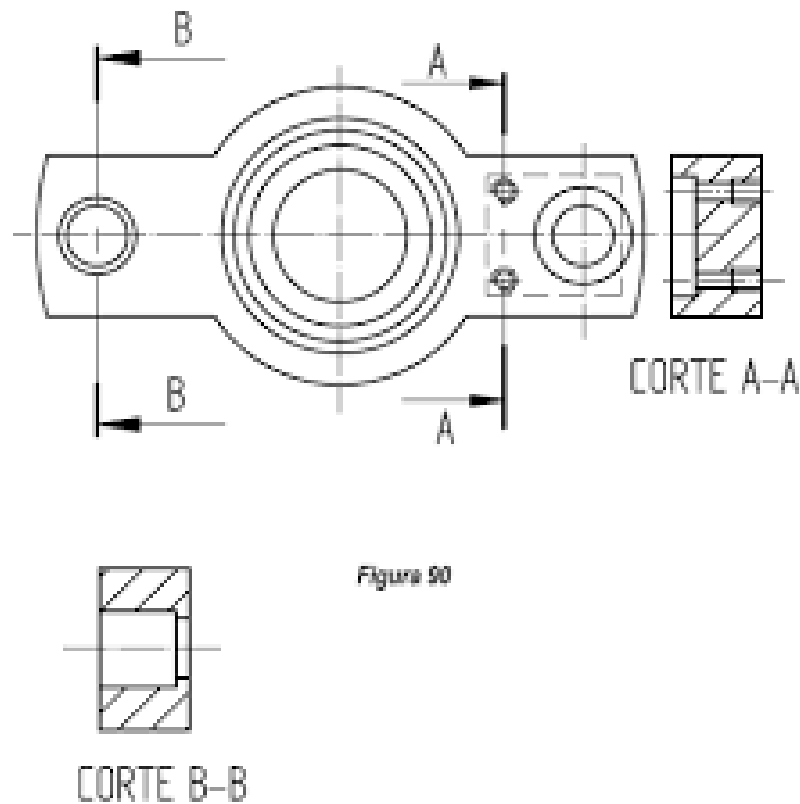
**Fig. 3.** Plano de montaje de unas tijeras.



Fuente: (13)

- **Plano de detalle.** Son proyecciones, en la cual muestran una pequeña parte de la construcción (a gran escala), en la cual se especifica como encajan los diversos elementos estructurales de algún elemento a fabricar. Estos planos muestran de forma estándar los elementos de alguna pieza o construcción, y por lo general, muestran zonas complejas (como engranajes, muros, cortes etc.) que no pueden mostrarse en un dibujo general (véase figura 4) (14).

**Fig. 4.** Dibujo de detalle, expresado por la letra A, en la cual el detalle es un corte A-A, de igual manera B, el corte B-B.



Fuente: 14

La figura 4, representa el plano de detalle en el cual muestra vistas y cortes de sección para la orientación y fabricación del mismo.

### 3.1.3.2 Formatos Normalizados

Es nombrado “formato” a la hoja de papel en el cual se lleva a cabo un dibujo, cuya forma y dimensionado están estandarizados en *milímetros (mm)* o *pulgadas (")* (15). Por tal motivo, todos los tamaños de papel están estandarizados, así mismo, están divididos en “series” y cada una de ellas está pensada para un uso concreto que determina sus proporciones.

## Formatos ISO

El tamaño de la hoja del dibujo esta normalizado y adoptado por todas las naciones, con objeto de uniformizar sobres, carpetas, planos etc.

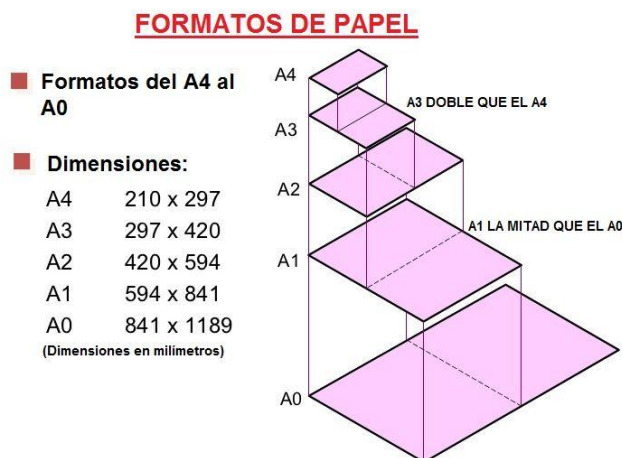
Es la serie básica de tamaños de papel “finales” (es decir: los tamaños que el usuario final recibe). Se basa como las demás series estandarizadas por la ISO, en el sistema métrico decimal (16).

### Dimensiones.

Las dimensiones de los formatos corresponden a las reglas de doblado, semejanza y referencia. Según las cuales (17):

1. Regla de Doblar. Un formato se obtiene por doblado transversal del inmediato superior.

**Fig. 5** Los formatos se obtienen en sus dimensiones, doblando el formato base u origen exactamente por la mitad logrando así su dimensión mayor.

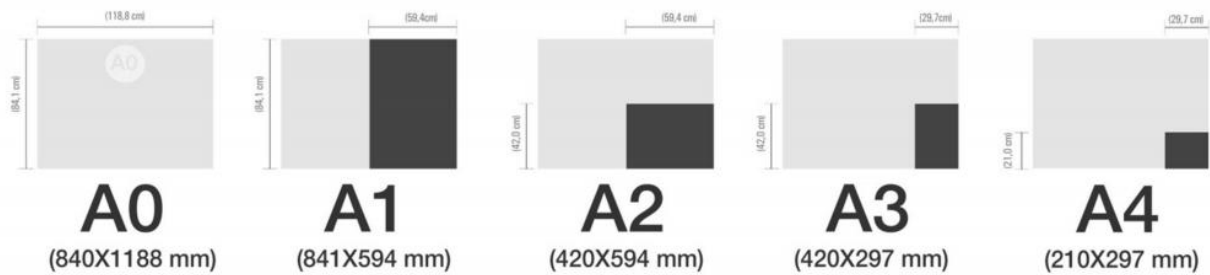


Fuente: 17

Es la forma en cómo se obtiene el formato de papel para obtener los diferentes tamaños de hoja, por medio de doblez.

2. Regla de Semejanza. La relación entre los lados de un formato, es igual a la relación existente entre el lado de un cuadrado y su diagonal, es decir  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ .

**Fig. 6** Representación de los formatos, y su semejanza debido a sus dimensiones logrando el inmediato inferior.

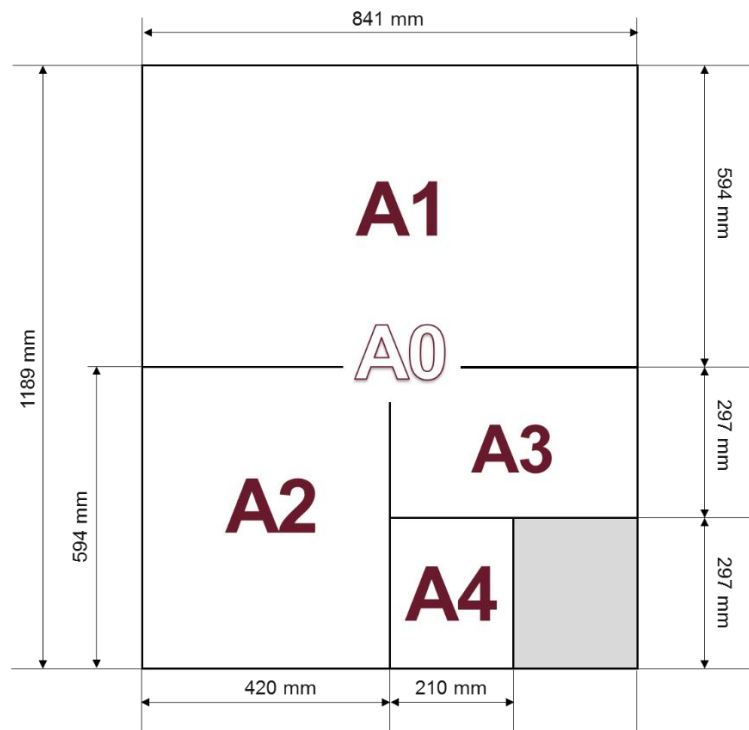


Fuente: 18

En la figura 6, se asemeja a la figura 5 a diferencia de que en esta no necesita un doblez, simplemente se basa en sus dimensiones logrando el inmediato superior.

3. Regla de referencia. Finalmente para obtener los formatos se parte de un formato base de un metro cuadrado (véase figura 7).

**Fig. 7.** Representación de la regla de referencia, en el cual todo formato está referido al sistema métrico decimal. La superficie del formato origen es igual al metro cuadrado.



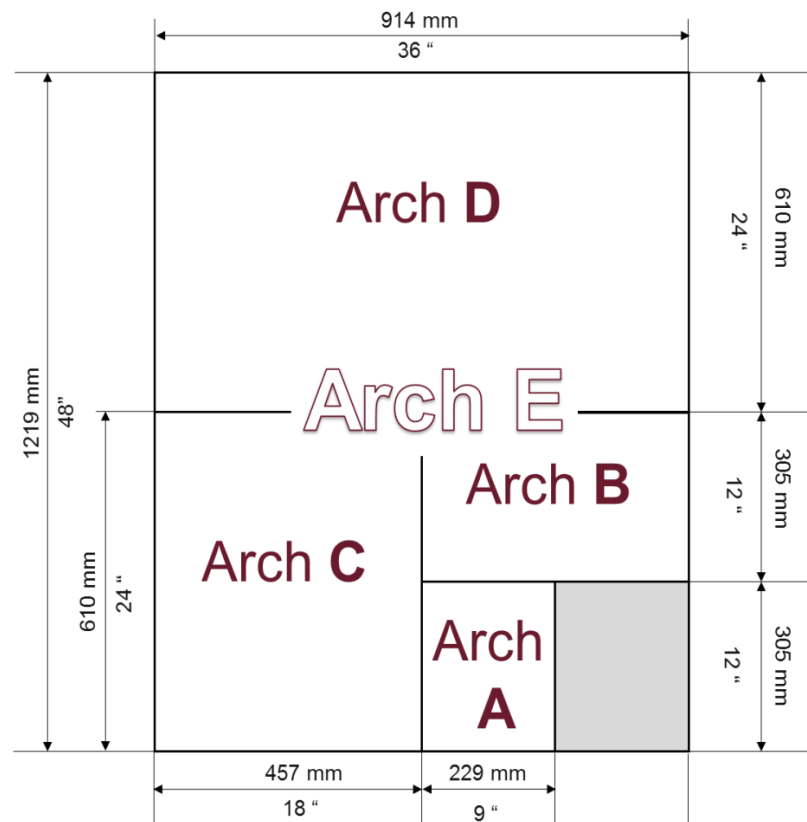
Fuente: (17)

## Formatos ANSI

ANSI (American National Standards Institute) define una serie regular de tamaños de papel basandose en el estandar del factor  $8\frac{1}{2} \times 11$  pulgadas (215.9 x 279.4 mm), y el tamaño es asignado con “letra”, convirtiendo lo anterior en la letra A y el de mayor tamaño.

Esta serie es algo similar a la norma ISO, con respecto al corte de una hoja a la mitad se producen dos hojas del siguiente tamaño mas pequeño, sin embargo, en ANSI inicia con el formato mas pequeño (Carta o ANSI A), por lo que podemos decir que: para encontrar un formato mayor, debemos de multiplicar cada formato colocando el duplicado de manera adyacente, por los lados longitudinales de ambos formatos iguales. Es por ello que las letras de cada formato inician desde el formato menor hacia el mayor (vease en la figura 8).

**Fig. 8.** Representación de tamaños del formato ANSI Arch (fuente propia).



Fuente: (17)

La información que se vio con anterioridad, sirve como guía para desarrollar la ingeniería de detalle del fotobiorreactor; conociendo las etapas para su implementación, la documentación que esta necesita y la que refleja posterior a su desarrollo, así como también, las especificaciones necesarias en los planos. Para llevar a cabo la ingeniería de detalle, primero se tiene que conocer la estructura que llevará el fotobiorreactor, esto se logrará a través de los diagramas de tubería (DTI's), ya que a través de estos diagramas se conoce el flujo del FBR-02 y los accesorios que se necesitan para su fabricación, del mismo modo también el material del que será fabricado, lo cual se mostrará a continuación.

## 3.2 Tubería

*Ortega*, (2014) describe el concepto de tubería como un elemento cilíndrico hueco de acero o plástico, con una geometría definida por el diámetro y el espesor del cuerpo que lo conforma, además menciona que, para fines prácticos se define mediante una geometría homogénea e idealizada, es decir, un diámetro y un espesor nominal constante en toda su longitud (19).

Hay una diferencia entre tubo y tubería, la cual se describe a continuación:

Un tubo es una pieza hueca, generalmente cilíndrica y abierta por ambos lados, fabricados de acuerdo a los tamaños estandarizados y siempre tendrán número de cedula que definen su espesor de pared. En la *tabla 1* se observa que la tubería se identifica por el número de cédula y por su diámetro exterior (véase tabla 1).

Una tubería es un sistema formado por tubos y accesorios unidos mediante juntas, para formar una conducción cerrada (20), la cual sirve para transportar fluidos.

### 3.2.1 Materiales típicos para fabricar tubos

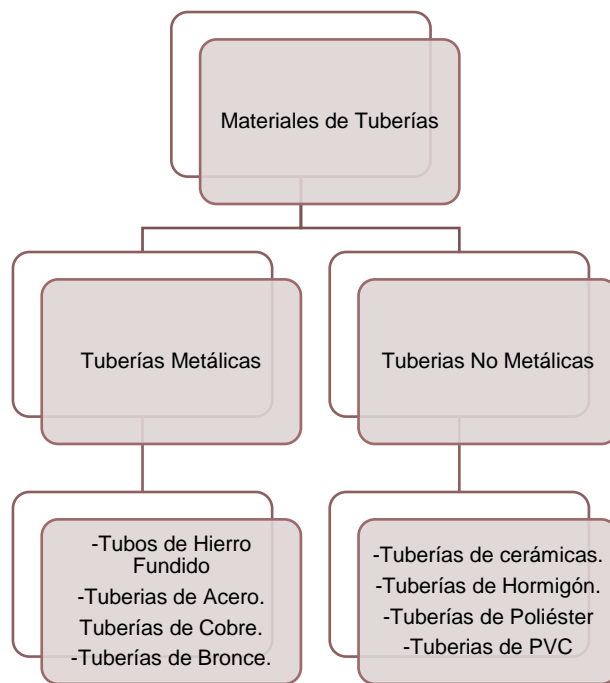
*Según Domínguez*, (2010) hace mención del problema de corrosión por la que pasan algunos metales y sus aleaciones, la cual puede ser muy grave, pero que en la mayoría de estos casos pueden prevenirse seleccionando adecuadamente los materiales dentro de una gama muy amplia que dispone el ingeniero. Entre ellos, no están solamente los metales sino también los



plásticos, cauchos, materiales cerámicos, entre otros (21) así mismo esto dependerá de acuerdo al uso que se le va a dar (véase ilustración 1).

Es de gran importancia conocer la resistencia a la corrosión de los distintos materiales, pero la selección final depende de otros factores diferentes a la resistencia y corrosión.

**Ilustración 1** Esquema para la selección de materiales de tubería.



Fuente: 21

En la *ilustración 1*, expone los principales materiales, que se pueden considerar para tubería.

### 3.2.2 Medidas y espesores de pared de tubería de línea

NPS	OD	ESPESOR DE PARED NOMINAL														
		Cédula 5 S*	Cédula 10 S*	Cédula 10	Cédula 20	Cédula 30	Std.=	Cédula 40	Cédula 60	Extra Strong	Cédula 80	Cédula 100	Cédula 120	Cédula 140	Cédula 160	XX Strong
⅛	0.405	-	-	0.049	-	-	0.068	0.068	-	0.095	0.095	-	-	-	-	-
¼	0.540	-	-	0.065	-	-	0.088	0.088	-	0.119	0.119	-	-	-	-	-
⅜	0.675	-	-	0.083	-	-	0.091	0.091	-	0.126	0.126	-	-	-	-	-
½	0.840	0.065	-	0.083	-	-	0.109	0.109	-	0.147	0.147	-	-	-	0.188	0.294
¾	1.050	0.065	-	0.083	-	-	0.113	0.113	-	0.154	0.154	-	-	-	0.219	0.308
1	1.315	0.065	-	0.109	-	-	0.133	0.133	-	0.179	0.179	-	-	-	0.250	0.358
1¼	1.660	0.065	-	0.109	-	-	0.140	0.140	-	0.191	0.191	-	-	-	0.250	0.382
1½	1.900	0.065	-	0.109	-	-	0.145	0.145	-	0.200	0.200	-	-	-	0.281	0.400
2	2.375	0.065	-	0.109	-	-	0.154	0.154	-	0.218	0.218	-	-	-	0.344	0.436
2½	2.875	0.083	-	0.120	-	-	0.203	0.203	-	0.276	0.276	-	-	-	0.438	0.552
3	3.500	0.083	-	0.120	-	-	0.216	0.216	-	0.300	0.300	-	-	-	-	0.600
3½	4.000	0.083	-	0.120	-	-	0.226	0.226	-	0.318	0.318	-	-	-	0.531	-
4	4.500	0.083	-	0.120	-	-	0.237	0.237	-	0.337	0.337	-	0.594	-	0.625	0.674
5	5.563	0.109	-	0.135	-	-	0.258	0.258	-	0.432	0.432	-	0.719	-	0.719	0.750
6	6.625	0.109	-	0.148	-	-	0.280	0.280	-	0.500	0.500	-	0.844	-	0.906	0.864
8	8.625	0.109	-	0.165	0.250	0.277	0.322	0.322	0.250	0.500	0.594	0.594	0.938	0.812	1.125	0.875
10	10.750	0.134	-	0.180	0.250	0.307	0.365	0.365	0.250	0.500	0.688	0.719	1.031	1.000	1.312	1.000
12	12.750	0.156	-	0.188	0.250	0.330	0.375	0.406	0.250	0.500	0.750	0.844	1.156	1.125	1.406	1.000
14	14.000	0.156	0.250	0.188	0.312	0.375	0.375	0.438	0.312	0.500	0.844	0.938	1.281	1.250	1.594	-
16	16.000	0.165	0.250	0.188	0.312	0.375	0.375	0.500	0.312	0.500	0.938	1.031	1.375	1.438	1.781	-
18	18.000	0.165	0.250	0.188	0.132	0.438	0.375	0.562	0.312	0.500	1.031	1.156	1.531	1.562	1.969	-
20	20.000	0.188	0.250	0.218	0.375	0.500	0.375	0.594	0.375	0.500	1.125	1.281	-	1.750	2.125	-
22	22.000	0.188	0.250	0.218	0.375	5.000	0.375	-	0.375	0.500	1.218	1.375	-	1.875	2.344	-
24	24.000	0.218	0.250	0.250	0.375	0.562	0.375	0.688	0.375	0.500	-	1.531	-	2.062	-	-
26	26.000	-	0.312	-	0.500	-	0.375	-	0.500	0.500	-	-	-	-	-	-
28	28.000	-	0.312	-	0.500	0.625	0.375	-	0.500	0.500	-	-	-	-	-	-
30	30.000	0.250	0.312	0.312	0.500	0.625	0.375	-	0.500	0.500	-	-	-	-	-	-
32	32.000	-	0.312	-	0.500	0.625	0.375	0.688	0.500	0.500	-	-	-	-	-	-
34	34.000	-	0.312	-	0.500	0.625	0.375	0.688	0.500	0.500	-	-	-	-	-	-
36	36.000	-	0.312	-	0.500	0.625	0.375	0.750	0.500	0.500	-	-	-	-	-	-
42	42	-	0.312	-	-	-	0.375	-	-	0.500	-	-	-	-	-	-

Todas las dimensiones están dadas en pulgadas

Los espesores decimales listados para las medidas del tubo respectivas representan su pared nominal o determinan el promedio de las dimensiones de la pared. Los espesores efectivos pueden tener el 12.5% bajo el espesor nominal de acuerdo a la tolerancia de fábrica. Los espesores que aparecen en letra normal para la cédula 60 y el tubo fuerte no son actualmente suministrados por la fábrica, a menos que un tonelaje mínimo fijo sea ordenado.

**Tabla 1** Tabla de tamaños y espesores de pared establecidos como estándares, o específicamente:

1. El espesor estándar, extra fuerte y doble extrafuerte.
2. Los espesores de pared aplicados a cédulas de acuerdo a la Norma Americana B36.10, la cual se aplica a materiales de acero al carbono y acero inoxidable.
3. Las cédulas y espesores de acuerdo a la Norma Americana, B36.19 y ASTM A409, se aplica solamente a los materiales resistentes a la corrosión. (NOTA: la cédula 10S se aplica también para aceros al carbono en tamaño 12" y menores).

La cédula en los tubos de acero, se refiere a la medida del espesor del conducto que forma parte de un caño. Así mismo, la cédula dependerá del uso que se le vaya a dar a la tubería y del material que se vaya a transportar (22).

De acuerdo a lo anterior, se han clasificado las tuberías por su número de cedula (se usan las siglas SCH para identificarlas), siendo las más comunes (23):

- Cedula 40 (sch 40)
- Cedula 80 (sch 80)
- Cedula 160 (sch 160)

Según el diámetro nominal de la tubería y el número de cedula o peso de manufactura, el espesor de pared de la tubería varia. Para conocer el espesor de la tubería, (si es que fuera necesario) existen tablas estandarizadas conforme al código ASME (American Society of Mechanical Engineers), estas se pueden encontrar en la literatura de tuberías o en los catálogos de proveedores de tubería (24).

Además las tuberías se suministran en tramos de:

- Largo normal (Random Length) de 6m (20 ft).
- Largo doble (Double Random Length) de 12m (40ft).

### 3.3 Accesorios para tuberías

De acuerdo a Ortega (2014), un accesorio de tubería es todo aditamento necesario en un sistema, ya sea para arrancar, seguir y mantener la eficiencia. Otra definición, hace referencia al conjunto de piezas modeladas o mecanizadas, que unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado, forman las líneas estructurales de tuberías de una planta o proceso (19). Tipos:

- Bridas
- Codos
- Accesorio “T”
- Reducciones
- Coples
- Válvulas
- Empaques
- Tornillos
- Niples
- Empaques
- Espárragos y tuercas.

#### 3.3.1 Bridas

Son aquellos elementos de línea de tuberías, destinados a permitir la unión de las partes que conforman esta instalación; ya sean tuberías, válvulas, bombas u otro equipo que forme parte de esta instalación (25). Las bridas se utilizan para realizar una unión desmontable en tuberías (24).

A cada una de la tubería que se quiera unir, se acopla la brida mediante diferentes tipos de unión (socket Weld o roscadas). Entre ambas bridas se interpone una junta (empaque) de material y dimensiones adecuadas, este se hace pasar por un esparrago, por cada pareja de barrenos que por regla deben de ser concéntricos entre sí. Por último, se aprietan fuertemente estos espárragos y queda la unión hecha (24).

Para realizar una especificación completa de una brida necesitamos conocer lo siguiente (véase figura 9):

- El tipo de brida que se utilizará.

- El libraje de la brida (clase de presión que soportan las bridas, las cuales van desde la clase 150 lb hasta clase 2500 lb) .
- Diametro nominal.

*Fig. 9 Uniones de tubería por medio de bridas.*



Fuente: 26

En la figura 9, hace una representación de la función que tiene una brida, la cual es la de unir tubos.

#### 3.1.1.1 Tipos de Bridas

- **Bridas con cuello para soldar (Welding Neck):** Este tipo de bridas cuentan con un cuello cónico soldable a tope con el tubo correspondiente. El diámetro interior del tubo es igual que el de la brida, esta característica proporciona un conducto de sección prácticamente constante sin posibilidades de producir turbulencias en los líquidos o gases por el cual circulan. El cuello largo y la suave transición del espesor del mismo otorgan a este tipo de bridas características de fortaleza aptas en sectores de tubería, sometidos a esfuerzos de flexión, producto de las expansiones en línea (véase figura 10) (26).

**Fig. 10** Brida de cuello soldable.

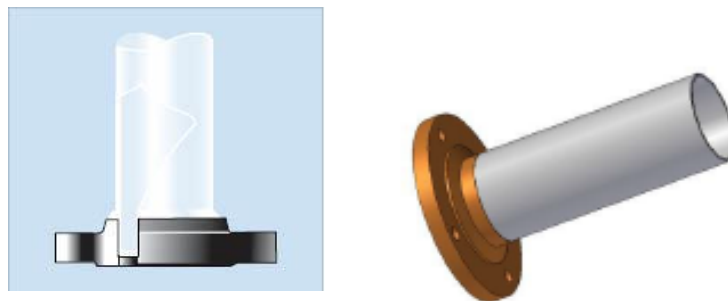


Fuente: 26

En la figura 10, muestra un tipo de brida que por su forma cuando esta se coloca evita la turbulencia en líquidos o gases.

- **Bridas Deslizante (Slip-On):** El tubo penetra en el cubo de la misma, sin llegar al plano de la cara de contacto, al que se une por medio de cordones de soldadura interna y externamente. Puede considerarse de montaje más simple que la brida con cuello, debido a la menor precisión de longitud del tubo y a una mayor facilidad de alineación. Sus condiciones mecánicas a la resistencia y fatiga son en general buenas, pero algo inferiores a las bridas con cuello, cuya sustitución por la brida deslizante. (véase figura 11) (26)

**Fig. 11** Brida deslizante.

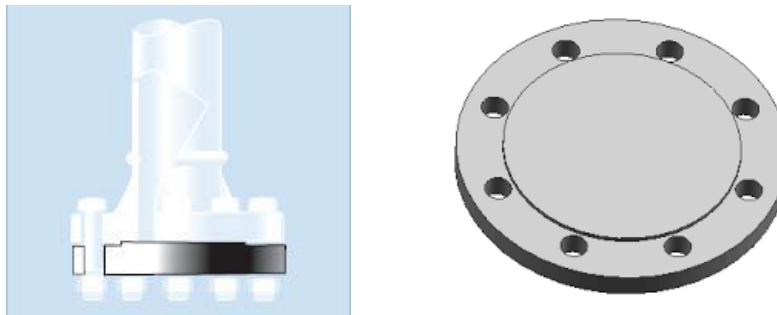


Fuente: 26

En la figura 11 muestra un tipo de brida que por su diseño facilita la alineación de la tubería al momento de realizar la unión.

- **Bridas Ciegas (Blind):** Están destinadas a cerrar extremos de tubería, válvulas o aberturas de recipientes sometidos a presiones de trabajo. Desde el punto de vista técnico, este tipo de bridas es el que soporta condiciones de trabajo más severas (particularmente las de mayores dimensiones), ya que al esfuerzo provocado por la tracción de los tornillos se la adiciona el producido por la existente en la tubería. En los terminales, donde la temperatura sea un factor de trabajo o actúen esfuerzos variantes o cíclicos es aconsejable efectuar los cierres mediante el acople de bridas con cuello y ciegas (véase figura 12) (26).

*Fig. 12. Brida Ciega.*



Fuente: 26

El tipo de brida de la figura 12 tiene la función de soportar condiciones severas.

- **Bridas con asiento para soldar (Socket Welding):** Su mayor rango de aplicación radica en tuberías de dimensiones pequeñas que conduzcan fluidos a altas presiones. En estas bridas el tubo penetra dentro del cubo hasta hacer contacto con el asiento –que posee igual diámetro interior que el tubo- quedando así un conducto suave sin cavidades. La fijación de la brida al tubo se realiza practicando un cordón de soldadura alrededor del cubo (véase figura 13) (26).

**Fig. 13.** Bridas con asiento para soldar.



Fuente: 26

La función de la brida de la figura 13, tiene la función de unir tuberías pequeñas que conduzcan fluidos a altas presiones.

**Bridas Roscadas (Threaded):** si bien presentan la característica de no llevar soldadura –lo cual permite un fácil y rápido montaje- deben ser destinadas a aplicaciones especiales (por ejemplo, en tuberías donde existan presiones y temperatura ambiente). No es conveniente utilizarlas en conductos donde se produzcan considerables variaciones de temperatura, ya que por efectos de la dilatación de la tubería, pueden crearse pérdidas a través del roscado al cabo de un período de trabajo corto (véase figura 14) (26).

**Fig. 14.** Bridas Roscadas.



Fuente: 26

La Brida de la figura 14 facilita un el montaje gracias a su rosca y solo se utiliza para bajas presiones.



### 3.3.2 Codos

Los codos son accesorios de tubería que sirven para desviar fluidos (27). Se fabrican de 90° y 45°. La fabricación de los codos de 90° se maneja de radio largo y de radio corto. Los codos de 45° son siempre de radio largo, debido a que es el mínimo para que el material no genere esfuerzos de compresión y pueda resistir.

En los codos de radio largo de curvatura del codo es igual a 1.5 veces el diámetro nominal y en el radio corto el radio de curvatura es igual al diámetro nominal. Para hacer especificación completa de un codo necesitaremos la siguiente información (véase figura 15):

- Si es de 90° o de 45°.
- Si es de radio corto o largo.
- Diámetro nominal.
- Número de cedula.

También existen los codos reductores y los codos en U (24).

**Fig. 15** Codo reducción 90° (3/4" x 1/2").



Fuente: 24

En la figura 15 muestra un codo de 90° el cual tiene la función de desviar fluidos.

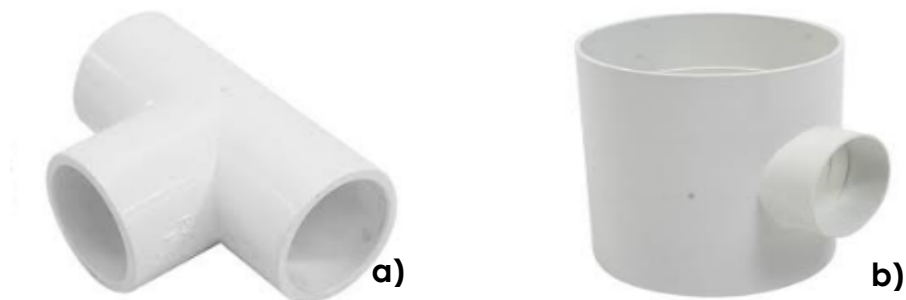
### 3.3.3 Accesorio Tipo “T”

Es un accesorio diseñado para unir tubería perpendicularmente a un colector, ambos pueden ser del mismo tamaño (“T” iguales) o bien el ramal de menor diámetro que el colector (“T” reductoras o de reducción) (24).

Este accesorio es utilizado para desviar a 90° una parte del flujo o caudal para alimentar otra tubería cuando se requiera. Para realizar una especificación completa de una “T” necesitamos la siguiente información (véase figura 16):

- Diámetro nominal de cada uno de sus extremos.
- Numero de cedula de cada uno de los extremos.

**Fig. 16.** Representación gráfica de a) “T” recta y b) “T” reductora.



Fuente: 24

El accesorio de tubería de la figura 16 sirve para unir tubería perpendicularmente.

### 3.3.4 Normas para el Diseño de Tuberías

Las normas más utilizadas dentro del diseño de tuberías, se han elaborado en Estados Unidos. Estas normas, pertenecen a las principales asociaciones de ingeniería tales como:

**ANSI:** (American Standard Institute), es la entidad estadounidense encargada de regular las normas y estándares en américa y de ella dependen las normas y códigos de ASME.

**ASME:** (American Society of Mechanical Engineers), es la asociación de ingenieros mecánicos que regula los estándares y códigos de ingeniería que apliquen para América en cualquier rama del diseño mecánico, ya sea para fabricación y/o construcción.

**ASTM:** (American Standards of Testing Materials): institución que regula los códigos normas y estándares para las pruebas a realizar en los materiales en América. Una de sus principales aportaciones ha sido la estandarización de aceros.

Las normas ANSI y ASME actualmente son las mismas, no existe diferencia alguna entre ellas, al menos por lo que concierne al diseño de tuberías; diferentes autores utilizan las siglas de una o de otra, sin embargo se rigen por el mismo criterio, es decir, la norma para el diseño de bridas se da conforme a ANSI B16.5, que será la misma norma que por ASME B16.5.

**NRF:** Son normas de referencia, elaboradas por entidades de la administración pública para aplicarlas a los bienes o servicios que adquieran, arrienden o contraten, cuando las normas mexicanas o internacionales no cubran los requerimientos de las mismas o sus especificaciones resulten obsoletas o inaplicables.

**API:** American Petroleum Institute, es la única asociación que representa a todos los aspectos de la industria del petróleo y gas natural de los Estados Unidos.

**NRF-032 PEMEX 2012:** La norma NRF-032 (emitida por PEMEX) del sistema de tubería en plantas industriales – diseño y especificaciones– hace referencia a lo siguiente: Bases de diseño (características específicas de los equipos y materiales requeridos del proyecto), Componentes de tubería (elementos mecánicos para unir o ensamblar sistemas de tubería para conducir fluidos a presión), Diseño de tubería (arreglos geométricos de tubería en campo, los cuales se desarrollan en función de los planos de urbanización y localización de equipos y estaciones de servicio de la instalación en un proyecto), Hojas de datos de proceso (hojas donde se indica la información de equipos), específicamente es de nuestro interés para llevar a cabo este trabajo ya que bajo esta norma se realizará todo el arreglo de tubería (28).

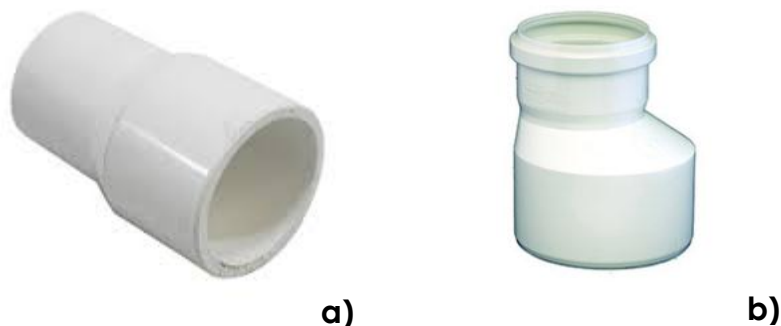
### 3.3.5 Reducciones

Son accesorios que tienen forma de cono, cuya función es disminuir o ampliar el volumen del flujo a través de las tuberías (29).

Las reducciones las podemos encontrar de dos tipos: las reducciones excéntricas y concéntricas (véase figura 17). Para definir una reducción se necesita saber:

- Diámetro nominal.
- Cedula.

**Fig. 17.** Reducciones a) concéntricas y b) excéntricas.



Fuente: 29

En la figura 17 muestra dos tipos de reducciones y como su nombre lo dice, sirve para reducir el flujo de un líquido en la tubería.

### 3.3.6 Coples y Medios Coples.

Son medios de unión soldables tipo caja o roscados. Por medio de estas conexiones, se logra la unión entre tramos prefabricados de tubería menor, es decir, las tuberías se fabrican en tramos de 20ft (6m) aproximadamente, por lo que si se especifica una longitud lineal de tubería de más de 6m como es el caso de rack de tubería, habremos de usar coples a cada 6m para unir los tramos de tubería (véase figura 18) (24).

Para realizar una especificación completa de un cople necesitamos:

- Diámetro de cople.
- Tipo de cople.
- Cedula.

**Fig. 18.** Coples roscados de 1”.



Fuente: 29

### 3.3.7 Válvulas

Accesorio mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de un líquido o gas mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial el orificio o ducto (30).

#### 3.3.7.1 Factores para la Selección de una Válvula.

La selección de las válvulas incluye diversos factores y es preferible tener como referencia un sistema que facilite la selección. Se debe tomar en cuenta como mínimo las siguientes características, el tipo de válvula y su función (véase la *tabla 2*) (31):

**Tabla 2.** Selección de válvulas de acuerdo al tipo y función de la válvula (31)

Tipo de Válvula	Función de Válvula
Compuerta, Bol, Macho, Mariposa.	De cierre o bloqueo
Globo, Aguja, Ángulo y Mariposa.	De Estrangulación
Columpio, Columpio inclinado, Doble disco, entre otras.	De Retención

Fuente: (19)

### 3.3.7.2 Principales Tipos de Válvulas Según su Función.

- **Válvulas de cierre o bloqueo:** Presentan un paso directo del flujo, solo abren o cierran para liberar o cortar el paso del fluido (31).
- **Válvula de compuerta.** Posee una compuerta o cuchilla accionada por un vástago para abrir, cerrar o regular el flujo del líquido o gas que pasa por el orificio de paso que se encuentra en el cuerpo de la válvula (véase la figura 19) (32).

**Fig. 19.** Válvula de compuerta.



Fuente: 32

En la figura 19 muestra una válvula de compuerta la cual solo abren o cierran el paso del flujo.

- **Válvula de mariposa.** Esta posee una lámina movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más conductos (véase figura 20) (33).

**Fig. 20.** Válvula de mariposa (33)



Fuente: 33

- **Válvula de bola.** Consta de una esfera taladrada de lado a lado que abre, cierra u obstruye en forma parcial el flujo, pueden tener dos o tres vías (véase figura 21) (34).

**Fig. 21.** Válvula de Bola



Fuente: 34

- **Válvula de estrangulación.** Tienen un cambio en la dirección del flujo, pueden estar en posiciones intermedias llamadas como abierta a la mitad,  $\frac{3}{4}$  abierta, esto genera mayor caída de presión que las válvulas de cierre o bloqueo (31).
  - **Válvula de globo.** Se caracteriza por tener un tapón obturador en forma de cono sujeto y accionado por un vástago, que para abrir cerrar o regular el flujo del líquido o gas que pasa por el orificio de paso que se encuentra en el cuerpo de la válvula (35).

**Fig. 22** Válvula de globo.



Fuente: 35

- **Válvula de aguja.** Esta válvula tiene un vástago cónico que abre, cierra u obstruye en forma parcial sus conductos (véase figura 23) (36).

**Fig. 23.** Válvula de Aguja.



Fuente: 36

### 3.3.8 Reducción Bushing

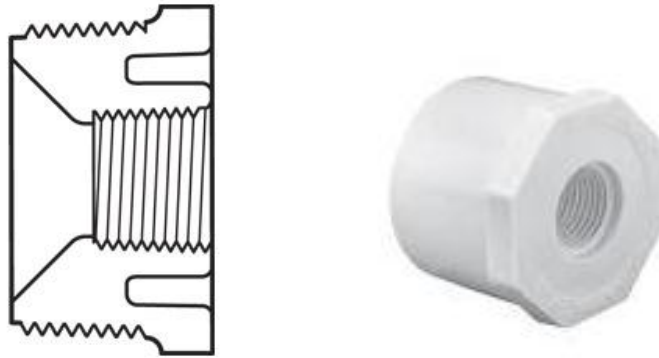
Un bushing, es un revestimiento cilíndrico diseñado para reducir la fricción dentro de una tubería, se usan para reducir diámetros cuando no hay mucho espacio longitudinal, se fabrican con preparaciones roscadas y para soldadura de caja (en casos especiales se roscan o soldán a tope) (24).



Para realizar una especificación completa de una reducción bushing, necesitamos la siguiente información (véase figura 24):

- Roscado o de caja.
- Cedula.
- Diametro mayor y el deredución.

*Fig. 24 Reducción bushing de ½" x ¼".*



Fuente: 24

### 3.3.9 Juntas de Plástico (Empaques)

Accesorio utilizado para realizar sellados en juntas mecanizadas, existentes en líneas de servicio o plantas de proceso. Empaques de goma: son las que se usan en bridas macho y hembras que estén en servicio con amoniaco o enfriamiento de cera (24).

Para realizar una especificación completa de una junta necesitamos lo siguiente:

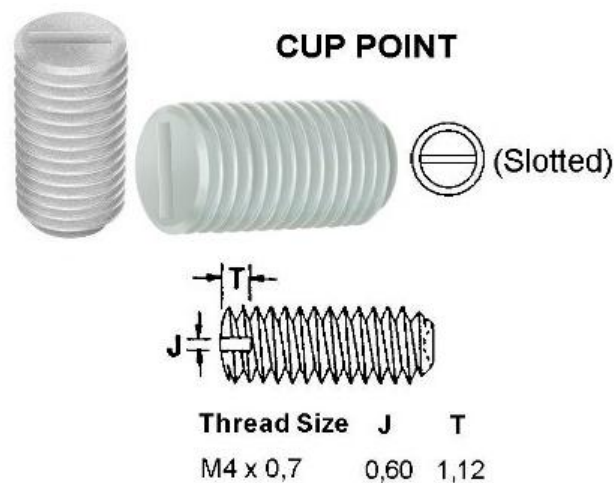
- Material de la junta.
- Para que tipo de brida será utilizado.
- Libraje de la brida.

### 3.3.10 Espárragos

Son tornillos sin cabeza los cuales van roscados en sus dos extremos con diferente longitud roscada, entre los cuales, hay una porción de vástago sin roscar. El extremo roscado corto permanece atornillado en la pieza que se considera fija, mientras que en el otro extremo se atornilla la tuerca que proporciona la unión (24).

Se emplean principalmente para asegurar piezas acopladas que no deban desplazarse ni girar, no habiendo espacio suficiente para disponer la cabeza del tornillo (véase figura 25) (24).

**Fig. 25.** Esparrago Allen nylon M4, con extremo biselado hueco.



Fuente: 24

Para realizar una especificación completa de los espárragos necesitamos lo siguiente:

- Longitud del esparrago.
- Para qué tipo de brida será utilizado.

### 3.4 Microalga

Son llamadas **microalgas** a una gran cantidad de especies que constituyen el fitoplancton (organismos vegetales que forman parte del plancton). Estas especies aportan un alto contenido nutricional para los peces, crustáceos sin embargo, se han convertido de gran utilidad para preservar el medio ambiente, esto se debe a la capacidad que tienen para retirar el CO<sub>2</sub> de la atmosfera, creando un arma para luchar contra el cambio climático (37; 38).

Como cualquier organismo fotosintético, las microalgas retiran el CO<sub>2</sub> de la atmosfera produciendo oxígeno, lo que tiene grandes aplicaciones en la investigación para la producción del medioambiente y la búsqueda de nuevas formas de energía como el biodiesel (38).

1. Por un lado, los lípidos contenidos en las microalgas pueden utilizarse para la producción de biodiesel. En determinadas condiciones de cultivo, se puede favorecer la acumulación de lípidos para maximizar la cantidad de biodiesel generado (39).
2. Por otro lado, la energía almacenada en los enlaces moleculares que componen la estructura de las microalgas, se libera cuando éstos se rompen: mediante pirolisis: se obtiene biofuel (combustible renovable y biodegradable) (39).

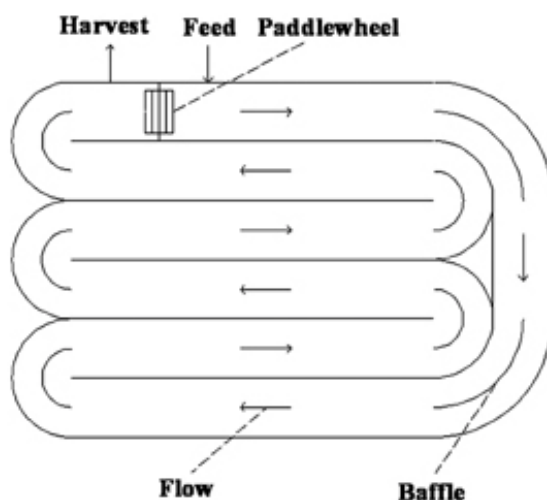
Las microalgas constituyen el más eficaz y simple organismo generador de energía a partir del sol y del agua, son unos nutrientes básicos. Generan el oxígeno necesario para respirar y descomponen el CO<sub>2</sub> que nos intoxica. La fotosíntesis de la que son únicos organismos responsables. Las microalgas crecen utilizando la luz del sol. La energía procedente del sol es utilizada por las microalgas para impulsar los procesos celulares necesarios para asimilar nutrientes sencillos. Los nutrientes que utilizan las microalgas son el CO<sub>2</sub> del aire nitratos y sulfatos disueltos en el agua y pequeñas cantidades de algunos iones metálicos, la producción de cultivos en sistemas de gran volumen permite obtener biomasa de microalgas, cosechando la biomasa producida gracias a la aplicación de diferentes métodos que se mostraran a continuación.

### 3.4.1 Sistemas de Cultivo

#### 3.4.1.1 Cultivo abierto

Este cultivo representa los procesos clásicos utilizados para la producción de biomasa de algas, a estos procesos se incluyen estanques naturales o artificiales, canales de conducción y los llamados sistemas de superficies inclinadas impulsados por ruedas de paletas (véase figura 26) (40).

**Fig. 26** Sistema de cultivo al aire libre.



Fuente: 40

En la figura 40 muestra la alimentación (feed), la rueda de paletas (paddlewheel) realiza la circulación, deflector (baffle) tiene la función de cambiar o desviar la dirección de la corriente y por ultimo esta cosecha (harvest). En algunos países como Israel, Estados Unidos, China manejan los estanques de cultivo en forma de pista como se muestra en la *fig. 26* el cual está compuesto de un canal de recirculación de bucle cerrado (40).

Este tipo de cultivo ofrece 2 ventajas:

1. Mejor flujo turbulento. Funciona para realizar un mezclado más eficiente, con el fin de realizar una dispersión uniforme de las microalgas, eliminando así los gradientes de concentración de luz, nutrientes (entre ellos el  $\text{CO}_2$ ) y la temperatura.
2. La profundidad de los canales es de 35 cm, la cual favorecen la estabilización del crecimiento y la productividad de las microalgas.

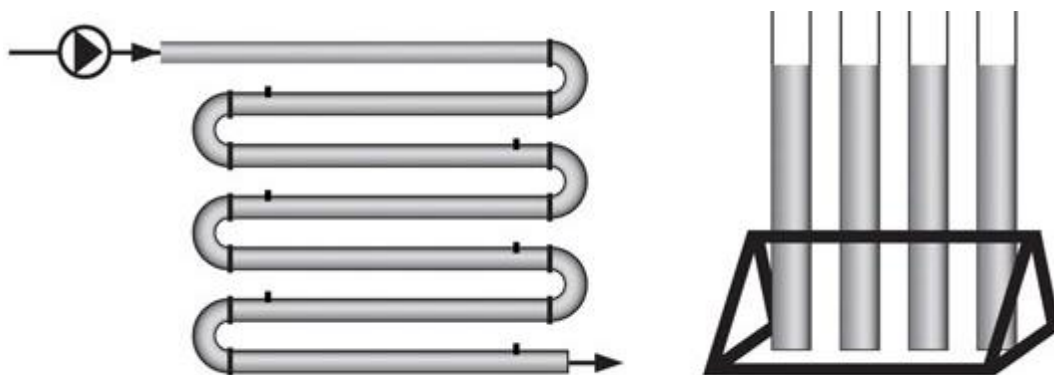
Estas dos ventajas reducen la inercia térmica del cultivo que permite un aumento más rápido de su temperatura durante la mañana (40).

#### 3.4.1.2 Cultivo Cerrado

Se denominan así ya que mantienen el cultivo totalmente aislado del medio ambiente. Estos sistemas cuentan con una mayor productividad comparada con los sistemas abiertos consiguiendo una mayor eficiencia en la utilización y fijación del CO<sub>2</sub> a través la agitación, aireación, el control del pH y el intercambio de calor. (41).

Este sistema permite adecuar las condiciones ambientales óptimas (como lo es, el aporte de nutrientes, la adecuación de temperatura, el control del pH y la disponibilidad de luz) para el crecimiento de microalgas concretas que se van a cultivar (42), a la vez que dificultan la invasión por organismos contaminantes, posibilitando así el mantenimiento de cultivo de la microalga, para ello se diseñaron los fotobiorreactores (véase figura 27) (41).

**Fig. 27** Sistema de cultivo cerrado, fotobiorreactores tubulares.



Fuente: 41

La productividad alcanzada con el tipo de cultivo de la imagen 41 es mayor, por lo que se requiere mucho menos espacio que los sistemas abiertos y por otro lado disminuyen los costos de recolección de la biomasa (cantidad de producto obtenido por la fotosíntesis) generada (43).

Para conocer el funcionamiento del fotobiorreactor, es necesario conocer qué tipo de cultivo se realizara en el fotobiorreactor, así como también conocer la función que tiene la microalga en un sistema de cultivo, y el proceso por el que pasan las algas.

### 3.5 Fotobiorreactor

Un fotobiorreactor, es un sistema para la generación de productos biológicos que utilizan la luz como fuente de energía. Se utilizan para la producción de biomasa controlada como el cultivo de cianobacterias, musgos, o algas (44).

Para *Hernández et al*, el concepto de un fotobiorreactor se encuentra en equipos que permiten cultivos libres de contaminación y con la capacidad de proveer las condiciones básicas ideales para microorganismos como microalgas (45). También se define como contenedores o recipientes transparentes, los cuales tienen como ventaja operativa la capacidad de monitoreo de las condiciones de los cultivos, y las variables que intervienen en el proceso de producción de cultivos como lo son: la temperatura, el pH, turbulencia y mezclado; transferencia gaseosa, los nutrientes y la luz. (46).

#### 3.5.1 Aspectos a considerar en el Diseño de un Fotobiorreactor Luz

La intensidad de la luz es uno de los factores más importantes para el crecimiento fotosintético de las microalgas. Los sistemas de cultivos de microalgas pueden ser iluminados a través de luz solar, artificiales o ambas.

Distribución de la luz. En cultivos de microalgas, la disponibilidad de luz determina la velocidad específica en la que se realiza la fotosíntesis, determinando el crecimiento de la alga (47).

- **Mezclado.** El mezclado en el fotobiorreactor es conocido como un factor de mejoramiento de la producción de biomasa así como el aseguramiento de la distribución de la intensidad de luz para que todas las microalgas tengan accesos a ella. Un correcto mezclado favorece el intercambio gaseoso, evita la sedimentación celular, la formación de gradientes de las condiciones ambientales y de la concentración de nutrientes (47).

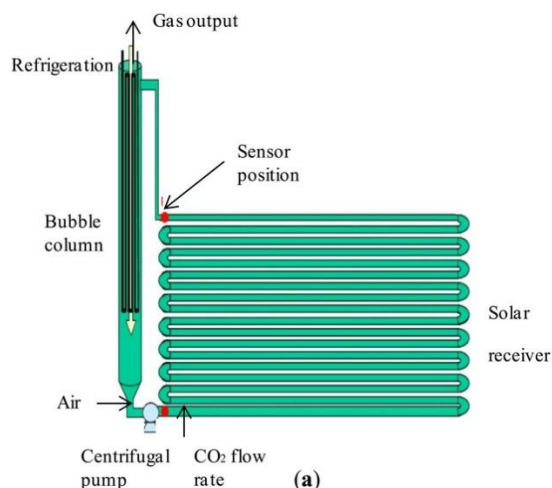
- **Temperatura.** La temperatura, es una de las variables que debe tomarse en cuenta, ya que ésta influye en los coeficientes de velocidad de reacciones biosintéticas (42). La relación que existe entre temperatura y velocidad de crecimientos aumenta exponencialmente hasta que alcanza la temperatura óptima. En un sistema cerrado, la temperatura puede ser controlada con facilidad por diferentes mecanismos, como rociadores de agua, termostatzado, entre otros.

### 3.5.2 Tipos de Fotobiorreactor

En el artículo de *Ramírez (40)*, menciona que para que el cultivo de cianobacterias sea eficiente es necesario diseñar fotobiorreactores que transmitan la mayor cantidad posible de luz. (1) Se han diseñado diferentes fotobiorreactores con propiedades específicas como se muestra a continuación:

- **Tubulares verticales.** Se trata de una columna cilíndrica fabricada en material transparente, en forma vertical ya que permite una buena penetración de luz (48). Cuenta con un rociador en la parte inferior, el cual esparce pequeñas burbujas para una buena mezcla (suministro de CO<sub>2</sub> y remoción de oxígeno) (véase figura 28).

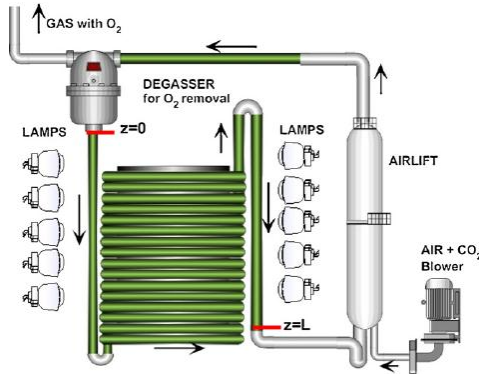
**Fig. 28.** Ejemplo de fotobiorreactor tubular vertical (48).



Fuente: 48

- **Tubulares helicoidales.** Compuesto por un set de tubos de polietileno enrollados en un armazón circular abierto, acoplado a una torre de intercambio de gas y aun intercambiador de calor (1). Una bomba centrífuga hace llegar el medio de cultivo hasta la torre de intercambio de gas. Puede presentar varios diseños (véase figura 29).

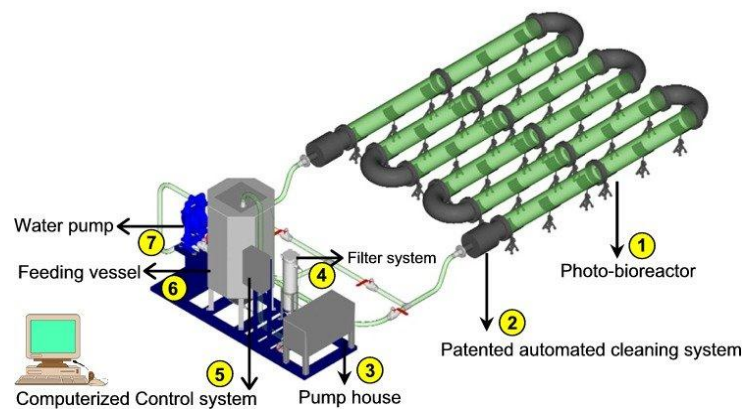
**Fig. 29.** Ejemplo de fotobiorreactor tubular helicoidal.



Fuente: 1

- **Tubulares horizontales.** Formado por haces de tubos horizontales conectado como un sistema de tubería. El fluido algal es capaz de circular por esta línea y su circulación es constante mediante una bomba localizada al final de sistema (véase figura 30)(48).

**Fig. 30.** Ejemplo de fotobiorreactor horizontal.



Fuente: 48



### 3.5.3 Especificación de los Materiales de Tubería

De acuerdo con *López 2010*, en su trabajo hace mención que el material con que debe de construirse un fotobiorreactor tiene que cumplir con: alta transparencia, alta fuerza mecánica, carencia de toxicidad, resistencia a desgaste (durabilidad), y de bajo costo sin usar productos de mala calidad (49).

El fabricar un fotobiorreactor con cristal podría ser un material excelente ya que tiene alta transparencia y estabilidad química, sin embargo, el llevar a cabo el montaje de este son muy elevados, no sin antes mencionar de la fragilidad con la que cuenta este material.

El polipropileno es un polímero termoplástico el cual tiene una alta resistencia química, el montaje es muy económico, el inconveniente de este material está parcialmente cristalino (opaco), lo cual interferiría con la transferencia de luz para que se lleve a cabo la fotosíntesis.

El Policloruro de vinilo, el costo del montaje así como el del polipropileno es económico, es de alta transparencia, excelente calidad en la biomasa resistente al desgaste y a la abrasión. Con base a lo anterior se optó por elegir el Policloruro de vinilo, ya que el costo del montaje es económico.

### 3.5.4 Tubería de Policloruro de Vinilo (PVC)

El Policloruro de vinilo, es un polímero termoplástico totalmente sintético, surge a partir de la polimerización de un monómero de cloroetileno. Resistente a los ácidos, aunque frágil y sensible a las temperaturas de 0°C e inferiores a -15°C (23).

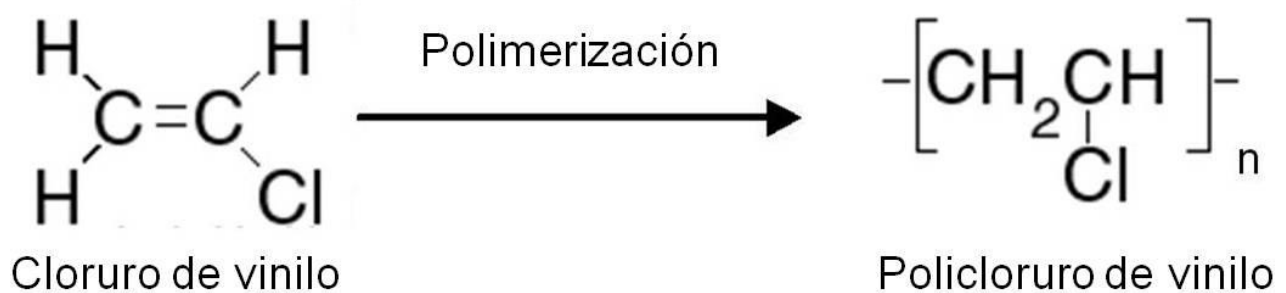
Este material tiene dos características importantes: al ser un material termoplástico, se vuelve líquido homogéneo cuando se somete a altas temperaturas y cuando se enfría es un material duro en su estado de transición vítrea. Puede unirse mediante adhesivo de alta resistencia, la unión logra una gran resistencia mecánica. Existen dos clases de tuberías de PVC plastificado y rígido (23). Una ventaja que este presenta es la de su manejabilidad y fácil puesta en obra, su desventaja es el envejecimiento que da lugar a fisuras longitudinales como consecuencia del tipo de estructura molecular (23). Las principales características del PVC, se describen en seguida:

- Aislamiento térmico y eléctrico.
- Estabilidad dimensional.
- Fuerza mecánica.
- Reciclable.
- Resistencia a los agentes atmosféricos, biológicos y químicos.
- Fácil instalación.
- No afecta en la calidad del agua.
- Facilidad de mantenimiento.
- Resistente a la corrosión interna y externa.
- Resistente a los efectos de abrasión.
- Larga vida de servicio de más de 4 años.

#### 5.1.1.1 Composición química

Este polímero es obtenido de dos materias primas naturales como lo son el cloruro de sodio o sal común (ClNa) en un 57%, y petróleo o gas natural en un 43%, siendo por lo tanto menos dependiente de recursos no renovables que otros plásticos (50).

**Fig. 31.** Composición química del Policloruro de Vinilo  $[(C_2H_3Cl)_n]$ . Producto de la polimerización (proceso químico por el que compuestos de bajo peso molecular se agrupan químicamente) del monómero de cloruro de vinilo.



Fuente: 50

El PVC se presenta en su forma original como un polvo blanco, amorfo y opaco.

- Es inodoro, insípido e inodoro, además de ser resistente a la mayoría de los agentes químicos.
- Es ligero y no inflamable por lo que es clasificado como material no propagador de la llama.
- No se degrada, ni se disuelve en agua y además es totalmente reciclable.

Se eligió este material ya que para la fotosíntesis se necesita de luz, y este material permitirá que la luz penetre lo suficiente (la intensidad de penetración de luz, depende del género de las microalgas), para que se lleve a cabo la fotosíntesis, así mismo otra razón por la cual se eligió, es por ser un material resistente.

Para la especificación de materiales de tubería se basó en la norma *NRF-032 PEMEX 2012* (28), ya que en dicha norma establece los requisitos técnicos y documentales que se debe de cumplir en la ingeniería y especificaciones de materiales de tuberías, de las plantas industriales.

Así mismo establece las especificaciones técnicas mínimas aplicables de la ingeniería de diseño, cómo será el caso de la planta piloto para la producción de biodiesel, algunas en las que se basa este proyecto son las siguientes:

### **Componentes de tubería.**

- Conexiones roscadas: deben ser tipo NPT de acuerdo con ASME B1.20.1:1983 y ASME B16.11:2009 o equivalentes.
- Bridas: Las bridas deben ser tipo cuello soldable, caja para soldar, cuello largo, traslape, deslizable o ciegas como se indica en la correspondiente Especificación de Materiales para Tubería (EMT), con los tipos de cara realzada (RF, “Raised Face”) o junta de anillo (“RJ, “Ring Joint”) también conocidas como (RTJ) para bridas metálicas, y de cara plana (FF, “Flat Face) para bridas no metálicas o de aleación cobre-níquel.
- Empaques para bridas
  - Los empaques se deben especificar para obtener bridas herméticas.
  - Los empaques deben cumplir con la NRF-156-PEMEX-2008 y ASME B16.20:2007 o equivalente, del tipo de material que se especifique en la EMT.

- Espárragos y birlos: Los espárragos, tornillos, birlos y tuercas de la tubería deben cumplir con los requerimientos de la NRF-027-PEMEX-2009. Las uniones bridadas deben ser con espárragos o birlos y tuercas, no se deben especificar tornillos para uniones bridadas.

En base a las especificaciones antes mencionadas, se puede iniciar el desarrollo de las bases técnicas para el diseño del fotobiorreactor FBR-02.

En este capítulo se dió una breve explicación de lo que es la microalga, y muestra cómo se puede llevar a cabo su cultivo a través de dos tipos de sistemas; en el cual, se contempla el cultivo cerrado para este trabajo de investigación; el tema central del segundo punto, nos da las pautas para conocer los aspectos que deben de considerarse a la hora de construir un fotobiorreactor, así como también los tipos de fotobiorreactores que existen y el material del que tienen que fabricarse; con el fin de que el fotobiorreactor pueda absorber la suficiente cantidad de luz para la producción de la microalga. En este capítulo nos da las pautas para la selección de un fotobiorreactor.

## **3.6 Selección de accesorios para el fotobiorreactor FBR-02.**

### **3.6.1 Funciones de los planos.**

Antes de comenzar con cualquier proyecto de construcción es necesario contar con un plano donde se muestre la ubicación, el diseño y las dimensiones con precisión, así como la relación de todos los elementos del proyecto (51).

Es por ello que antes de comenzar a realizar el modelado del fotobiorreactor, es necesario tener un plano civil de la planta en general para tener el conocimiento de cuál será la localización el fotobiorreactor, para tener medidas exactas de las entradas y salidas del mismo.

Una vez teniendo los DTI y plano civil se sabrá de manera exacta y precisa todos los elementos del fotobiorreactor FBR-02, así como dimensiones, flujo y características esenciales del mismo.

También es necesario contemplar el índice de líneas, para saber que material es el que se necesita para el fotobiorreactor, y comenzar el modelado de cada una de las piezas. Finalmente con los planos se realizaran los cambios pertinentes, para el funcionamiento y aprovechamiento del fotobiorreactor.

### **3.6.2 Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI)**

Para saber que accesorios son los que se pueden emplear en el fotobiorreactor, es necesario conocer los diagramas de tubería e instrumentación para saber el flujo que tendrá el fotobiorreactor, así como la dirección de la posición en la que se va encontrar este, por tal motivo a continuación se da una breve explicación de lo que es un DTI y los diagramas que se utilizaron para posteriormente saber que materiales se utilizaran.

*Pinzón (44)*, describe los DTI como la base de todo proyecto industrial que muestran el flujo del proceso en las tuberías, así como, los equipos instalados y el instrumental (52).

Dentro de estos diagramas se muestra como mínimo la siguiente información:

- Equipo de planta.
- Las tuberías que interconectan los equipos.
- La instrumentación que controla la planta.

Los diagramas a medida que van pasando por las distintas etapas de un proyecto, se van complementando con la información cada vez más detallada, que permiten finalmente reflejar el funcionamiento y las características principales de la planta (52).

La diferencia que existe entre un diagrama y un plano es:

- En un diagrama de tubería e instrumentación, muestra la interconexión de equipos e instrumentos representados mediante símbolos con el fin de controlar un proceso; así mismo da la pauta para realizar el plano de tubería ya que este solo muestra el flujo del proceso.
- El plano de tubería, es una representación bidimensional a escala de equipos o instrumentos mostrando sus distintas vistas, a su vez contiene detalles de los mismos con el fin de realizar localización y montaje de cada accesorio.

En los siguientes documentos se muestra lo siguiente:

- Diagramas de tubería e instrumentación, mostrados en los anexos 1,2 y 3.
- Plano civil, visualizado en el anexo 4.

El plano civil y los DTI's son proporcionados por la disciplina de procesos de CIATEQ. De los planos, se derivan los materiales necesarios para la construcción del fotobiorreactor y al mismo tiempo se procede a realizar el diseño del mismo, basándose en la siguiente especificación (28):



### **3.6.3 Tubería no metálica**

- La tubería no metálica se debe especificar solo cuando PEMEX lo solicite en la ES (Especificación de Servicio) con la correspondiente EMT (Especificación de Materiales para la Tubería).

- El diseño de la tubería no metálica debe cumplir con la norma ASME B31.3:2010, debe aplicar como mínimo lo siguiente:
  - a) El diámetro interior debe tener un área de sección transversal tal, que cumpla con la velocidad y gasto similar al que se necesita para la tubería metálica y utilizar las conexiones de fábrica que se requieren para empatar con la tubería metálica donde así se especifique. La tubería no metálica por ser de mayor espesor que la tubería de acero para las mismas condiciones de operación, debe ser de mayor diámetro para cumplir con la misma velocidad y no incrementar las pérdidas de presión.
  - b) Tiempo de vida útil de la instalación y deterioro durante esta.
  - c) Condiciones ambientales extremas esperadas.
  - d) Resistencia a la tensión, cortante y módulo de elasticidad a la temperatura de diseño a largo plazo.
  - e) Coeficiente de expansión térmica.
  - f) Análisis de Flexibilidad que concluya el diseño de curvas de expansión y los anclajes necesarios en la zona de transición con la unión con la tubería metálica.
  - g) La junta mecánica de transición entre tubería metálica y no metálica se debe diseñar con pieza de fábrica. No se deben especificar componentes de fierro fundido.
  - h) Las conexiones con bridas LJ, el material del “stub end” debe ser de la misma especificación que del tubo no metálico.
  - i) Calcular la resistencia del tubo a sobrepresiones (golpe de ariete, presiones recurrentes y súbitas ocasionales, condiciones de riesgo mayor para red contra incendio, entre otros.) en el sistema de tuberías a largo plazo, que cumpla con el tiempo de vida útil de la instalación.

Teniendo como resultado la tabla 3. Índice de líneas.

**Tabla 3.** Índice de líneas. Tabla de material para la tubería del fotobiorreactor FRB-02

<div></div> <div>CIATEQ</div> <div>Centro de Tecnología Avanzada</div> <div>www.ciateq.mx</div>						ÍNDICE DE LÍNEAS										<div></div> <div>ASEPRO ECOLOGÍA</div>					
						DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA PILOTO INTEGRAL DE 230,000 L/AÑO DE BIODIESEL CON CULTIVO SUSTENTABLE ACCELERADO DE MICROALGAS. FASE I: PRODUCCIÓN DE BIOMASA.															
						Fondo		SENER-CONACYT				Proyecto CIATEQ			FEPM5035						
						Proyecto Fondo		233455				Documento			FEPM05035-IL-A-001						
Línea						Servicio				Fases del Fluido	Condiciones normales de operación		Condiciones de diseño		Condiciones de prueba		ρ Kg/m³	Diagrama de Referencia	Observ.		
Diám.	Clave	Núm.	Espec.	Aislamiento		Nombre del fluido	De	A	Presión Kg/cm²g		Temp. °C	Presión Kg/cm²g	Temp. °C	Presión Kg/cm²g	Temp. °C						
				Tipo	Espesor																
ETAPA DE CRECIMIENTO																					
12"	MA	FBR-02	CPVC	NA	NA	MICROALGA	ENTRADADA AL FBR-02	SUCCIÓN DE BD-02A	L	0.00	32.00	3.00	60.00	4.50	16-40	995	A-300 (1 DE 3)	NUEVA			
12"	MA	FBR-03	CPVC	NA	NA	MICROALGA	DECARGA DE BD-02A	SUCCIÓN DE BD-02B	L	0.00	32.00	3.00	60.00	4.50	16-41	996	A-300 (2 DE 3)	NUEVA			
12"	MA	FBR-04	CPVC	NA	NA	MICROALGA	DECARGA DE BD-02B	SUCCIÓN DE BD-02C	L	0.00	32.00	3.00	60.00	4.50	16-42	997	A-300 (3 DE 3)	NUEVA			

Fuente: CIATEQ Hidalgo

El índice de líneas de la tabla 3, muestra el diámetro la especificación la entrada y salida del fluido y en que dase estará el líquido, para tener conocimiento del resultado que se tendrá



### 3.6.4 Selección de Accesorios.

Para la selección de los accesorios, se contemplaron el material, la resistencia y el tamaño de cada accesorio, basándose también en los DTI's, considerando las conexiones representadas en el mismo como se muestra a continuación:

Para toda la tubería que será empleada en el fotobiorreactor es de material PVC transparente, como se mencionó con anterioridad, por tal motivo para todos los accesorios se utilizará el mismo material.

**6.1.2 Bridas.** Accesorio para unir tuberías con equipos (bombas, intercambiadores de calor, calderas, etc.) o accesorios (codos, válvulas, etc).

- a) Brida Van Stone 12". La función de esta brida en el fotobiorreactor, es el de unir la tubería, y proporciona una óptima distribución de la presión (véase figura 32).

**Fig. 32** Brida Van Stone (S) 12".



Fuente: (24)

- b) Brida ciega 12". Es utilizada para cerrar tuberías, sin embargo, en este caso a la brida ciega se le hará una perforación en el centro para realizarle la adaptación de un pasa tanques, los cuales serán de 2" y 3".

**Fig. 33** Brida Ciega 12" Ø.



Fuente: (24)

**6.1.3 Pasa tanque.** Facilita conexiones a los tanques cerrados como suplemento para la instalación de bombas o algún otro equipo como entrada o salida.

- Cople Hexagonal pasa tanque. En la brida ciega, se le realizó una perforación para adaptar un pasa tanque con la finalidad de darle entrada al fotobiorreactor a un tanque (TV-03) y darle salida al fotobiorreactor el cual conecta a una bomba de diafragma de PVC (BD-02C).

**Fig. 34.** Cople Hexagonal Pasa tanque 2" Ø y 3"Ø.



Fuente: (49)

**6.1.4 Codo de 90°.** Accesorio que se utiliza para cambiar la dirección del flujo.

En este caso el codo es utilizado para realizar los loops (curvas en “U”), con la finalidad de absorber esfuerzos, debido a que la tubería tiende a expandirse térmicamente a causa de los cambios cíclicos de temperatura, traducándose en dilatación y contracción vertical y horizontal, originando esfuerzos que pueden hacer colapsar la tubería.

**Fig. 35.** Codo de 12" Ø (S x S)



Fuente: (50)

**6.1.5 Cople:** Uniones utilizadas para conectar secciones.

Cople 12". En un principio, se había manejado utilizar accesorios en cruz, ya que debe de tener una entrada y una salida del mismo; pero debido a que no tienen reducciones de 12"Ø a 1/2"Ø y a que también el costo de estas sería más elevado, se optó por utilizar el cople de 12" haciéndole una modificación, dicha modificación contempla dos perforaciones, la cual será por la mitad longitudinalmente de 2"Ø otra a 180° de 1/2"Ø para la adaptación de los otros coples, como se muestra a continuación.

**Fig. 36** Cople de 12" Ø (S x S).



Fuente: (24)

- a) Cople de  $\frac{1}{2}$ " Ø. Se contempló este cople debido a las modificaciones que se le hicieron al cople de 12" Ø.

**Fig. 37.** Cople de  $\frac{1}{2}$ " Ø (S x S)



Fuente: (49)

- b) Cople 2" Ø. Esta pieza se inserta en el cople de 12"Ø, y a este también se le aplicaron modificaciones, en su parte inferior se le realizó un corte para que cuando se le realice la unión de tubería con el cople de 12" Ø se adapten de forma funcional.

**Fig. 38.** Cople de 2" Ø (FPT x FPT).



Fuente: (49)

**6.1.6 Reducción Bushing.** Son coples que nos permiten unir una pieza con otra de menor diámetro, esto con el fin de evitar que dicha unión presente fugas.

Se ocupará una reducción tipo bushing para unir un cople de 2" Ø con un regulador de flujo de  $\frac{1}{2}$  "Ø.

**Fig. 39** Reducción Bushing (MPT x FPT) de 2" Ø x ½" Ø



Fuente: (23)

**6.1.7 Placas de orificio.** Son pequeñas láminas de acero inoxidable con la finalidad de que a través de sus orificios, el líquido o gas que lo atraviese sea por medio de una aspersion.

6.1.7.1 Láminas de Acero Inoxidable T316. Estas placas tienen la función de que la entrada de gas que llevará el fotobiorreactor lo haga a través de aspersion, dichas placas van entre el cople y la reducción bushing.

**Fig. 40** Lamina de Acero Inoxidable T316.



**6.1.8 Regulador de Flujo.** Es un tipo de dispositivo mecánico que pueden regular el paso del líquido. (53)

*Fig. 41 Regulador de flujo.*



Para el fotobiorreactor se utilizó un regulador de flujo en lugar de una válvula, ya que una válvula es más costosa que el regulador.

## CAPÍTULO III.

---

### DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 4.1 Software para modelado

Actualmente existen muchos software para modelar piezas en 3D, como lo son los sistemas asistidos por computadora:

CAD: Diseño Asistido por Computadora.

CAM: Fabricación Asistida por Ordenador

CAE: Ingeniería Asistida por computadora

##### 4.1.1 Sistema CAD.

*Computer-Aided Design* (CAD) es el uso de programas computacionales para crear representaciones gráficas de objetos físicos ya sea en segunda o tercera dimensión (54). Las principales aplicaciones para este software son: diseño mecánico, arquitectura, topografía, ingeniería, Piping, presentaciones realistas de productos, etc.

Los principales elementos con los que cuenta el sistema CAD son:


- **Modelado Geométrico:** se describe como forma matemática o analítica a un objeto físico. El diseñador construye una pieza a través del software emitiendo comandos que crean o perfeccionan líneas, superficies, cuerpos, dimensiones y textos que dan origen a una representación exacta y completa en sus dos o tres dimensiones. (55)
- **Análisis y Optimización del Diseño:** Cuando se tiene el modelado geométrico, se somete a un análisis ingenieril donde se pueden analizar las propiedades físicas del modelo (esfuerzos, deformaciones, deflexiones, vibraciones) (55).
- **Revisión y Evaluación del Diseño:** En esta etapa se comprueba si existe alguna interferencia entre los diversos componentes, para evitar problemas en el ensamble y uso de la pieza (55).

- **Documentación y dibujo (drafting):** Por último, en esta etapa se realizan planos de detalle y de trabajo (55).
- **Programas CAD.** Como se mencionó con anterioridad, actualmente existen muchos software para el diseño mecánico entre los más importantes tenemos los siguientes: Solid Works, AutoCAD, Workingmodel 2D y 3D, Inventor, Catia, Rhinocero.

#### 4.1.2 Elección del Software

Para profesionistas en Diseño industrial, cuyo enfoque se encuentre en el área del diseño y desarrollo de productos o la visualización 3D, se encuentran en el momento de optar por que software es el más factible utilizar en un proyecto; sabiendo que, en el mercado hay una gran variedad de alternativas y elección de uno por sobre otro, dependerá del entorno de la persona (el software utilizado en la empresa en la que se encuentren). A continuación se muestra una tabla con la comparación de 3 software que son más utilizados en el mercado y se representan las diferencias que hay en cada uno de estos.

**Tabla 4.** Comparación de diferente software, para realizar el modelado en 3D del fotobiorreactor.

	<b>SolidWorks</b> 	<b>Inventor</b> 	<b>Rhinoceros</b> 	<b>AutoCAD</b>  <b>AUTOCAD</b>
Industria	Aeroespacial, automoción, construcción, productos de consumo, arreglo de tubería y eléctrico.	Ingeniería, automoción, construcción	Aeroespacial, productos de consumo, enseres, automotriz.	Arquitectura, diseño industrial.
Tipos de archivo	ACIS, ACIS SAT, DWG, DXF, aros de metadatos, HPGL / PLT, IGES, IGS, JPEG, PARASOLID XT, PDF, EPRL, SAT, STEP, STL, STP, TIF/TIFF, VRML, WRL.	3DS, DWG, DWF, DWS, DWT, DXT, PLT, SAT.	3DM, DWG, DXF, DGN, PDF, TXT.	DFX, DWG,
Curva de aprendizaje	Corto	Largo	Largo	Largo
Funcionalidad	Modelado de conjuntos, simulación estimación de costos, la representación, la documentación	Modelado de conjuntos, la simulación, la documentación, la representación.	Modelado de conjuntos, simulación, uso de curvas NURBS.	Modelado se conjuntos, gestión de base de datos de entidades geométricas, utilización de comandos.

Fuente: (55)



De la tabla 4, para elaborar el modelado del fotobiorreactor FBR-02 se utilizara el software de diseño SolidWorks ya que es el más factible, en cuanto a la curva de aprendizaje.

SolidWorks es un programa de CAD desarrollado en la actualidad por Dessault Systemes. Este programa nos permitirá modelar los accesorios, conjuntos y extraer de ellos el plano necesario para su adecuado mantenimiento.

#### **4.1.3 SolidWorks 2015**

SolidWorks es un software mecánico en tercera dimensión (3D) que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft Windows. Las principales características que hacen de SolidWorks una herramienta versátil, es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico (56).

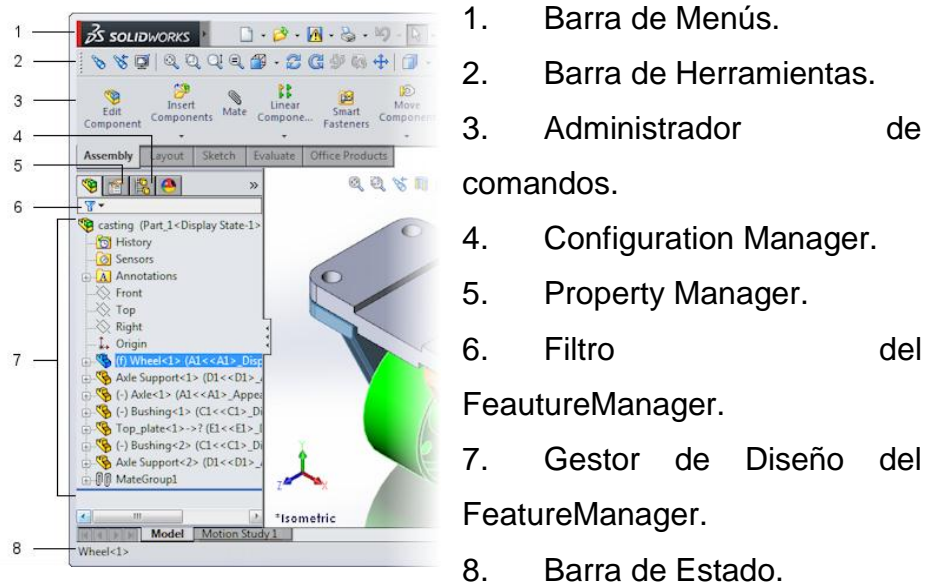
SolidWorks 2015 es la ante penúltima versión del software de CAD para el modelado mecánico, el cual incluye muchas funcionalidades útiles para diseñadores e ingenieros. Así la versión de este software permite:

- Diseñar en 3D centrándose en la innovación.
- Crear dibujos en 2D con gran precisión.
- Aceleración del proceso de diseño.
- Probar el producto en condiciones del mundo real antes de fabricarlo (57).

##### **4.1.3.1 Perspectiva general de la interfaz de usuario**

A continuación se muestran los elementos principales de la interfaz de usuario en SolidWorks.

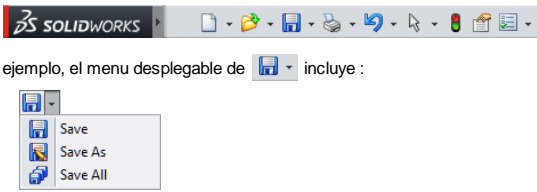


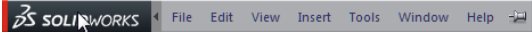
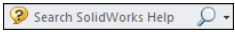
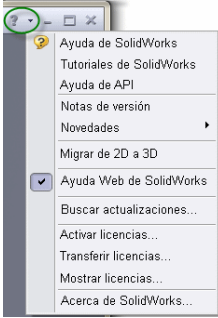
**Fig. 42. Interfaz de Usuario.**



Fuente: 58

1. **Barra de Menús.** Esta contiene un conjunto de los botones de herramientas utilizadas con mayor frecuencia en la barra de herramientas estándar (59), como se muestra a continuación:

**Fig. 43** Barra de menús en la base de conocimientos de SolidWorks 2015.

Operación	Descripción
Botones de herramientas utilizados con mayor frecuencia	<p>Al hacer clic en la flecha que se encuentra a un lado de cada botón, puede expandirlo para visualizar un menú desplegable con funciones adicionales</p>  <p>Por ejemplo, el menú desplegable de  incluye :</p> 
Menús de SolidWorks	 <p>Los menús se ven al mover el ratón sobre el logotipo de SolidWorks o al hacer click en el mismo.</p>
Búsqueda de SolidWorks.	
Menú desplegable de opción de ayuda.	




Fuente: 59

- Barra de Herramientas. Dentro de SolidWorks hay barras de herramientas disponibles para la mayoría de las herramientas con las que cuenta (59).
- Administrador de comandos. Barra de herramientas sensible al contexto que se actualiza, dinámicamente en función de la barra de herramientas a la que desee acceder (59).

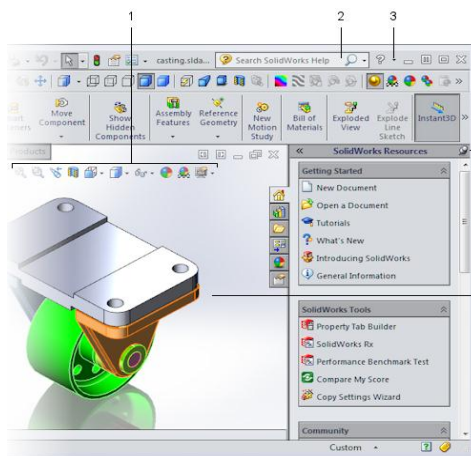
**Fig. 44** Administrador de comandos de SolidWorks 2015.



Fuente: 59

4. Configuration Manager . Es una forma de crear, seleccionar y ver múltiples configuraciones de piezas y de ensamblajes.
5. Property Manager . Permite configurar las propiedades y otras opciones de varios comandos de SolidWorks.
6. Filtro de FeatureManager . Permite buscar operaciones determinadas de piezas y componentes de ensamblajes.
7. Gestor de diseño del FeatureManager. Proporciona un esquema de la pieza, el ensamblaje o el dibujo activo.
8. Barra de estado. Proporciona información relacionada con la función que se esté realizando.

**Fig. 45** Interfaz de usuario.



1. Barra transparente Ver.
2. Búsqueda de SolidWorks.
3. Menú desplegable de ayuda.
4. Panel de tareas.
5. Zona de gráficos.

Fuente: 2

1. Barra transparente ver. Se encuentra en cada área de visualización y proporciona todas las herramientas usuales necesarias para manipular la vista (59).



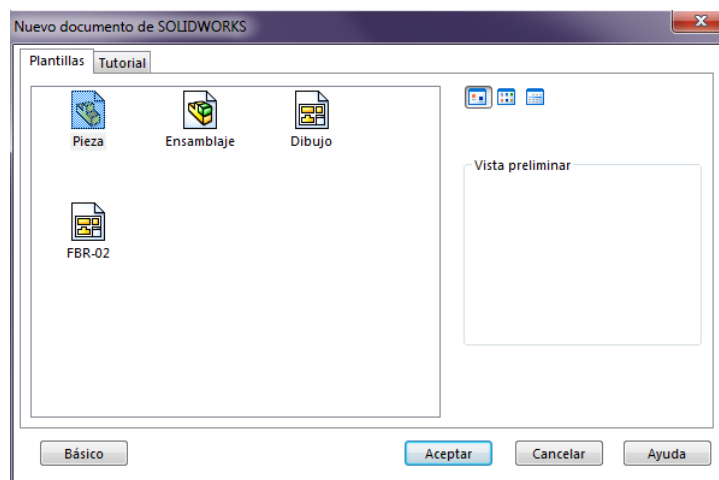
2. Búsqueda de Solid Works. Utilizado para encontrar información de documentación y en foros. Además, puede encontrar archivos y modelos, encontrar y ejecutar comandos de SolidWorks (59).
3. Menú desplegable de ayuda.
4. Panel de tareas. Proporciona acceso a recursos de SolidWorks, bibliotecas de elementos de diseño reutilizables, vistas para arrastrar a las hojas de dibujo e información útil (59).
5. Zona de gráficos. Muestra y permite manipular piezas, ensamblajes y dibujos (59)

#### 4.1.3.2 ¿Cómo comenzar a modelar?


Para comenzar a modelar cada accesorio para el fotobiorreactor, es necesario tener un esquema de lo que se va a realizar, esto ayudara a visualizar mejor cada accesorio.


Cuando se inicia SolidWorks abre una ventada en la cual pide seleccionar el tipo de trabajo que se quiere realizar, como se muestra en la siguiente figura.


**Fig. 46** Ventana de Inicio de Solid Works 2015.



Fuente: 59

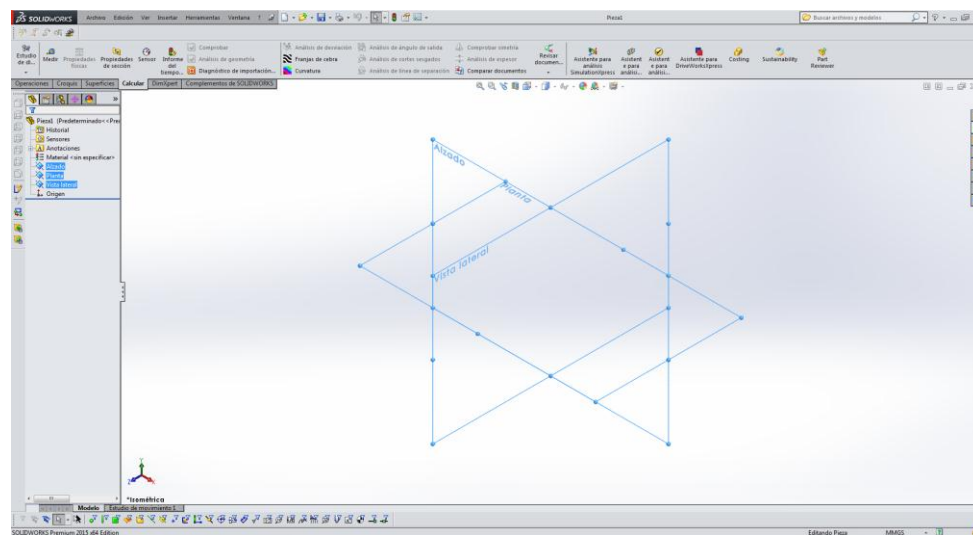
 **Pieza.** Esta opción permite la construcción por partes por separado, es decir se realizan cada uno de los accesorios del fotobiorreactor, por lo tanto se elige esta opción.

Ensamblaje.  Esta opción se emplea para unir cada uno de los accesorios, generando subensambles, para que de este modo se genere el ensamble final del fotobiorreactor.

Dibujo.  Finalmente esta opción sirve para generar un plano de construcción del fotobiorreactor, representándolo en 2D, mostrando características de cada uno de los accesorios del fotobiorreactor.

Al seleccionar la opción “pieza”, primero se crea un croquis, Este es la base para un modelo 3D. El croquis se puede comenzar de acuerdo a los planos que tiene el software (plano de alzado, planta y vista lateral).

**Fig. 47 Planos de SolidWorks 2015.**



Fuente: 59

Una vez que se selecciona el plano, se comienza a realizar el croquis de los accesorios, esto con ayuda de las herramientas de coquizado de SolidWorks (véase figura 48).

**Fig. 48** Herramienta de croquizado (59).

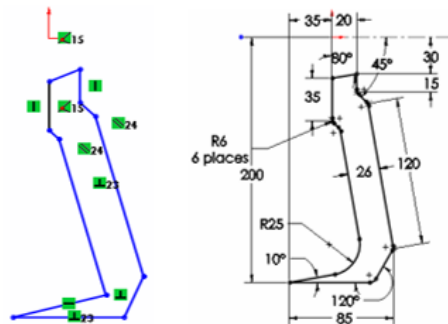


Fuente: 59

Por medio de estas herramientas, se pueden realizar contornos los cuales posteriormente van a hacer transformados en sólidos.

Al formar el contorno, se define dimensionándolo a través de la herramienta de acotado.

**Fig. 49** Ejemplo de contorno.



Fuente: 59

Con la herramienta de operaciones, se transforman los contornos creados con las herramientas de coquizado en sólidos. Las operaciones son compatibles con la funcionalidad de la pieza. Por lo tanto, se pueden incluir operaciones extruir, revolución, recubrimiento o barrido, independientes dentro del mismo documento (60).

## 4.2 Modelado en SolidWorks.

El modelado de sólidos en 3D con SolidWorks agiliza la creación de piezas complejas y ensamblajes grandes. Crear el modelado de sólidos en 3D de diseños genera las siguientes ventajas:

- Agilizar el desarrollo y los detalles del diseño.
- Mejora la visualización y la comunicación.
- Elimina los problemas de interferencias del diseño.
- Comprueba la funcionalidad y el rendimiento del diseño (sin la necesidad de prototipos físicos)
- Proporciona de forma automática la fabricación con modelos sólidos en 3D, necesarios al programar máquinas herramientas de CNC (58).

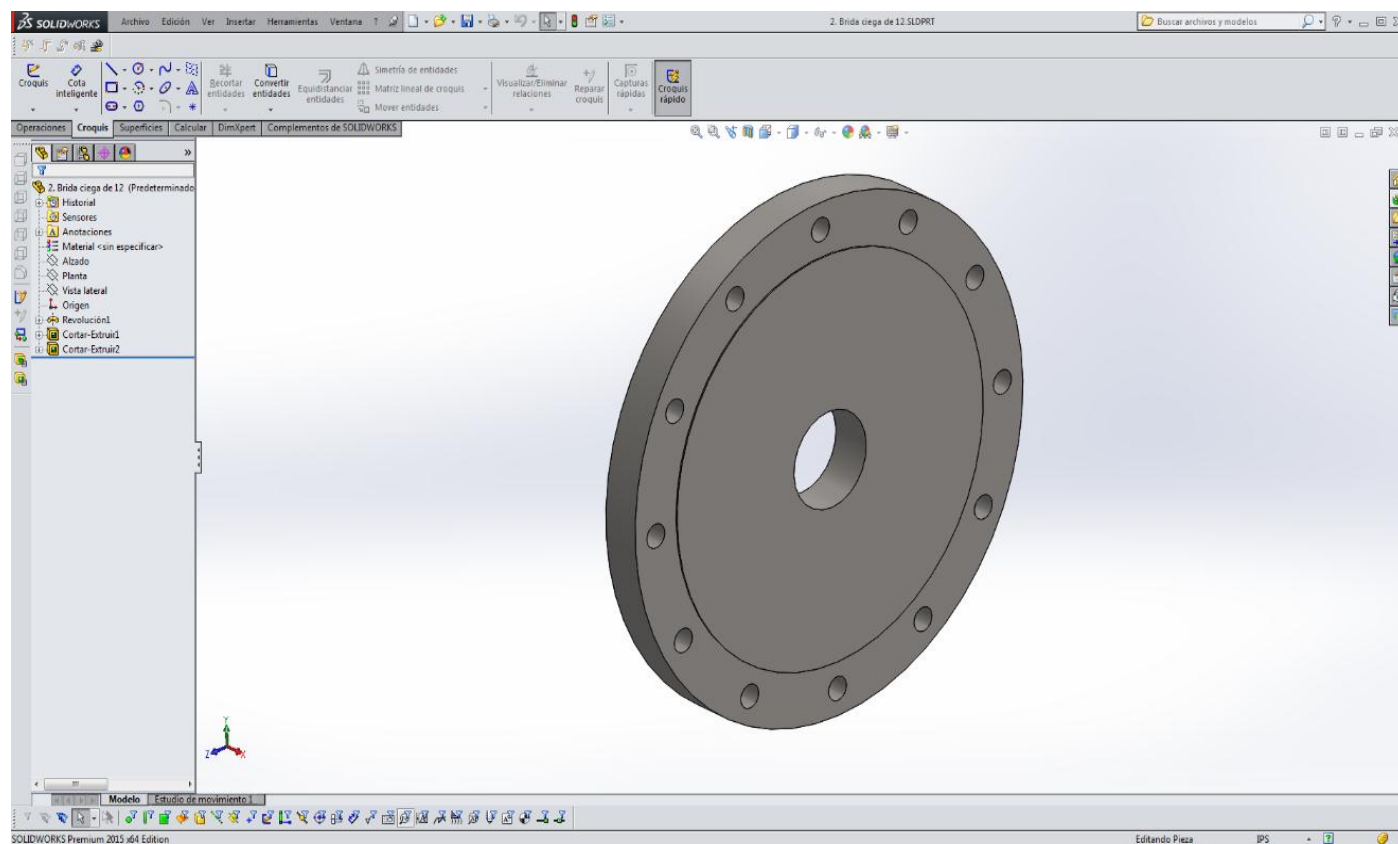
El modelado del fotobiorreactor nos servirá para tener una representación esquemática virtual del fotobiorreactor de acuerdo a los DTI y el plano civil, ahorrando tiempo y costes de desarrollo.

### 4.2.1 Modelado de accesorios

Una vez teniendo la razón del porque se eligieron los accesorios, se comenzaron a modelar cada uno de ellos, usando como guía el catálogo comercial, (por motivos de seguridad no se puede nombrar ya que él será el proveedor oficial). Contemplando del catálogo medidas, y diseño de cada uno de los accesorios, teniendo como resultado el modelado de los accesorios teniendo su vista frontal, lateral e isométrica para tener una visualización completa de cada accesorio.



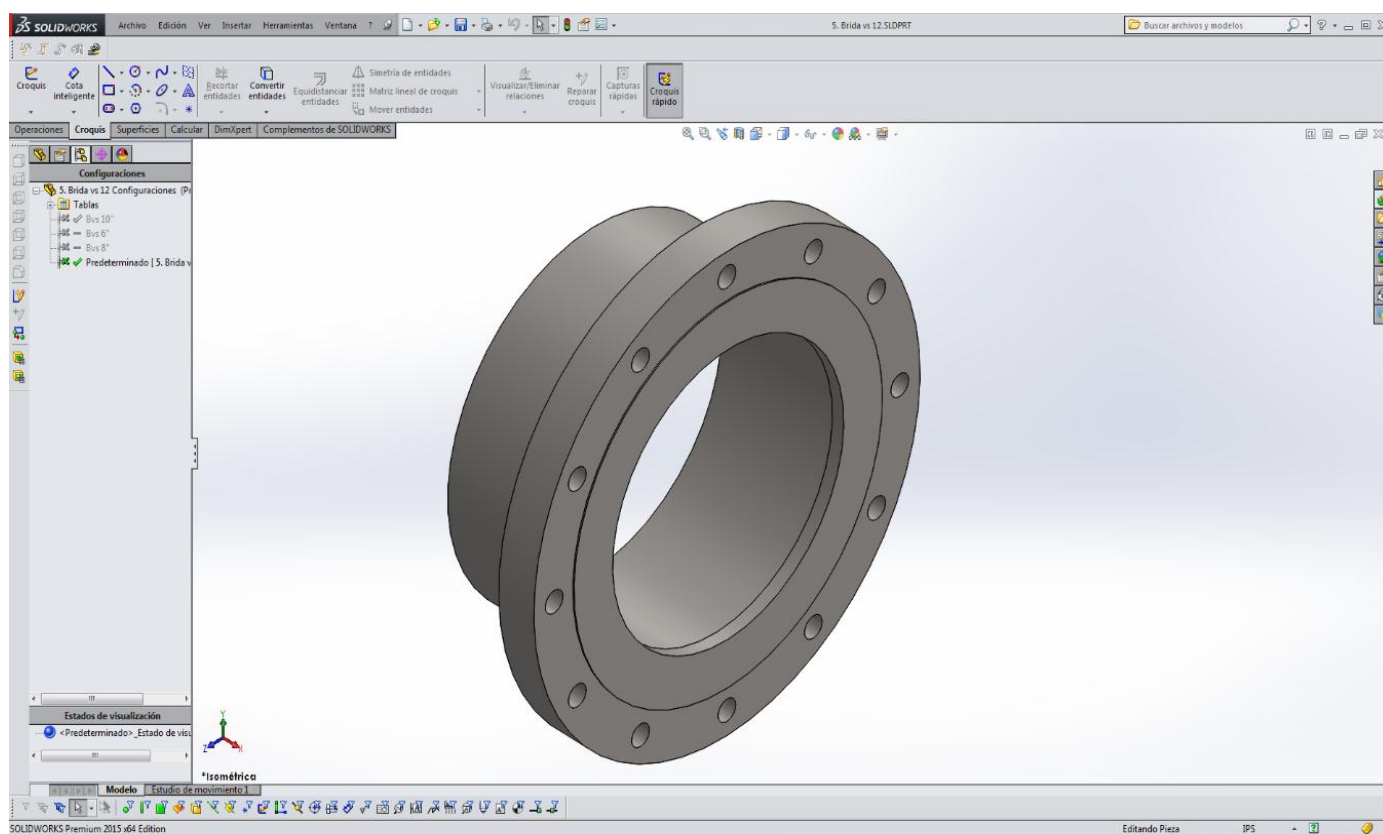
**Fig. 50. Brida ciega 12".**



Fuente: Propia

En la figura 50 se muestra una vista isométrica de una brida ciega para el amado del fotobiorreactor.

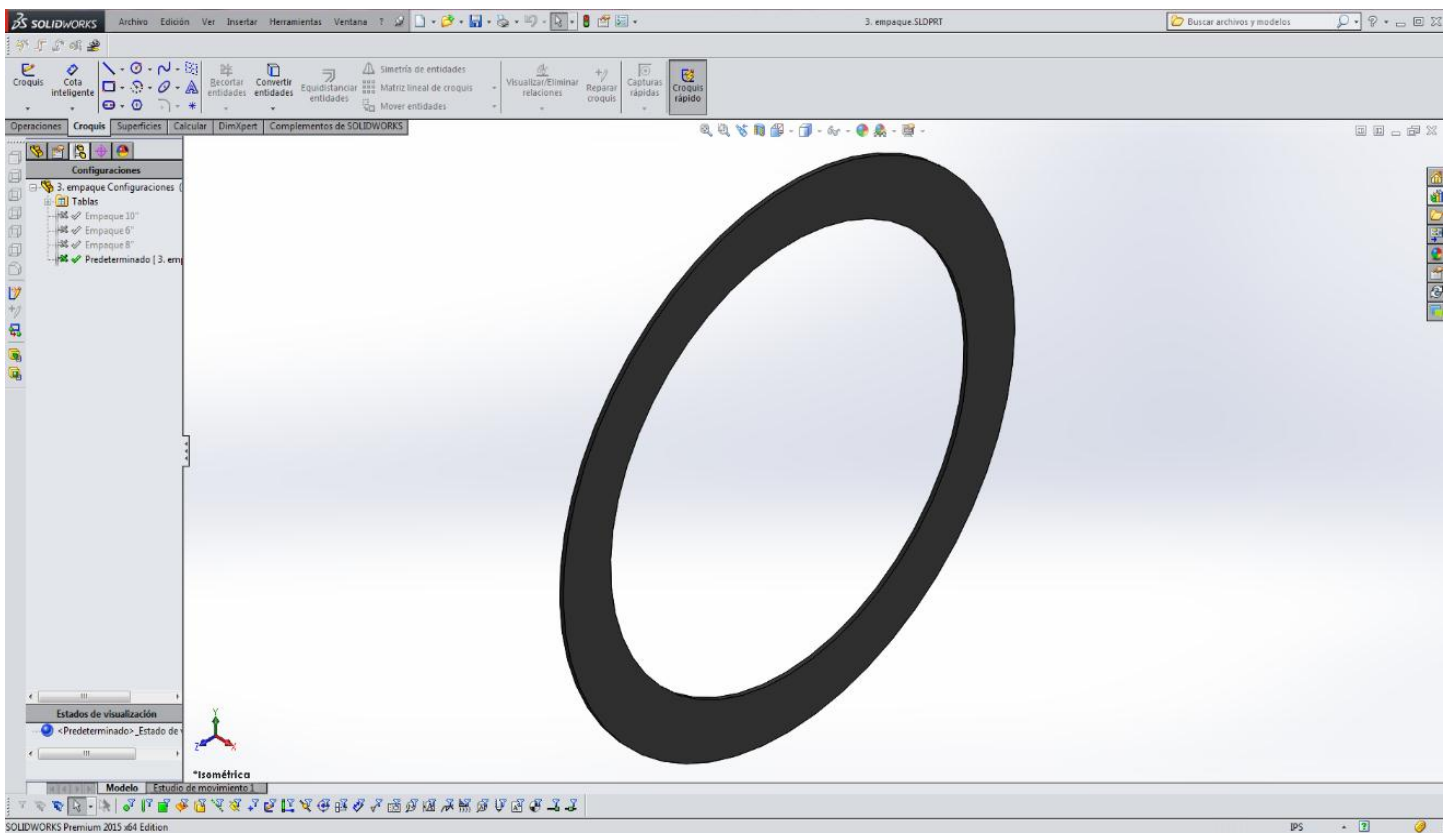
**Fig. 51.** Brida van stone (S) de 12".



Fuente: *Propia*

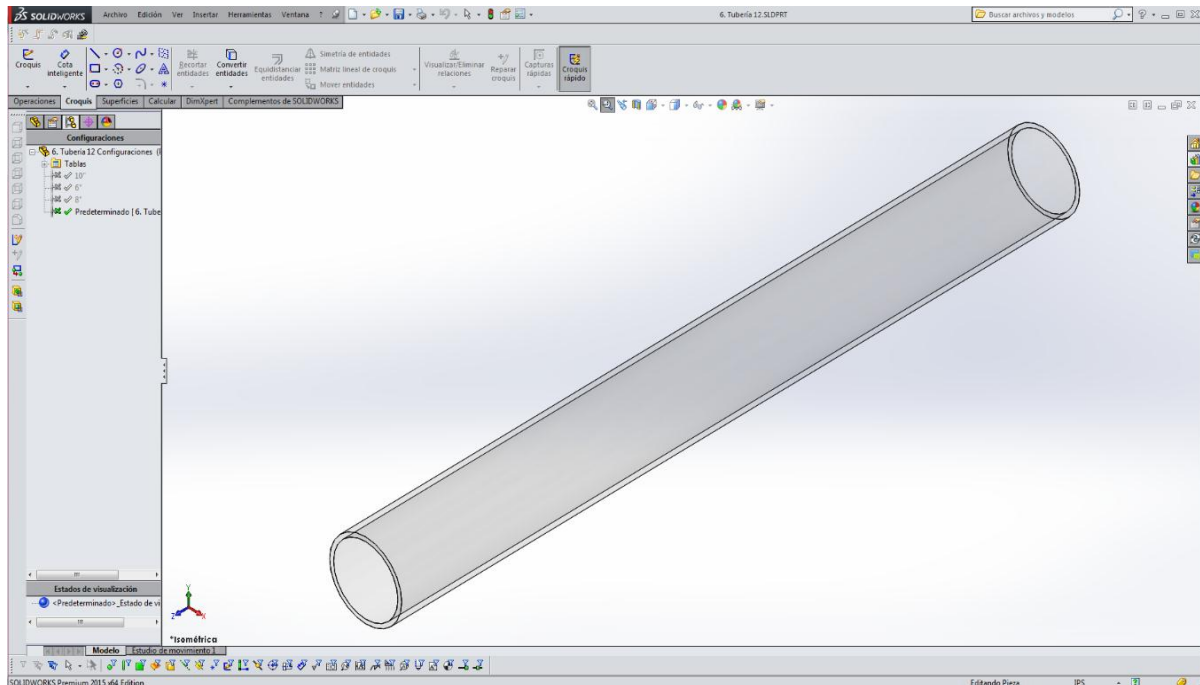
Vista isométrica del modelado de una brida van stone, la cual servirá para unir la tubería.

**Fig. 52** Vista isométrica del modelado de empaque de 1/8" (fuente propia).



En la figura 52 se muestra una vista isométrica de un empaque, modelada en solidworks, el cual nos servirá para evitar la fuga de la conexión entre un tubo y una brida.

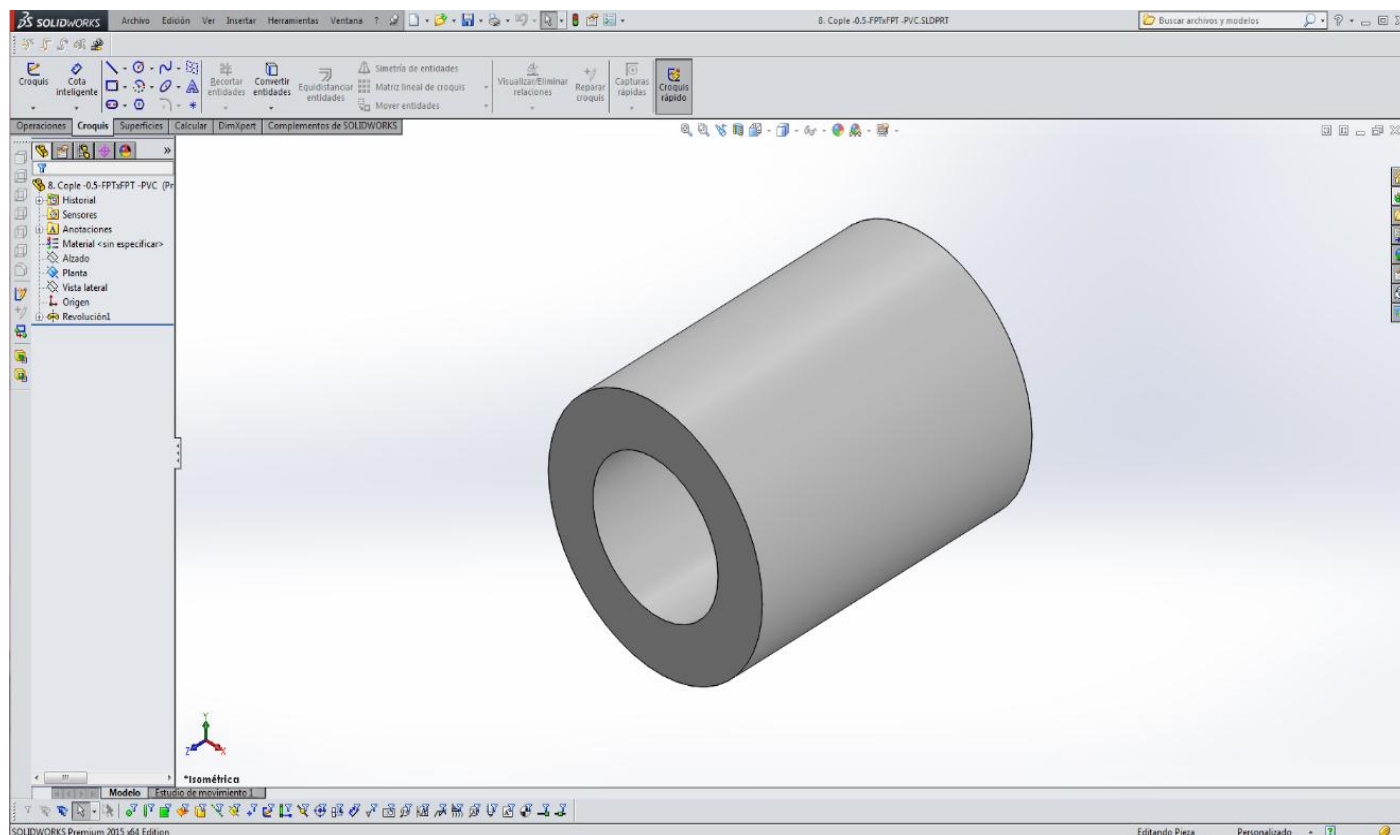
**Fig. 53.** Tubo de 12”.



Fuente: *propia*

En la figura 53 se muestra la vista isométrica un tubo en el cual servirá para transportar la microalga y este será unido ya sea a una brida, un cople o un codo.

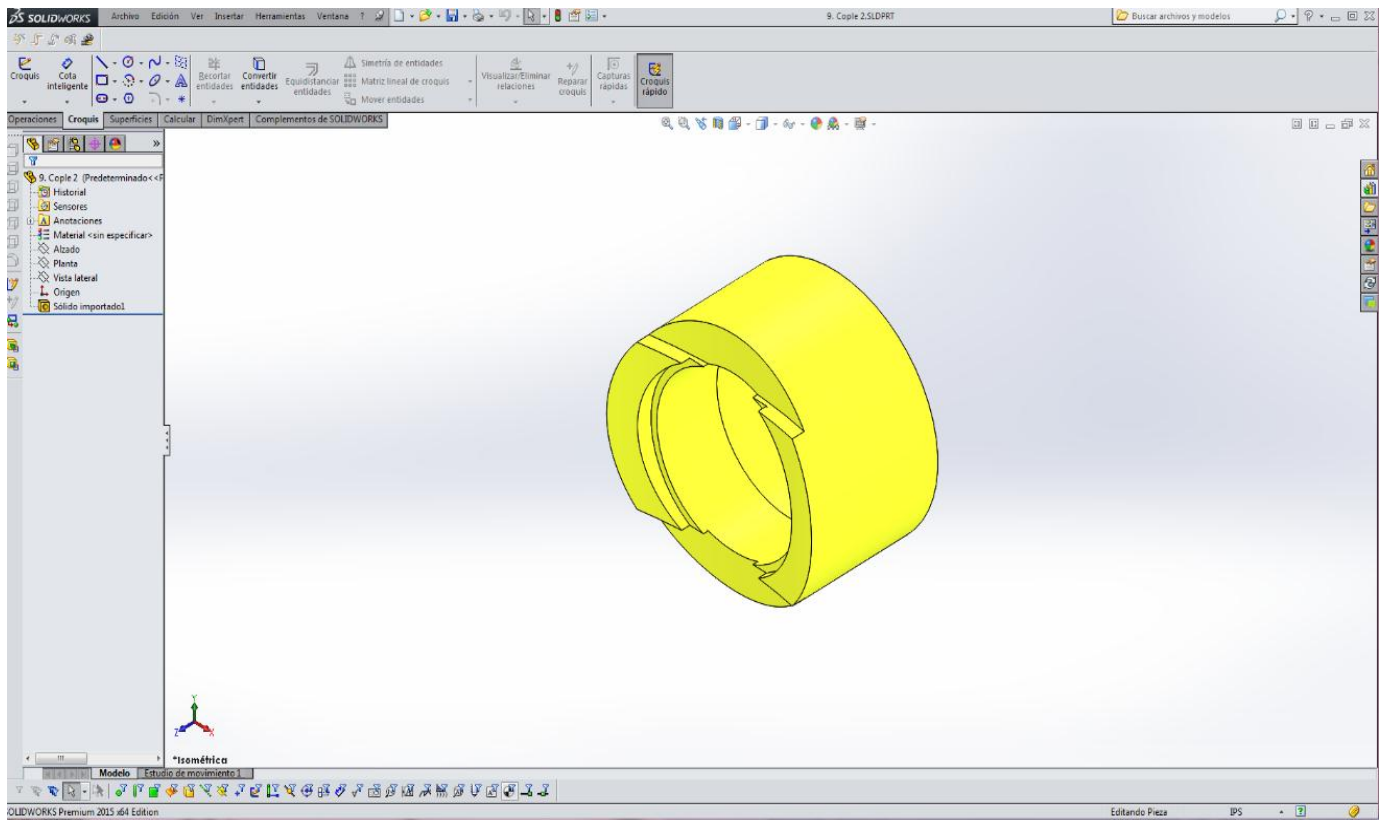
**Fig. 54.** Cople de ½" Ø (TPT x FPT).



Fuente: *Propia*

En la figura 54 se muestra una vista isométrica de un cople, el cual se colocará en un cople reductor, el cual tendrá como función de reducir el flujo de 12" a ½".

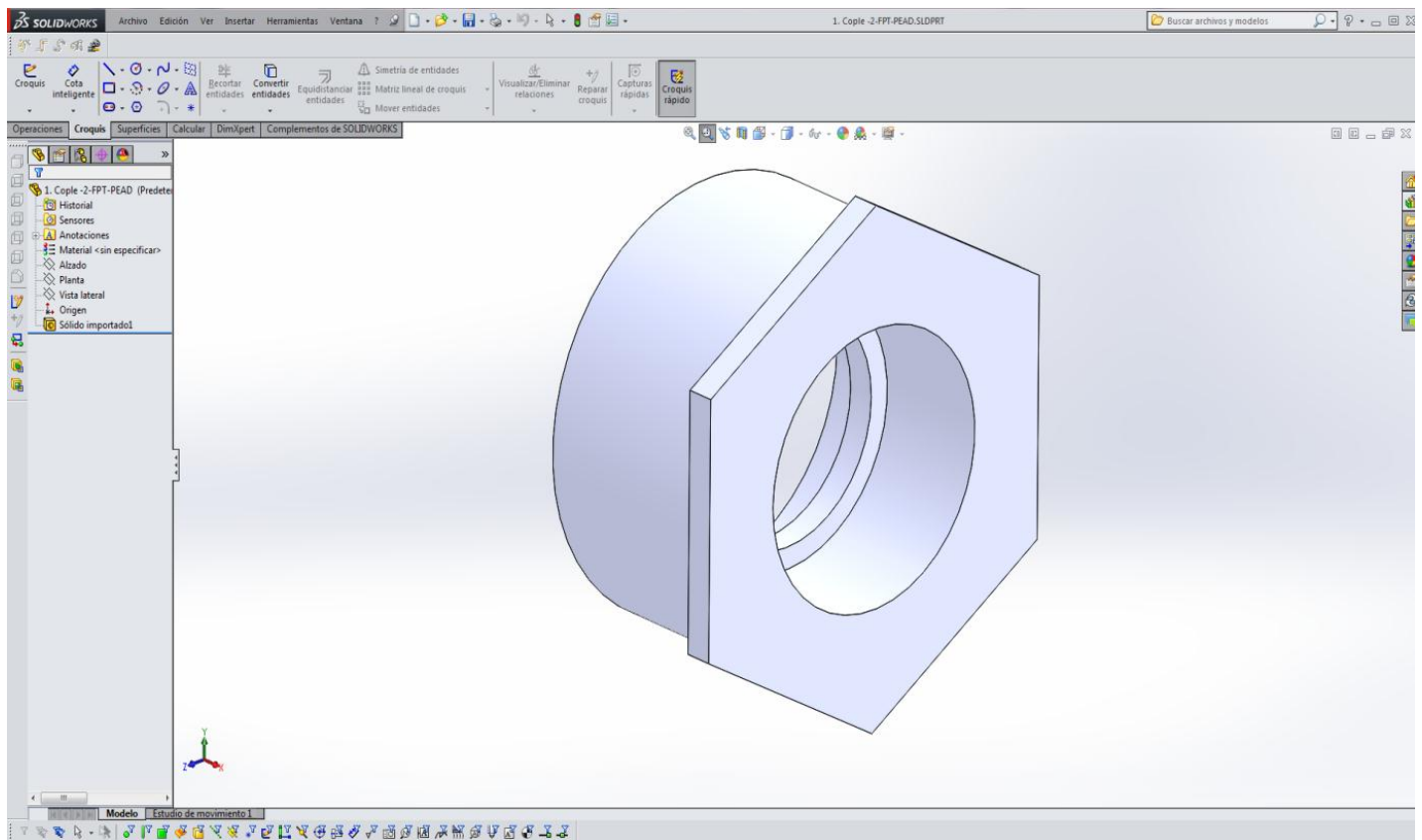
**Fig. 55.** Cople de 2" Ø (TPT x FPT)



Fuente: propia

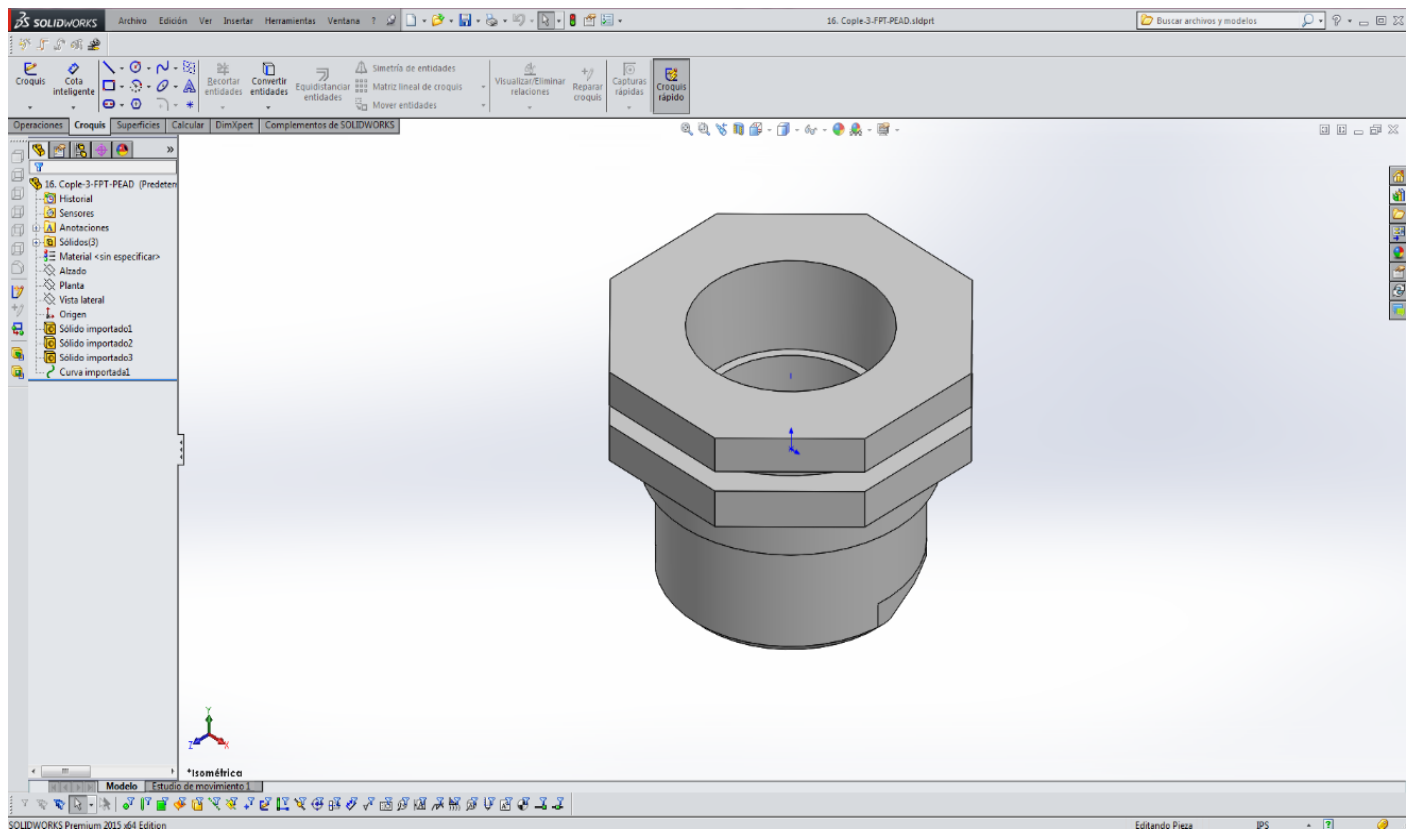
En la figura 55, se muestra la vista isométrica del modelado de un cople.

**Fig. 56.** *Cople hexagonal pasa tanque de 2"*



En la figura 56, se muestra la vista isométrica del modelado de un cople hexagonal, el cual tendrá la función de reducir el flujo a 2".

**Fig. 57.** Cople hexagonal pasa tanque de 3" Ø FPT.

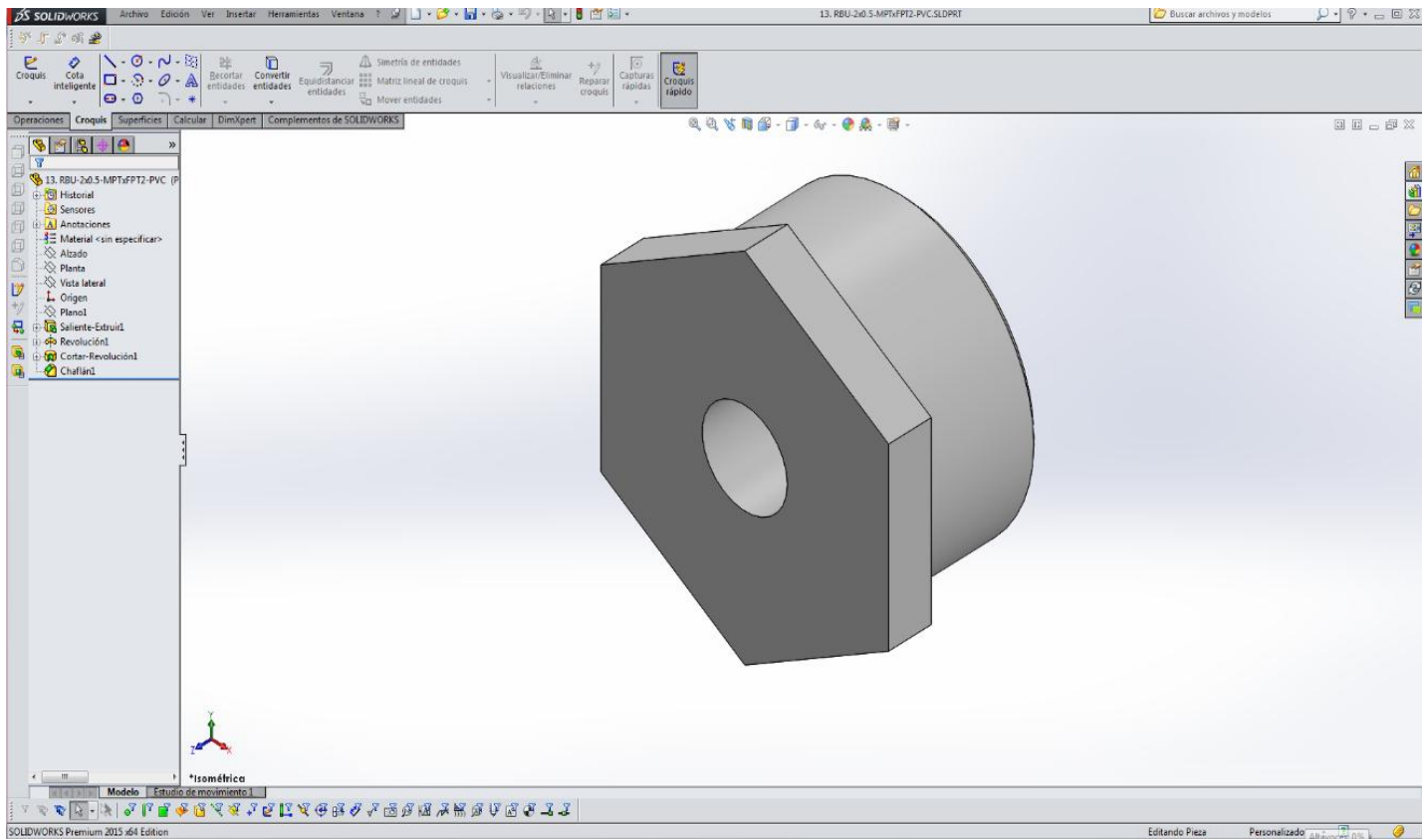


Fuente: *propia*

En la figura 57 se muestra la vista isométrica del modelado de un cople hexagonal pasa tanque de 3" el cual se unirá a una brida para reducir el flujo del líquido.



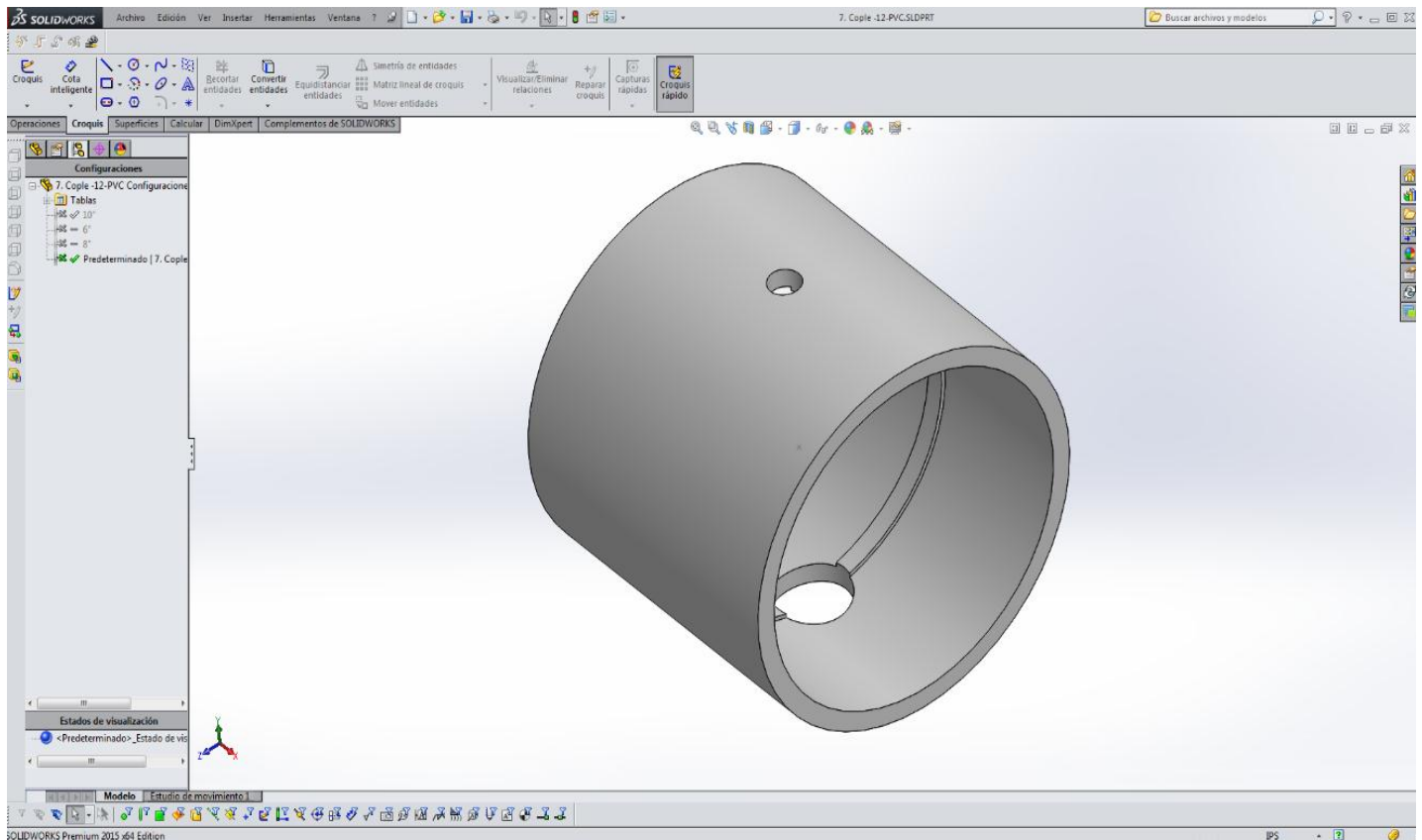
**Fig. 58.** Reducción bushing (MPT x FPT) de 2" x 1/2".



Fuente: Propia

En la figura 58, se muestra la vista isométrica del modelado de una reducción, la cual va unida a una brida para controlar la salida o entrada del flujo.

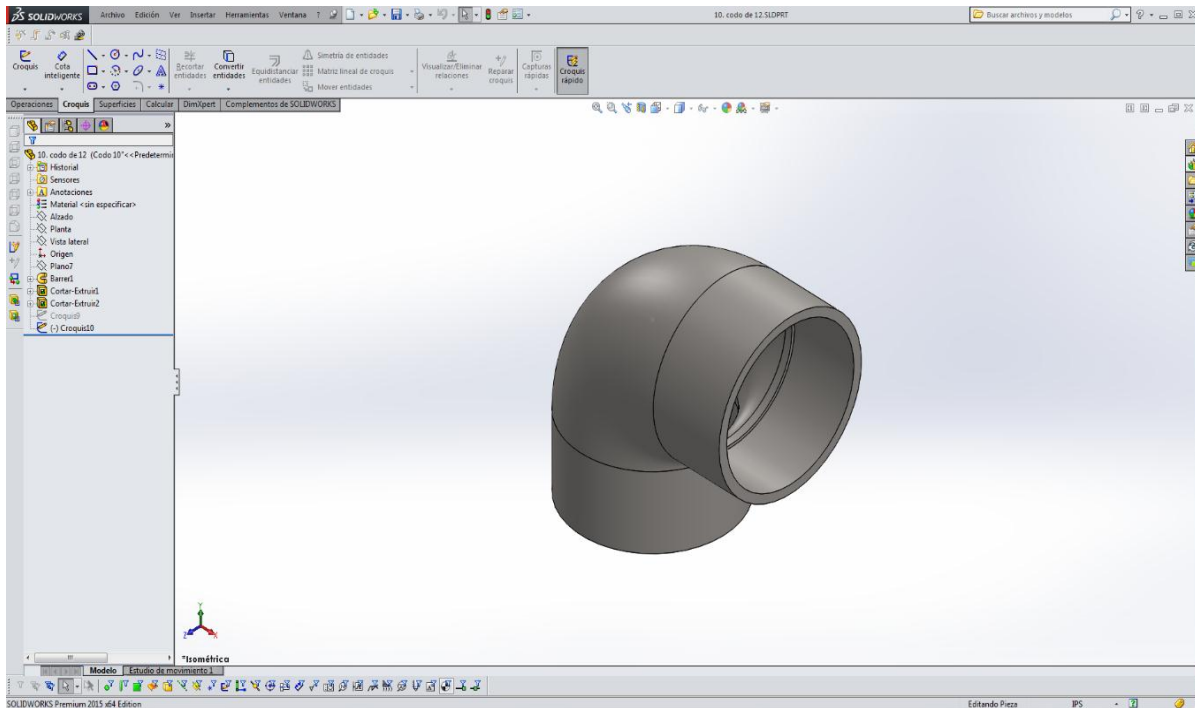
**Fig. 59.** Cople de 12" perforado.



Fuente: *propia*

En la figura 59, se muestra la vista isométrica del modelado de un cople, el cual cuenta con dos perforaciones de  $\frac{1}{2}$ " y 2"; la función de estas dos perforaciones es el de colocar coples del mismo diámetro a las perforaciones para reducir flujo.

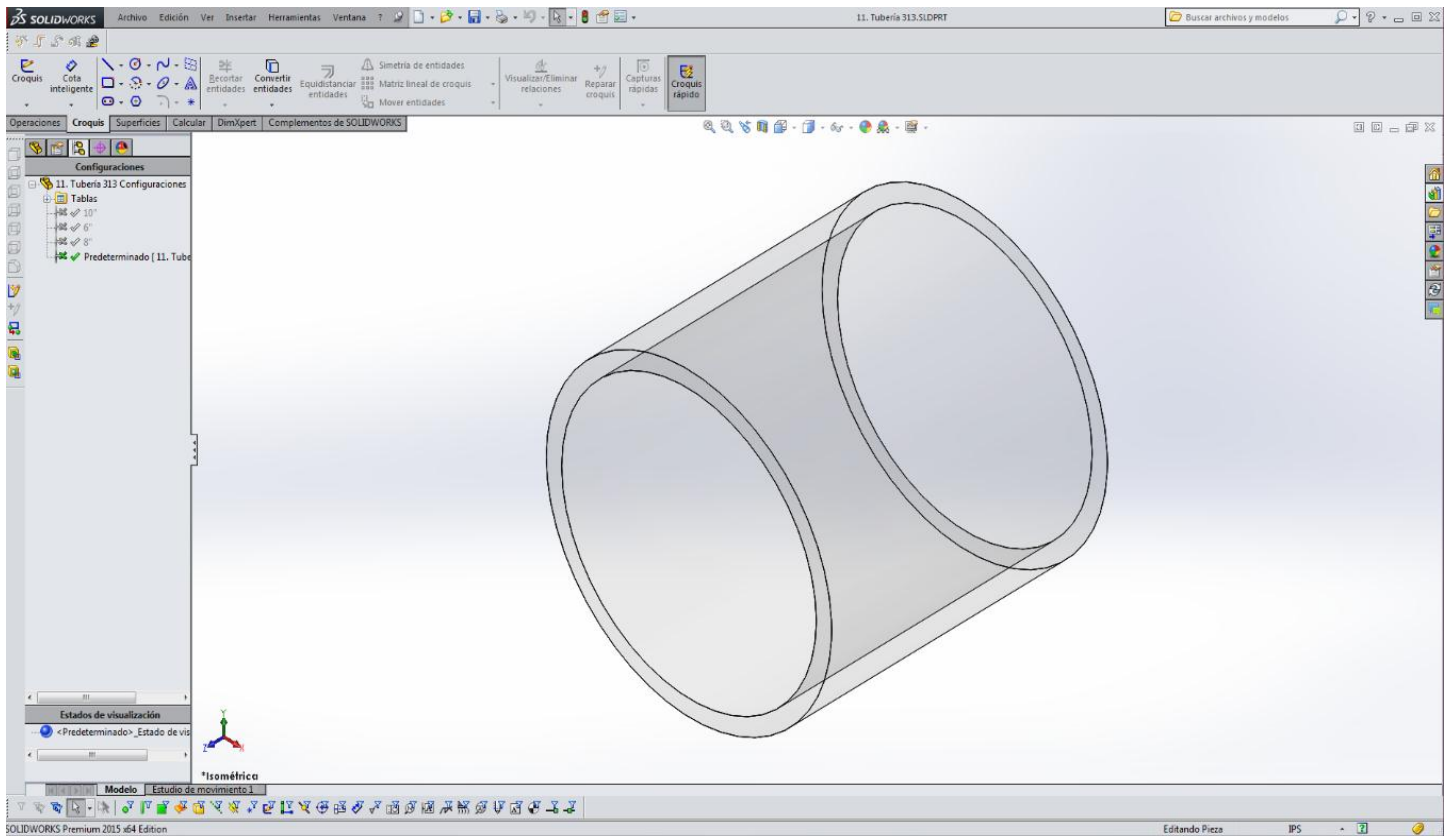
**Fig. 60.** Codo de 12" Ø (TPT x FPT).



Fuente: *propia*

En la figura 60, se muestra la vista isométrica del modelado de un codo, el cual le dará el quiebre al modelado del fotobiorreactor.

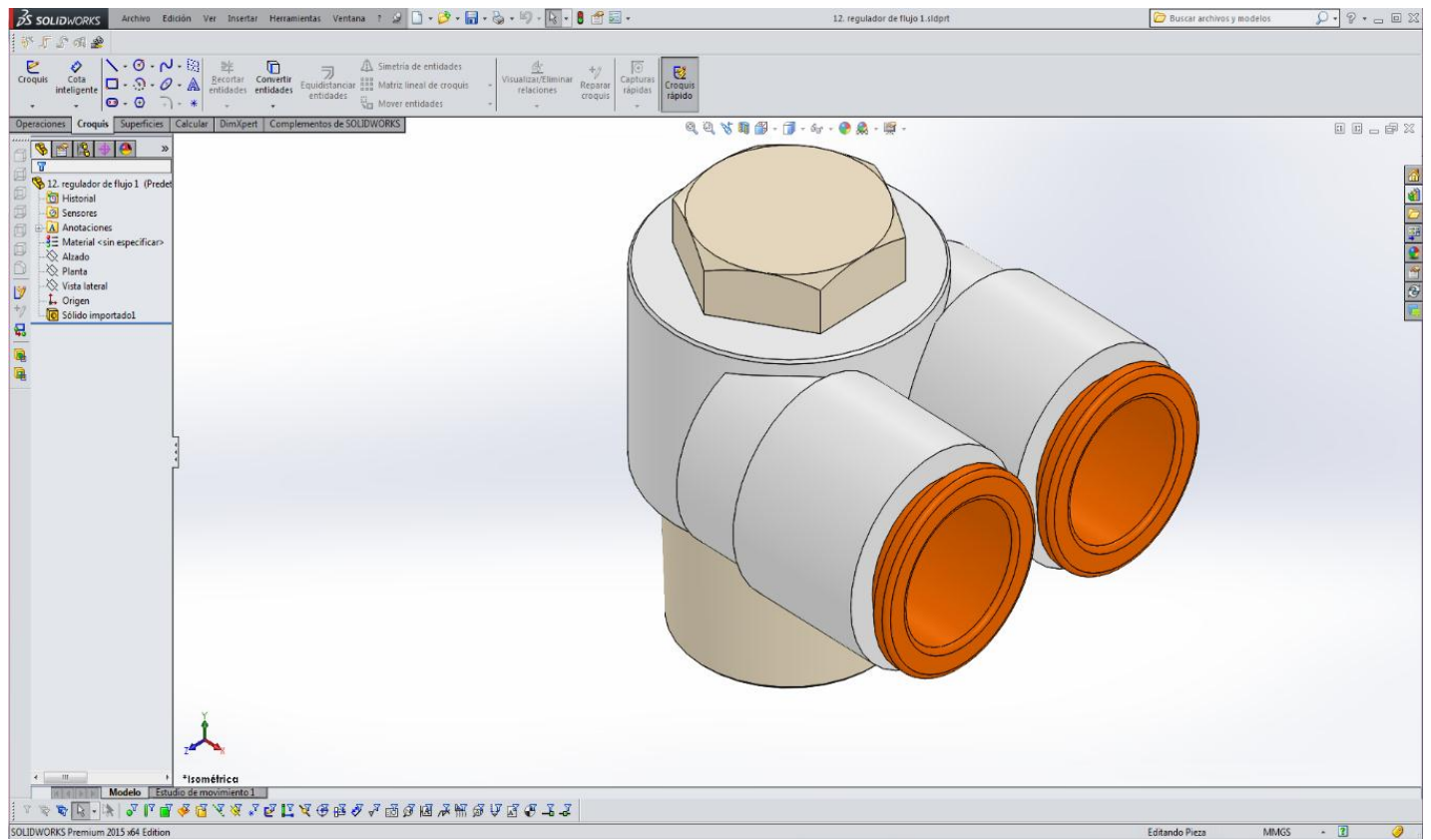
**Fig. 61.** Tubería PVC transparente de 12" de 313 mm de longitud.



Fuente: *propia*

En la figura 61, se muestra una tubería transparente de 313mm de longitud para unir el quiebre que se le hace al fotobiorreactor con ayuda de 2 bridas de cuello.

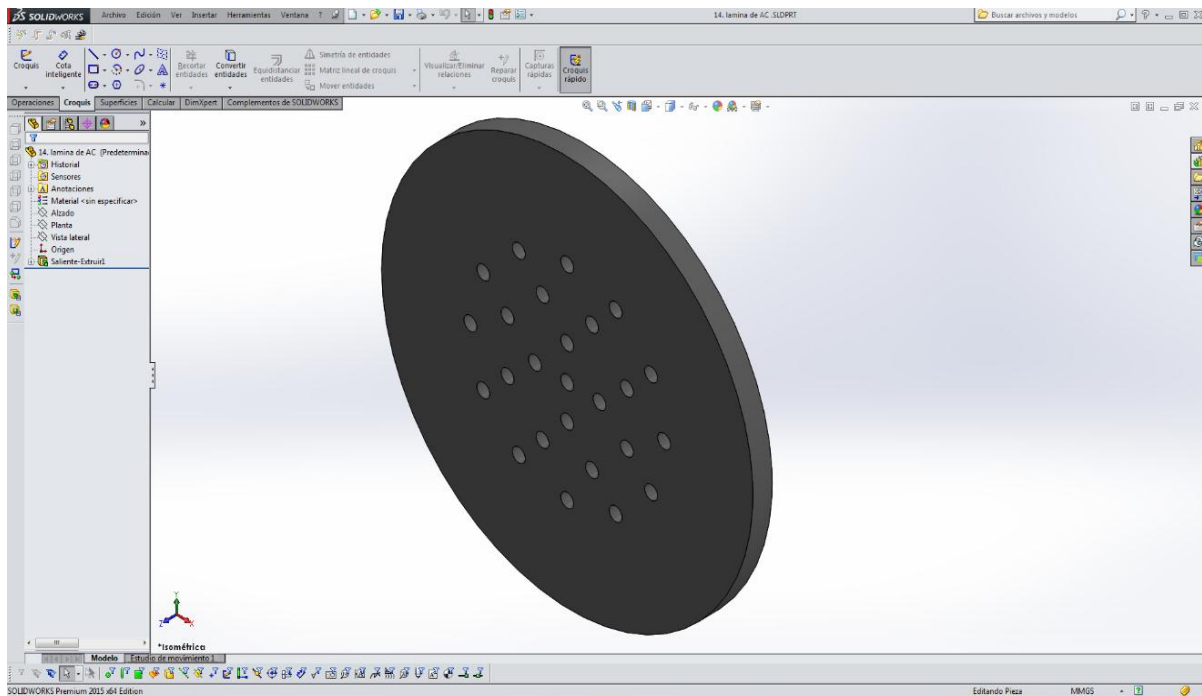
**Fig. 62.** Regulador de flujo.



Fuente: *propia*

En la figura 62, se muestra la vista isométrica del modelado de un regulador de flujo.

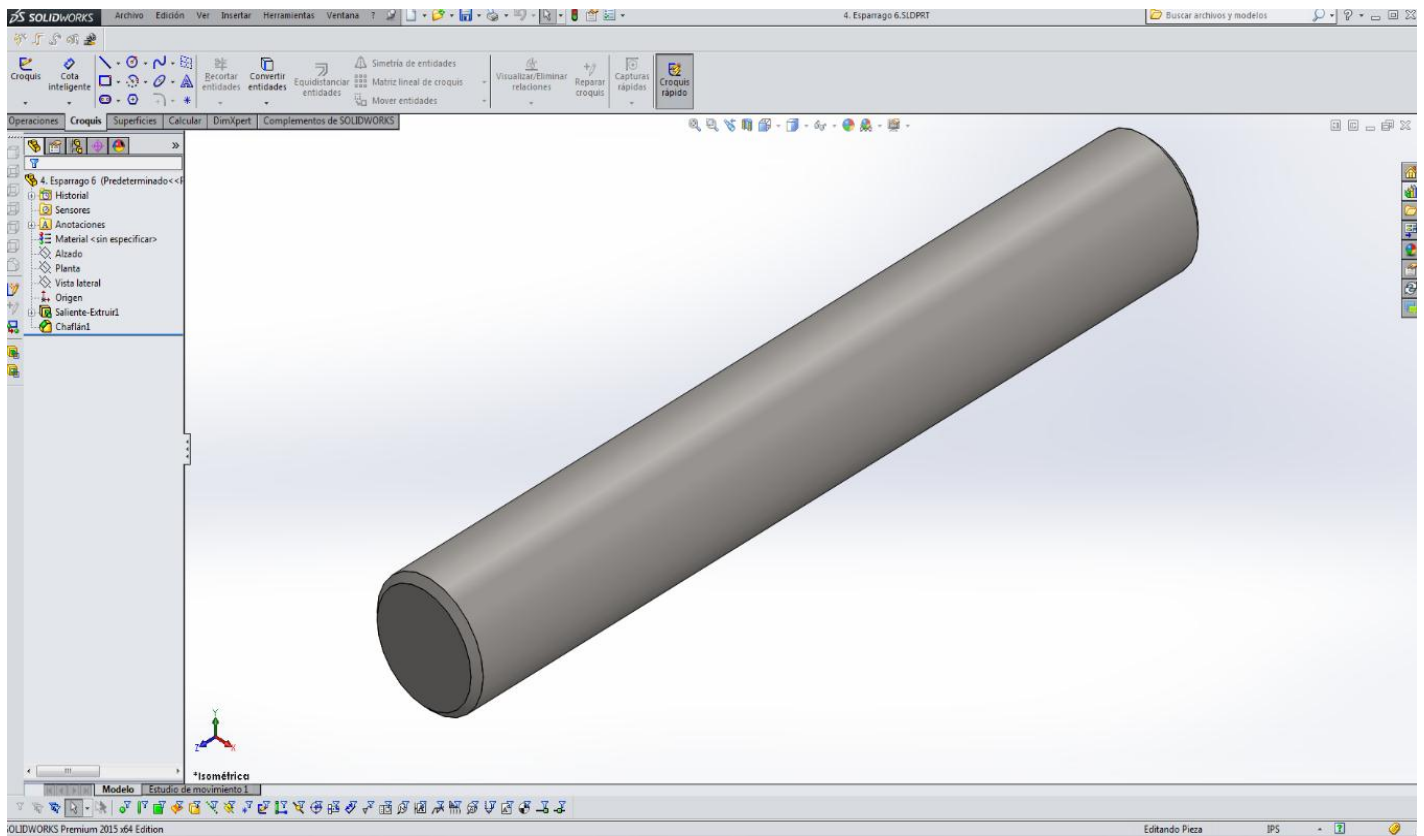
**Fig. 63.** Lámina de acero inoxidable calibre 11.



Fuente: propia

En la figura 63, se muestra la vista isométrica de una lámina con perforaciones, la cual se colocara en un cople de reducción.

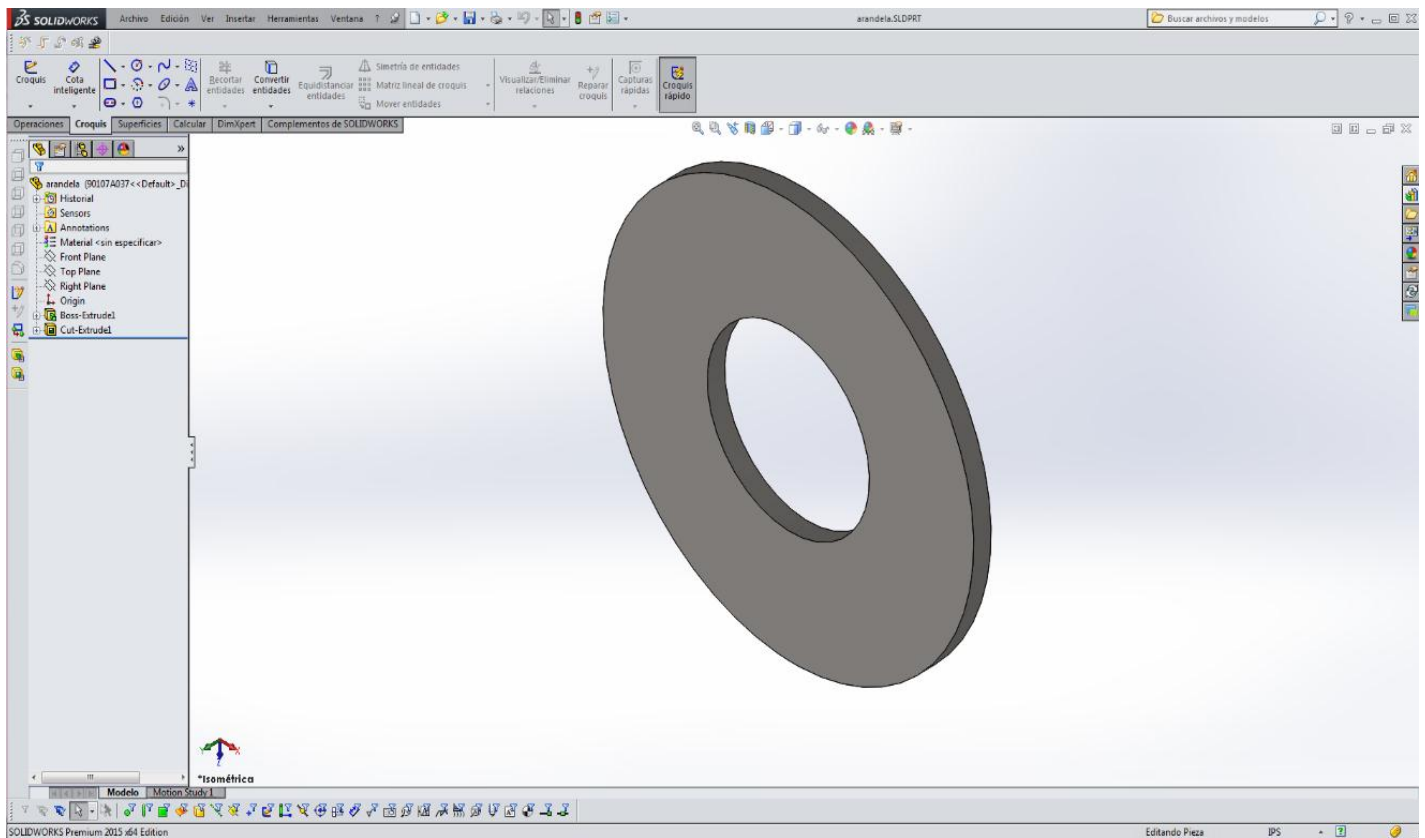
**Fig. 64.** Esparrago galvanizado de 7/8" Ø x 6" de longitud.



Fuente: *propia*

En la figura 64 se muestra la vista isométrica de un esparrago galvanizado el cual, con ayuda de una tuerca y una rondana nos servirá para unir bridas.

**Fig. 65.** Arandela para esparrago.

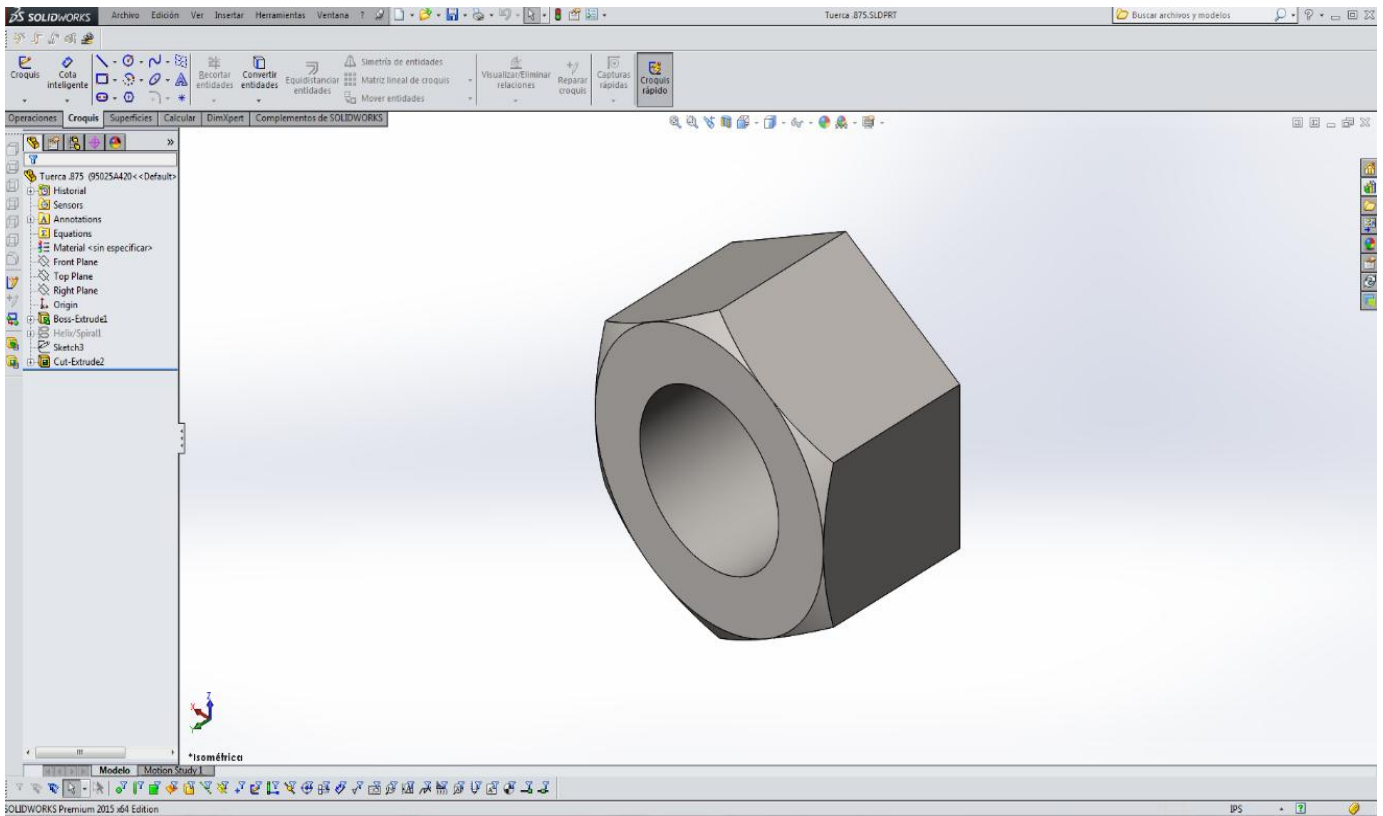


Fuente: propia

En la figura 65 se muestra la vista isométrica de una arandela para esparrago.



**Fig. 66** Tuerca para esparrago.



Fuente: *propia*

En la figura 66, se muestra la vista isométrica de una tuerca, la cual servirá para dar presión en el momento de unir bridas por medio de espárragos.

## 4.3 Ensamble en SolidWorks

El software SolidWorks, permite desarrollar de forma automática múltiples versiones de la configuración de ensamblajes y piezas mediante una funcionalidad simple. Crea variaciones de un diseño dentro del mismo archivo, perfecciona las situaciones de casos hipotéticos, así como las planificaciones para aplicaciones distintas (61).

### 4.3.1 Métodos de diseño

Para crear un ensamblaje se puede realizar de manera ascendente y descendente como se muestra a continuación la explicación de cada uno

#### 4.3.1.1 Diseño descendente.

Para este diseño se empieza a trabajar en el ensamblaje. Puede utilizar la geometría de una pieza para definir las otras piezas o para crear operaciones mecanizadas que se agregan cuando se han ensamblado las piezas. Puede empezar con un croquis de diseño, después definir las ubicaciones de los dispositivos, los planos, etc., y finalmente diseñar las piezas haciendo referencias a dichas definiciones (62).

#### 4.3.1.2 Diseño ascendente.

Es el método tradicional, en el que se crean piezas, se inserta un ensamblaje y se relacionas según lo exija el diseño (62).

El diseño ascendente es la técnica más adecuada cuando se utilizan piezas estándar construidas anteriormente.

Una ventaja del diseño ascendente es que, dado que los componentes se diseñan independientemente, sus relaciones y su funcionamiento en cuanto a regeneración se refiere, resultan más sencillos que en el diseño descendente (62).

## **4.4 Ensamblaje de accesorios**

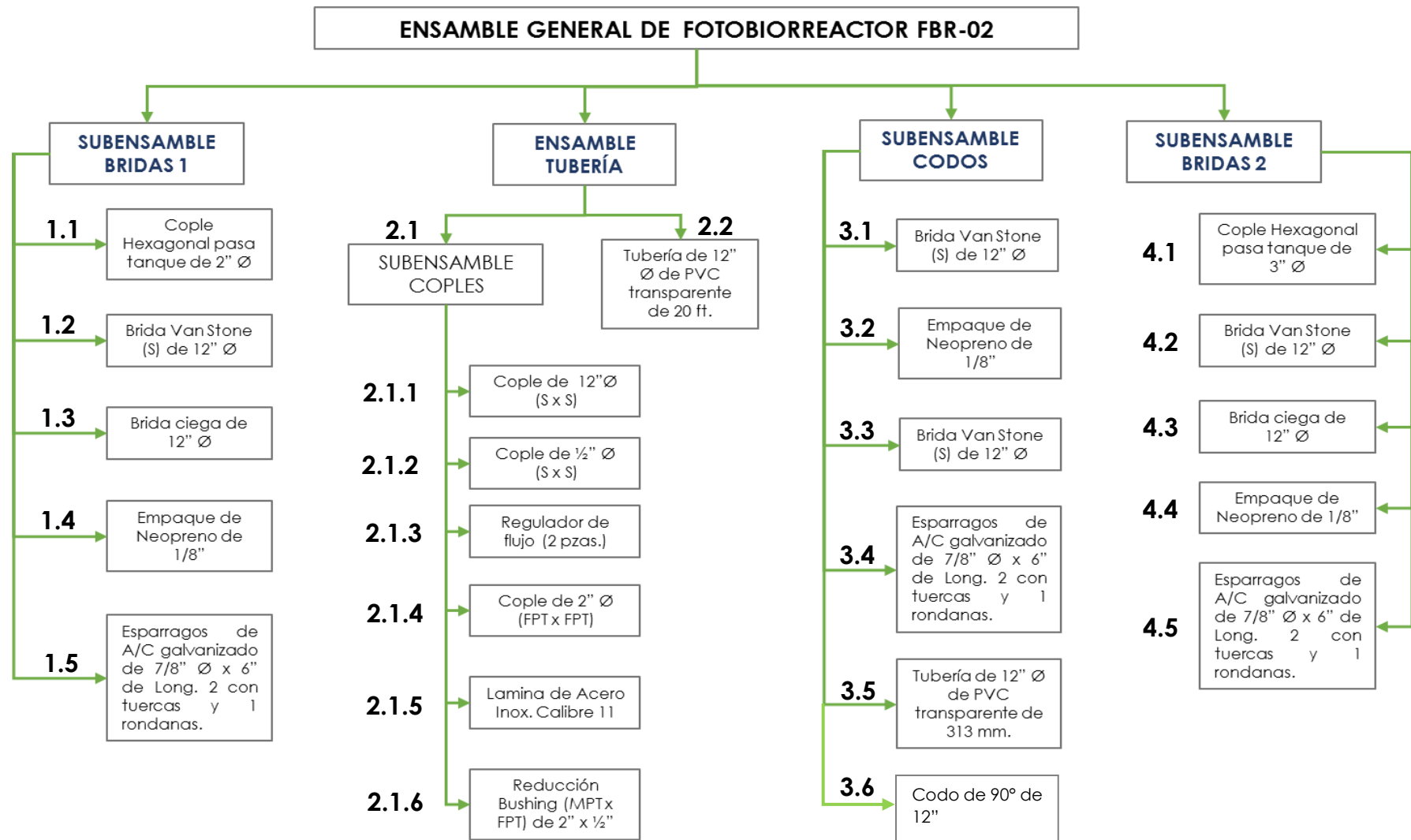
Como se explicó anteriormente hay dos tipos de diseño para llevar a cabo un ensamble, es por ello que para este trabajo se decidió aplicar un diseño ascendente, ya que este se conforma por piezas que ya se hayan diseñado previamente, y se insertan cada uno de los accesorios a través de relaciones de posición.

A través de este diseño ascendente se generan subensambles, lo cual nos facilitara el llevar a cabo el ensamble general del fotobiorreactor.

### **4.4.1.1 Subensambles**

Un subensamble es componente de otro ensamble por eso recibe esta denominación. Puede anidar subensamblajes en varios niveles para reflejar la jerarquía de su diseño (62).

Para realizar el ensamble del fotobiorreactor en general, se realizaron principalmente los subensambles ya que el fotobiorreactor FBR-02 cuenta con bastantes accesorios y esto hacia que el trabajo se dilatara más (esto si se realizaba un ensamble solamente). Para que se tenga una idea más clara se realizó el siguiente diagrama para visualizar el ensamble del fotobiorreactor, y ver los subensambles de los que se componen.



**Ilustración 2** Estructura del armado del fotobiorreactor FBR-02, representado en un diagrama (Fuente: propia).

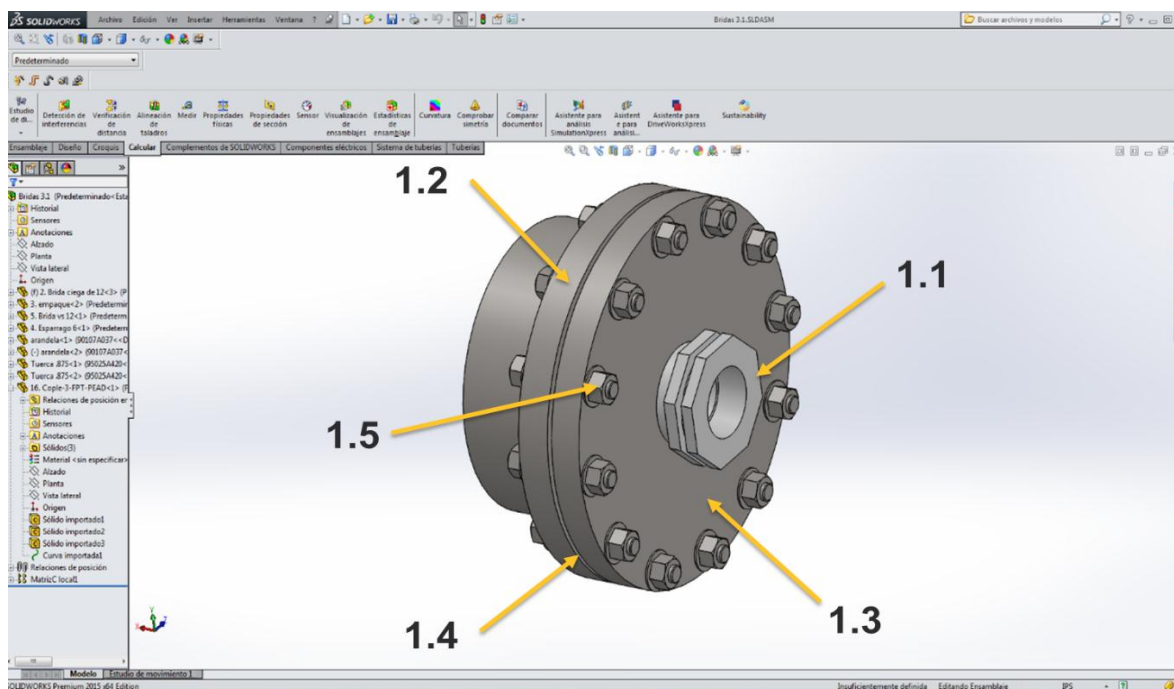
## 4.5 Ensamble de accesorios en SolidWorks

En la *ilustración 2* se muestra la interpretación del ensamble general del fotobiorreactor a través de un diagrama, y la realización de este a través de subensambles, por ello a continuación se hace la representación gráfica, llevándose a cabo en el software SolidWorks.

### 4.5.1.1 Subensamblado de Bridas 1

De acuerdo al diagrama de la *ilustración 2*, este subensamblado está compuesto por un cople hexagonal pasa tanque 2" (1.1), siendo este el accesorio principal del subensamblado (padre), teniendo la función de ser la pieza fija dentro del ensamble y de la cual dependen los siguientes accesorios insertados, como brida ciega de 12"Ø, empaque 1/8", brida van stone 12" Ø, espárragos 7/8" Ø, rondanas y tuercas (hijos), fijadas a través de relaciones de posición.

**Fig. 67** Subensamblado de bridas.

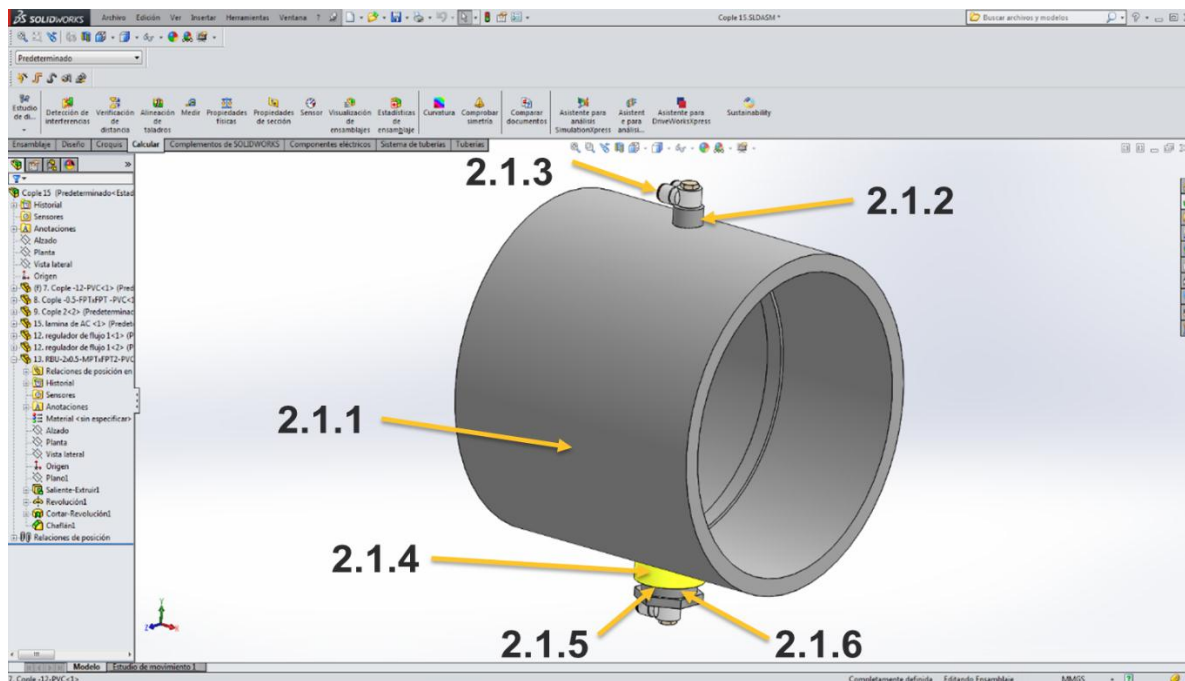


Fuente: *propia*

Para tener una imagen clara de lo que se realizó en la figura 67 se muestra el modelado del subensamblado de bridas.

En el diagrama de la figura 2 muestra este subensamblaje, el cual tiene la función de unir la tubería de 12"Ø y 20ft de longitud, dicho subensamblaje está compuesto por un cople de 12"Ø el cual es el primer cople que se inserta (padre), posteriormente se insertó un cople de ½ "y un regulador de flujo 2"Ø, al lado contrario de estos se insertó un cople de 2" Ø, una lámina de acero inoxidable, (va entre el cople y la reducción bushing) reducción bushing de 2" Ø x ½" Ø y por último se le inserta un regulador de flujo. Para visualizar mejor el subensamblaje se puede apreciar en la *fig. 68*.

**Fig. 68.** Subensamblaje de coples y accesorios.



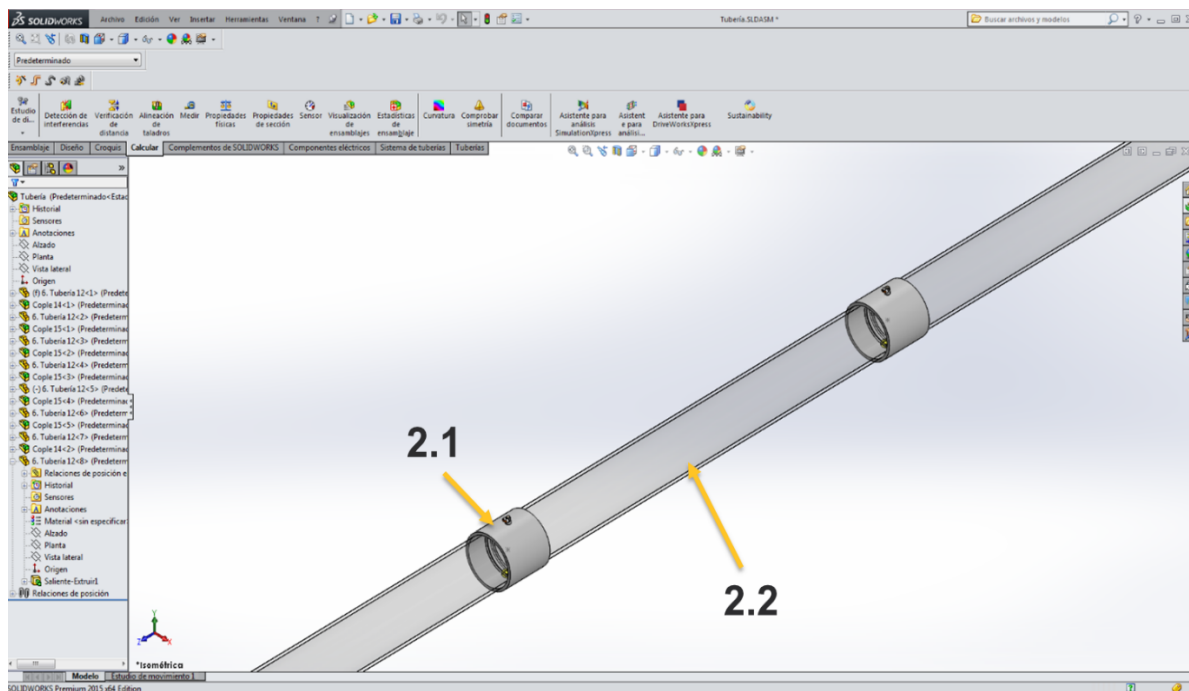
Fuente: *propia*

En la figura 68, muestra la vista isométrica de la unión de los accesorios para crear el subensamblaje de coples.

#### 4.5.1.2 Subensamble de tubería

La representación de este subensamblaje es la unión de la tubería de 12"Ø con la unión de subensamblajes de cople los cuales son representados en la *fig. 69*. Este subensamble será la unión principal de todo el fotobiorreactor, como se muestra en la *fig. 69* en esta se puede apreciar el ensamble de estos.

**Fig. 69** Subensamble de coples y tubería de 12"Ø.



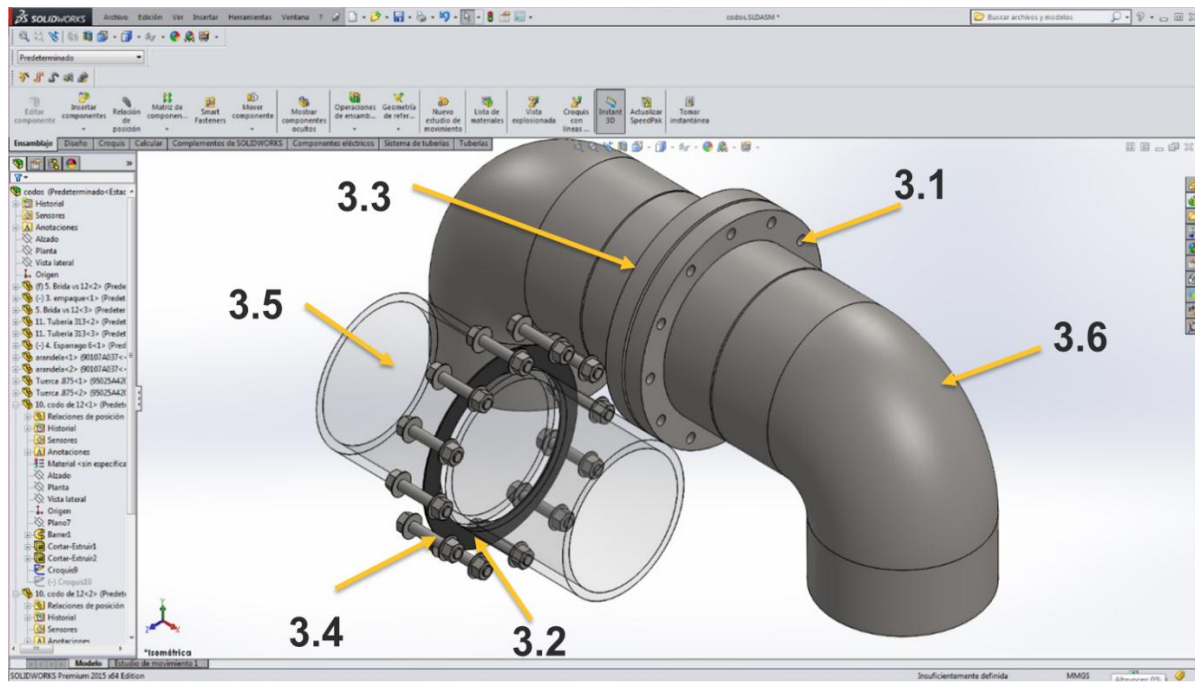
Fuente: propia

En la figura 69, se observa el modelado de la vista isométrica de un subensamblaje, el cual consta de un subensamblaje de coples unidos a un tubo de 12", este subensamblaje facilitará el armado del ensamble general del fotobiorreactor.

#### 4.5.1.3 Subensamble Codos

La proyección de este subensamble se basó principalmente en insertar una brida van Stone de 12" Ø (padre), una arandela y otra brida van Stone seguido de sus espárragos, arandelas y tuercas, posteriormente se insertaron dos tuberías de 12"Ø de 313mm una en cada entrada de las bridas, por consiguiente se insertaron dos codos de 12"Ø insertados uno en cada lado de la tubería, esto se puede apreciar a continuación en la *fig. 70*.

**Fig. 70.** subensamble de codos en U.



Fuente: *propia*

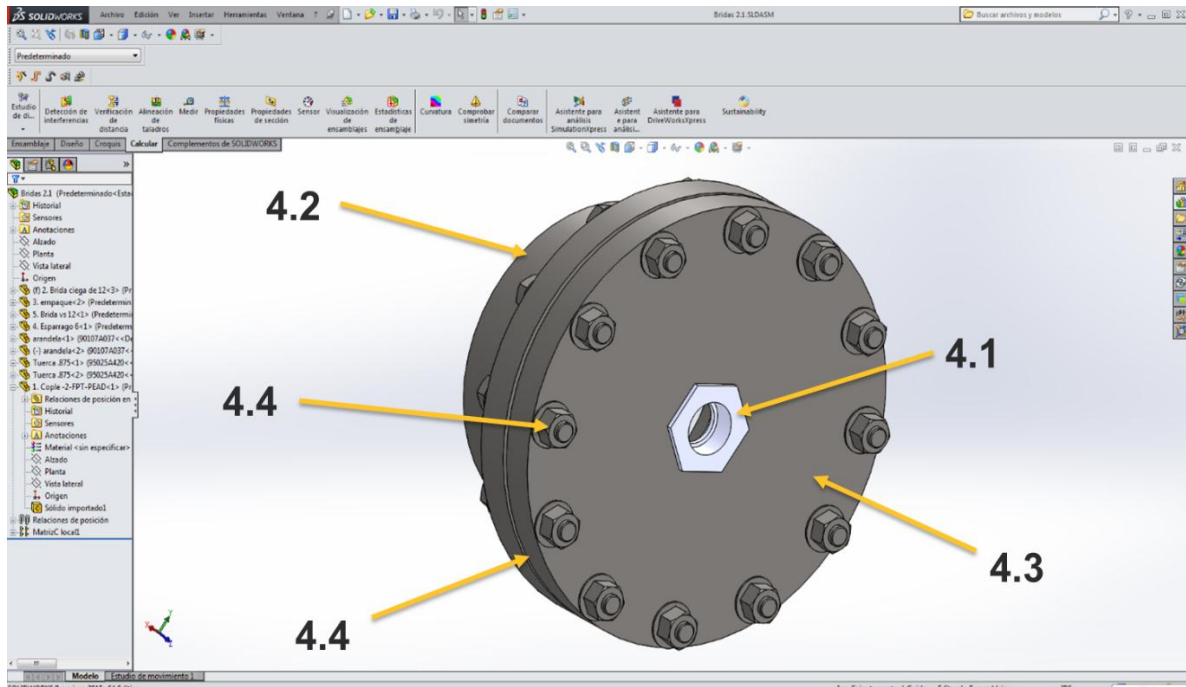
En la figura 70, se muestra una vista isométrica explosionada para poder visualizar la tubería de 12" que lleva este así como los accesorios que lleva este subensamble de codos.



#### 4.5.1.4 Subensamble de bridas 2

En este último subensamble es similar al primer subensamble de bridas, lo único que lo diferencia de este es que el cople hexagonal es de 3" Ø como se muestra en la *fig. 71*.

*Fig. 71. Subensamble de bridas y accesorios.*



Fuente: *propia*

En la figura 71, se muestra la vista isométrica del subensamble de las bridas, pero a diferencia de la figura 67 el cople es de 3".

## CAPÍTULO IV.

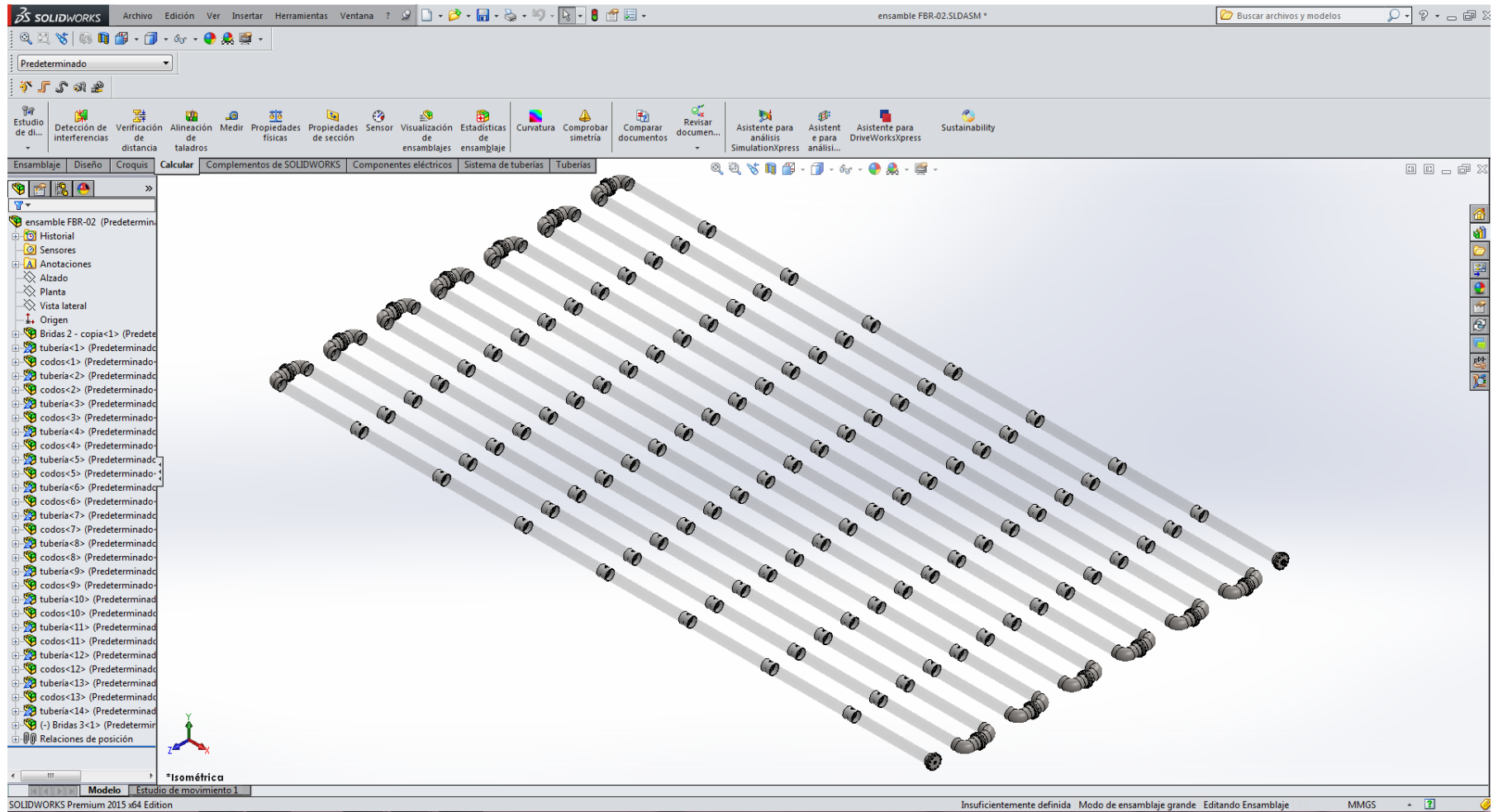
---

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se da un reporte de los resultados obtenidos durante el proceso de esta investigación.

- Modelar el arreglo de tubería que conforma el fotobiorreactor, mediante el diseño de cada componente para facilitar el ensamble general.
- Analizar la viabilidad de la construcción del fotobiorreactor, mediante el modelado de las diferentes partes o accesorios que lo componen, para emitir una recomendación a ASEPRO Ecología.
- Realizar el modelado y el plano de construcción del fotobiorreactor en el software SolidWorks, para facilitar la fabricación del fotobiorreactor a ASEPRO Ecología.
- Generar una parametrización de los accesorios (codos, bridas, empaques, coples, espárragos, tuercas y tubería), llevándose a cabo en SolidWorks, simplificando operaciones en el modelado, para lograr una optimización en la ingeniería de detalle los fotobiorreactores con diferentes medidas, contemplando su diámetro nominal y longitud total.

## 5.1 Ensamble general del fotobiorreactor FBR-02



Fuente: *propia*

## 5.2 Pie de plano en hoja de dibujo de SolidWorks

Un pie de plano son las especificaciones técnicas o información técnica con la que cuenta el diseño, y darnos todas las armas necesarias para conocer el proyecto. Este debe contener:

- Norte constructivo
- Nombre de la empresa
- Nombre del proyecto
- Quien da el visto bueno
- Dibujante
- Fecha de inicio
- Fecha de termino
- Croquis de localización
- Ubicación del proyecto
- Acotaciones
- Espacio para el tipo de plano
- Número de plano
- Revisiones
- Planos de referencia

Como se mencionó en el marco teórico, toda hoja esta estandarizada, y para el plano se utilizó el formato de hoja ISO A1, con equivalencia a ANSI D, en lo cual las medidas de los formatos se muestras en la siguiente tabla:

Tamaño ISO	Dimensión (mm)		Dimensión (plg.)		Tamaño ANSI Arch	Dimensión (mm)		Dimensión (plg.)	
	Ancho	Alto	Ancho	Alto		Ancho	Alto	Ancho	Alto
A4	216	279	8.5	11.0	Arch A	229	305	9.0	12.0
A3	279	432	11.0	17.0	Arch B	305	457	12.0	18.0
A2	432	559	17.0	22.0	Arch C	457	610	18.0	24.0
A1	559	864	22.0	34.0	Arch D	610	1219	24.0	36.0
A0	864	1118	34.0	44.0	Arch E	914	1067	36.0	48.0

**Tabla 5.** Comparación de los tamaños de hoja, con respecto a los formatos ISO y ANSI Arch.

Para poder llevar a cabo el plano del fotobiorreactor en primer estancia se realizó el cuadro de datos, (ya antes mencionados) realizando lo siguiente:



REVISIÓN					NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	Vo. Bo	E-001	

 <b>CONACYT</b> <small>Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología</small>	 <b>SENER</b> <small>SECRETARÍA DE ENERGÍA</small>	 <b>ASEPRO ECOLOGÍA</b>
ENTREGADO: _____ <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>FIRMA</span> <span>FECHA</span> </div>	VALIDADO: _____ <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>FIRMA</span> <span>FECHA</span> </div>	<div style="text-align: center;">   <b>CIATEQ</b>  <small>Centro de Tecnología Avanzada</small> </div> <p style="font-size: small;">CIRCUITO DE LA INDUSTRIA PTE. No. 11 Mz. 3 No. 11,          PARQUE INDUSTRIAL EX HACIENDA DOÑA ROSA,          LERMA ESTADO DE MÉXICO C.P. 52004          Tel. (52) 722 262 0750 Ext. 3021</p> <p style="font-size: x-small;">TODA LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE          DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CIATEQ / ASEPRO          ECOLOGÍA Y QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN EN          FORMA PARCIAL O TOTAL SIN LA AUTORIZACIÓN POR          ESCRITO DE CIATEQ / ASEPRO ECOLOGÍA</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">www.ciateq.mx</p>
<b>DIBUJO ELABORADO EN: QUERÉTARO</b>		

<b>DIBUJÓ</b>			"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA PILOTO INTEGRAL DE 230,000 L/AÑO DE BIODIESEL CON CULTIVO SUSTENTABLE ACCELERADO DE MICROALGAS, FASE 1: PRODUCCIÓN DE BIOMASA" <b>PARQUE INDUSTRIAL DE TABASCO BUSINESS CENTER CUNDUACÁN TABASCO</b>			
<b>PROY.</b>			<div style="font-size: small;">TUBERÍAS</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">ARREGLO GENERAL DE REACTOR</div> <div style="font-size: 1.5em; font-weight: bold;">DE CRECIMIENTO FBR-02</div>			
<b>REVISÓ</b>						
<b>COORD.</b>						
<b>APROB.</b>						
<b>No. PROY.:</b>			<b>FECHA:</b> _____	<b>PLANTA:</b> _____	<b>PLANO No.</b> _____	<b>REV.</b>
			<b>ESCALA:</b> _____	<b>ACOTACIONES:</b> _____		

*Fig. 73. Acercamiento del contenido del el pie de plano para el fotobiorreactor.*



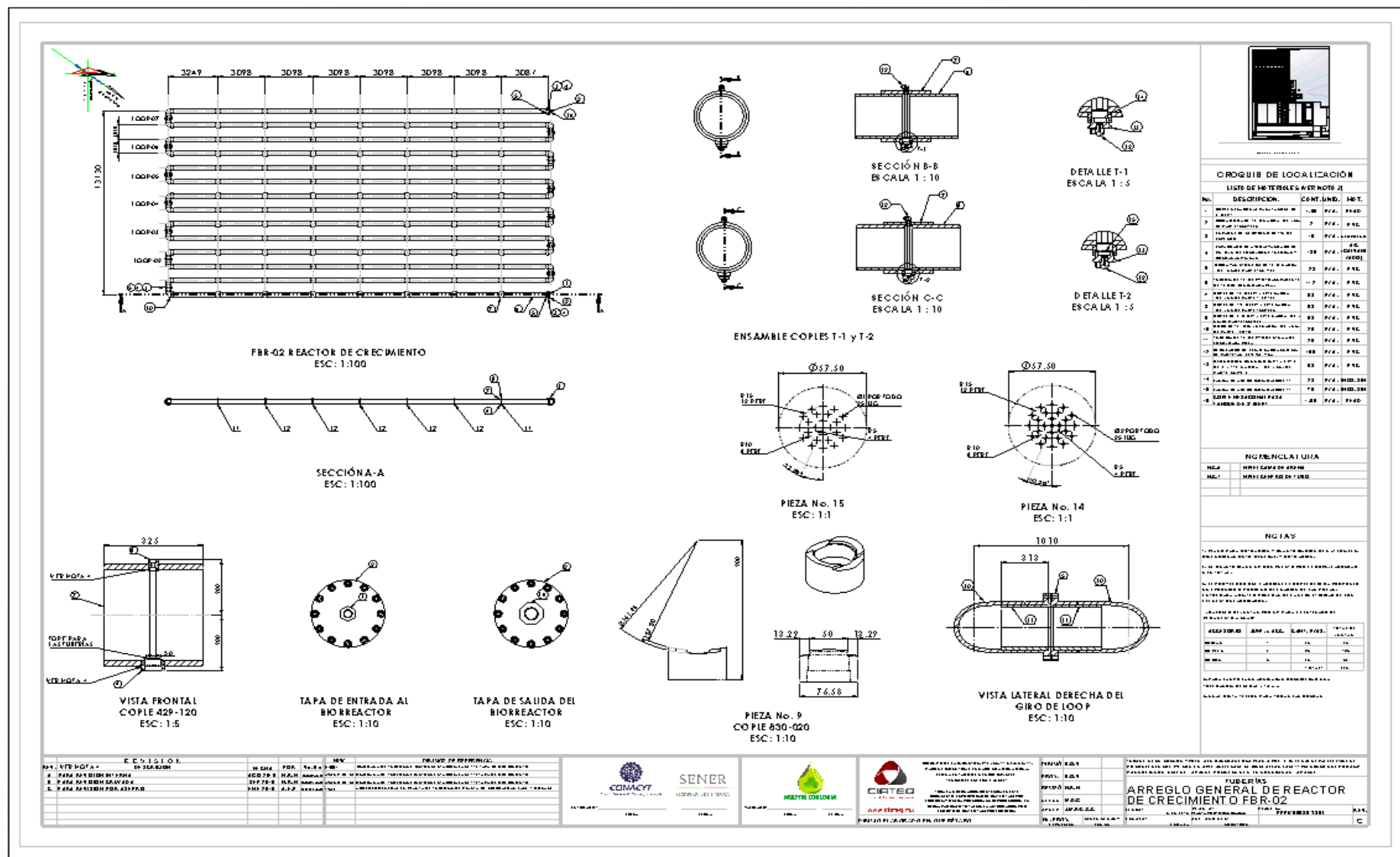


Fig. 75. Plano de construcción del fotobiorreactor FBR-02, mostrando a detalle las medidas de cada accesorio utilizado para su construcción.



En la fig. 75. Se puede observar el plano de construcción del fotobiorreactor, este plano servirá de ayuda para realizar algún mantenimiento futuro, como se mencionó con anterioridad, así mismo, se observa que el plano contiene la especificación de los accesorios con los que cuenta el fotobiorreactor, a su vez cuenta con sus dimensiones, vistas de detalle, vistas de corte y las modificaciones que tienen algunos accesorios y la ubicación de estos.

### 5.3 Diseño paramétrico

De acuerdo a Hurtado (63), el diseño paramétrico permite que el proceso de creación del modelo sea más dinámico, ya que facilita la introducción de cambios en cualquier momento del proceso de diseño, a su vez, este permite localizar errores dimensionales de manera más sencilla, a través de una trazabilidad entre parámetros (63). Las herramientas de parametrización se utilizan para asociar parámetros entre sí, dentro de una misma pieza o entre diferentes piezas de un conjunto, de manera que la modificación de un parámetro se refleja automáticamente en todos los parámetros (63).

Ventajas del diseño paramétrico:

- Facilita la introducción de cambios y ajustes en el diseño.
- Facilita la división del trabajo y a la vez, la asistencia en el proceso de diseño.
- Se previenen errores debido a una mala interpretación del diseño, por ejemplo el proceso de diseño paramétrico requiere de un análisis de requisitos y una serie de tomas de decisiones, conectados con las relaciones entre parámetros, bastante rigurosos previos a la construcción del modelo, si se tiene claro desde el principio se este error ya no se comete.

El diseño paramétrico, por su filosofía de jerarquizar y relacionar dimensiones, puede facilitar el cálculo de ajustes y agrupaciones de tolerancias, incorporando este análisis al proceso concurrente de diseño y potenciando el armado de los accesorios modelados. Al racionalizar el diseño (63)

## 5.4 Parametrización de accesorios en SolidWorks

Para llevar a cabo la parametrización será necesario el realizar una tabla de diseño la cual nos permitirá construir múltiples configuraciones para los accesorios que se utilizaran, especificando parámetros en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

La tabla de diseño se guardará dentro del archivo del modelo, la cual no estará vinculada al archivo de Excel original, es decir que las modificaciones que se lleguen a realizar en el modelo no se reflejan en el archivo de Excel.

Para los accesorios se pueden controlar los siguientes elementos de la tabla:

- Las cotas y el estado de supresión de las operaciones
- Las propiedades de configuración, incluidos el número de pieza en una lista de materiales, las configuraciones derivadas, las relaciones de croquis, los comentarios y las propiedades personalizadas.

**Tabla 6** Accesorios que requieren de parametrización.

No.	ACCEORIOS	PARAMETRIZACIÓN	
		SI	NO
1	Cople hexagonal pasa tanque de 2" ØFPT		x
2	Brida ciega de 12" Ø	x	
3	Empaque de neopreno de ½" de espesor	x	
4	Espárrago de A/C galvanizado de 7/8" Ø x 6" de long. con 2 tuercas y 2 rondanas planas	x	
5	Brida Van Stone (s) de 12" Ø	x	
6	Tubería de 12" de PVC transparente de 10 ft de long. cada pieza	x	
7	Cople de 12" Ø (S x S)	x	
8	Cople de ½" Ø (FPT x FPT)		x
9	Cople de 2" Ø (FPT x FPT)		x
10	Codo de 12" Ø (S x S)	x	
11	Tubería de 12" Ø (S x S) de PVC de 313 mm de long.	x	
12	Regulador de flujo		x
13	Reducción Bushing ( MPT x MPT) de 2" x ½ "		x
14	Lámina de acero inoxidable calibre 11		x
15	Lámina de acero inoxidable calibre 11		x
16	Cople hexagonal pasa tanque de 3" ØFPT		x

Fuente: *propia*

En la tabla 6 se observa que hay algunos accesorios que no se van a parametrizar debido a que el diseño cuenta con restricciones de dimensiones en las entradas y salidas que tendrá el fotobiorreactor.

Para saber que diámetros serían los indicados utilizar para realizar la parametrización se contempló lo siguiente:

- **Diámetros de las tuberías.** Los diámetros que se utilizan en la tubería de PVC, son los que se muestran en la siguiente tabla, los diámetros van desde ½" hasta 12".

*Tabla 7 Tabla para diámetros de tubería.*

Diámetro nominal		Diámetro exterior	Diametro interior
Pulgadas	mm	mm	mm
½"	13	21.3	15.8
¾"	19	26.7	23.5
1"	25	33.4	30.4
1 ¼"	32	42.2	38.9
1 ½"	38	48.3	43.9
2"	50	60.3	55.2
2 ½"	60	73.0	66.9
3"	75	88.9	81.6
4"	100	114.3	105.0
6"	150	168.3	154.5
8"	200	114.3	201.3
10"	250	273.1	240.9
12"	300	323.9	285.8

- **Diámetros de las entradas y salidas del FBR-02.** Se debe contemplar el diámetro de 2" ya que es el diámetro estándar para la entrada al fotobiorreactor, así como también la salida del fotobiorreactor de 3", (la entrada de 2" va conectado a un tanque TV-03 y la salida de 2" va a conectado a una bomba de diafragma) por lo cual no se contemplara los diámetros menores de 3".

Diámetro nominal		Diámetro exterior	Diametro interior
Pulgadas	mm	mm	mm
4"	100	114.3	105.0
6"	150	168.3	154.5
8"	200	114.3	201.3
10"	250	273.1	240.9
12"	300	323.9	285.8

- Los diámetros se contemplaran menores de las 12" ya que el FBR-02 es el diámetro principal, y solo se elegirá hasta las 6" ya que dentro de la planta piloto habrá un fotobiorreactor de 6".

Diámetro nominal		Diámetro exterior	Diametro interior
Pulgadas	mm	mm	mm
6"	150	168.3	154.5
8"	200	114.3	201.3
10"	250	273.1	240.9
12"	300	323.9	285.8

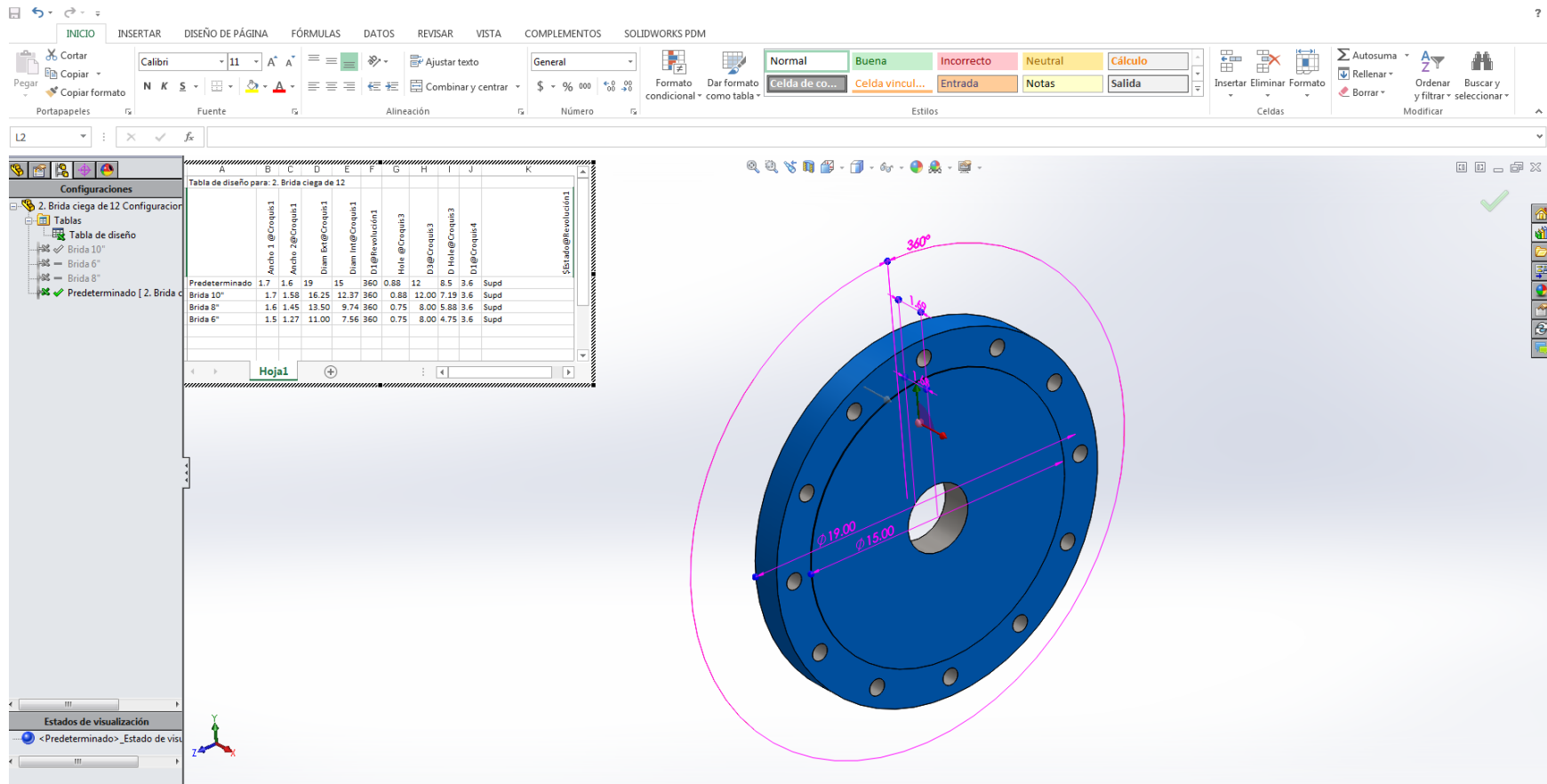
Después de contemplar lo anterior, se eligieron los diámetros de 10", 8" y 6", para realizar la parametrización de los accesorios que se eligieron con anterioridad.

Al llevar a cabo la parametrización se optimizo el diseño de fotobiorreactores de diferentes diámetros, realizando una parametrización en los accesorios de acuerdo a los diámetros de 10", 8" y 6", optimizando también el tiempo de ensamble del fotobiorreactor.

A continuación se presentan los accesorios que fueron parametrizados en SolidWorks.

## 5.4.1 Parametrización de Brida ciega 12".

**Fig. 76** Parametrización de Brida Ciega.



Fuente: Propia

En la figura 76, se muestra una parametrización de una brida en la cual se manejan los diámetros 6", 8", y 10".

## 5.4.2 Parametrización de brida van stone.

Fig. 77. Parametrización de brida Van Stone (fuente propia).

Tabla de diseño para: S. Brida vs 12

	Dia Ext@Croquis1	Dia Int@Croquis1	Corte @Croquis1	Saliente @Croquis1	Corte Int @Croquis1	Ancho 2@Croquis1	Ancho 1@Croquis1	D Int 1@Croquis1	D Int 2@Croquis1	D1@Revolución1	D Int@Croquis2	Hole @Croquis2	D1@Croquis2	Estado@Revolución1
Predeterminado	19	15.1724	5.68799	4.9002	6.12992	1.7299	1.78992	14.2208	12.75	360	8.5	0.88	12	Supd
Bvs 10"	16.00	12.70	4.78	3.84	5.13	1.73	1.79	12.03	10.75	360	7.19	0.88	12.00	Supd
Bvs 8"	13.50	10.35	4.19	2.84	4.13	1.73	1.79	9.70	8.63	360	5.88	0.75	8.00	Supd
Bvs 6"	11.00	8.16	3.19	2.17	3.02	1.27	1.33	7.56	6.63	360	4.75	0.75	8.00	Supd

Hoja1

Estados de visualización

<Predeterminado> Estado de vis

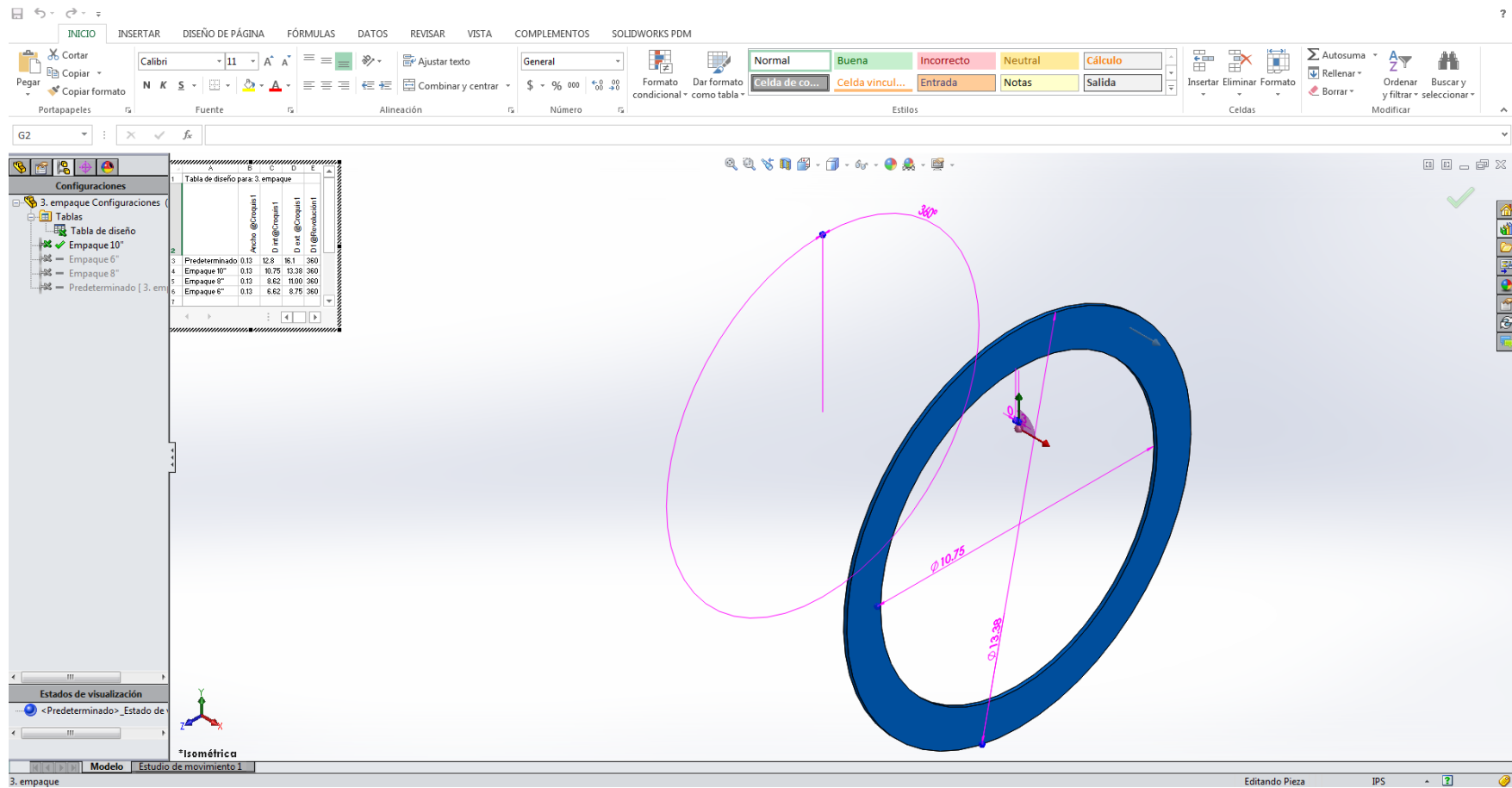
\*Isométrica

Diámetro: 14.22pulgadas Editando Pieza IPS

Fuente: Propia

#### 5.4.3 Parametrización de empaque de neopreno de 1/8"

**Fig. 78.** Parametrización de empaque.

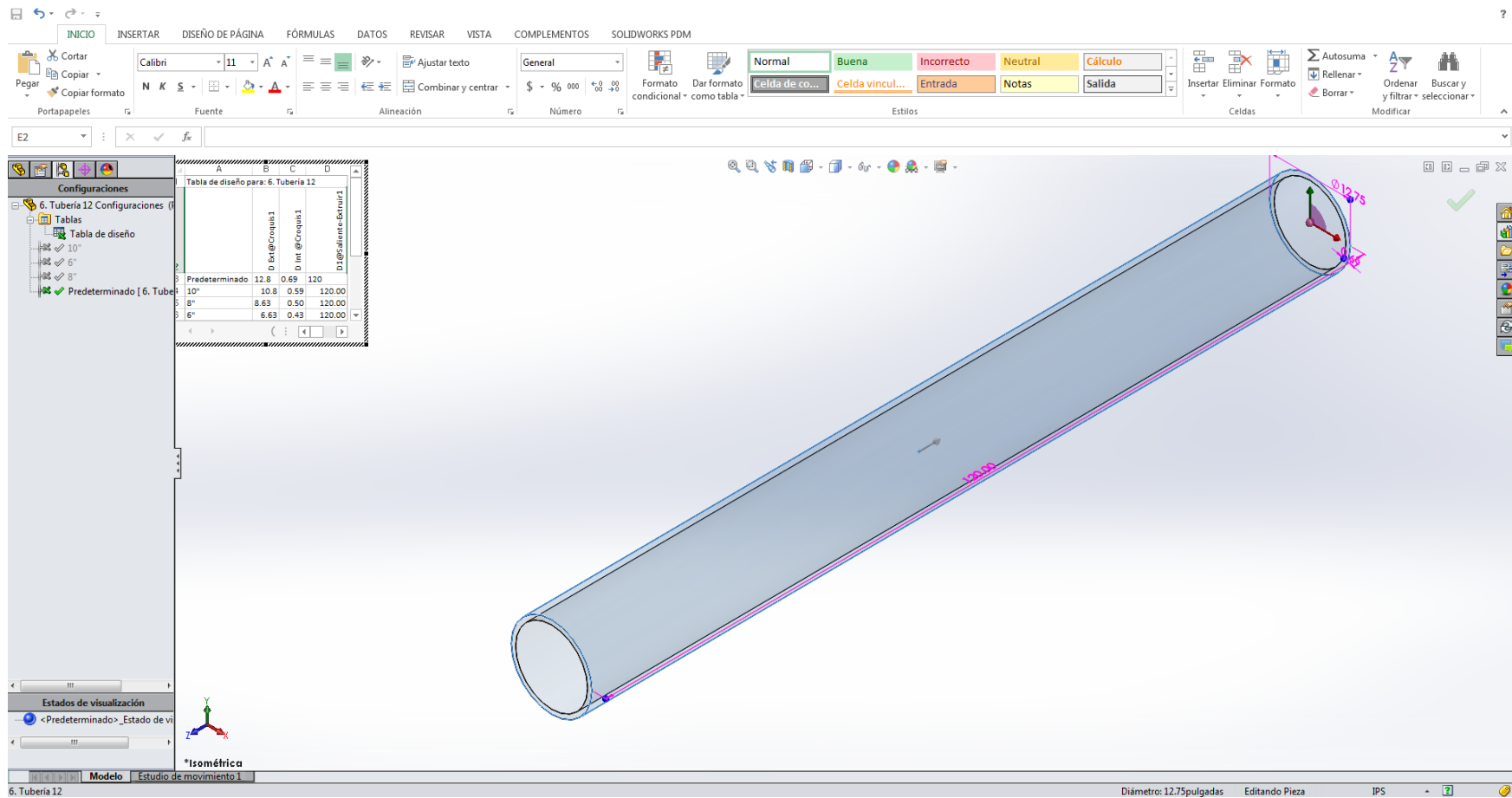


Fuente: propia



#### 5.4.4 Parametrización de Tubería de 12" de PVC de 10ft de longitud.

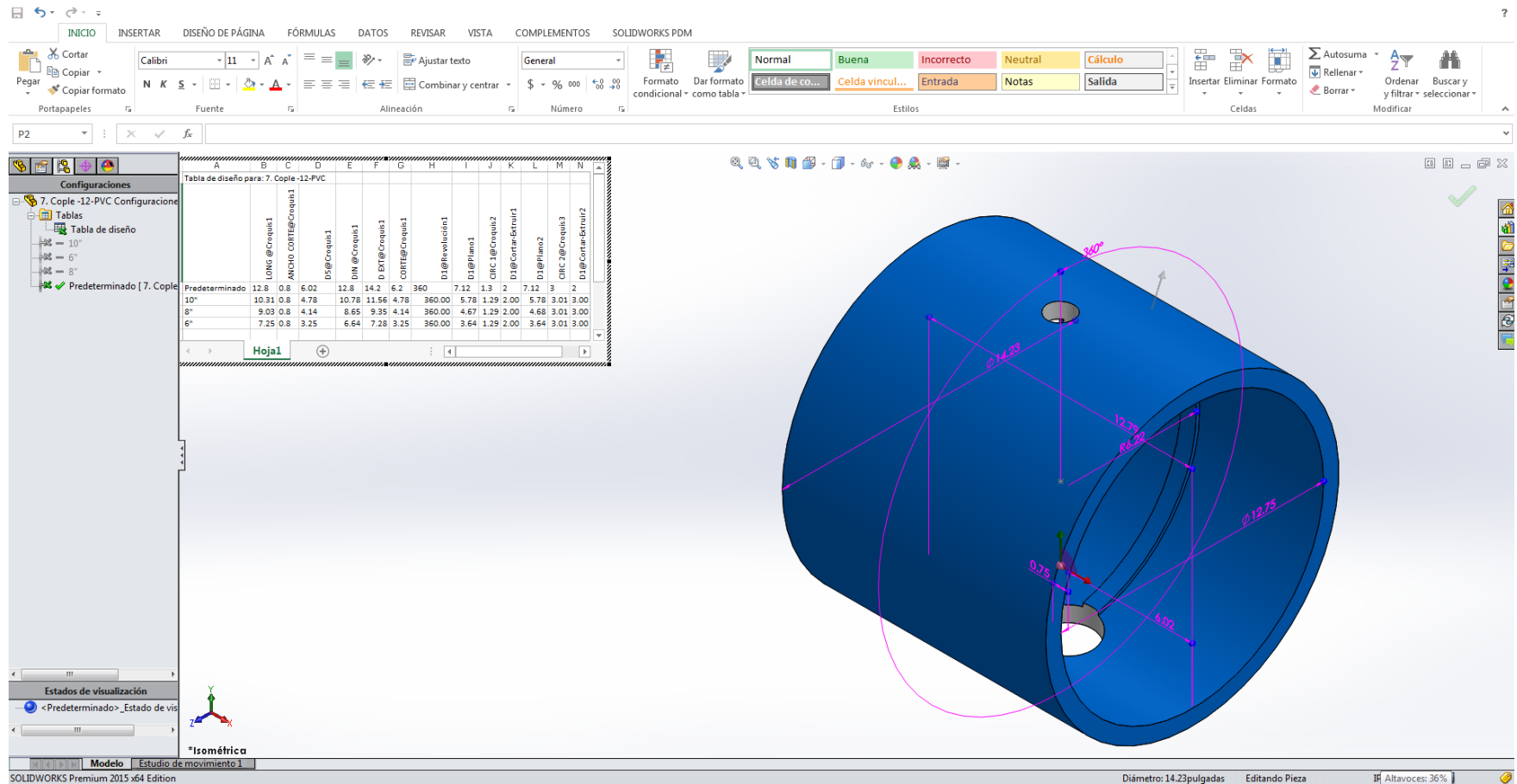
*Fig. 79. Parametrización de tubería de 12".*



Fuente: propia

## 5.4.5 Parametrización de Cople 12" Ø.

Fig. 80. Parametrización de cople de 12".



Fuente: propia

## 5.4.6 Parametrización de Codo de 12”.

**Fig. 81.** Parametrización de codo de 12”.

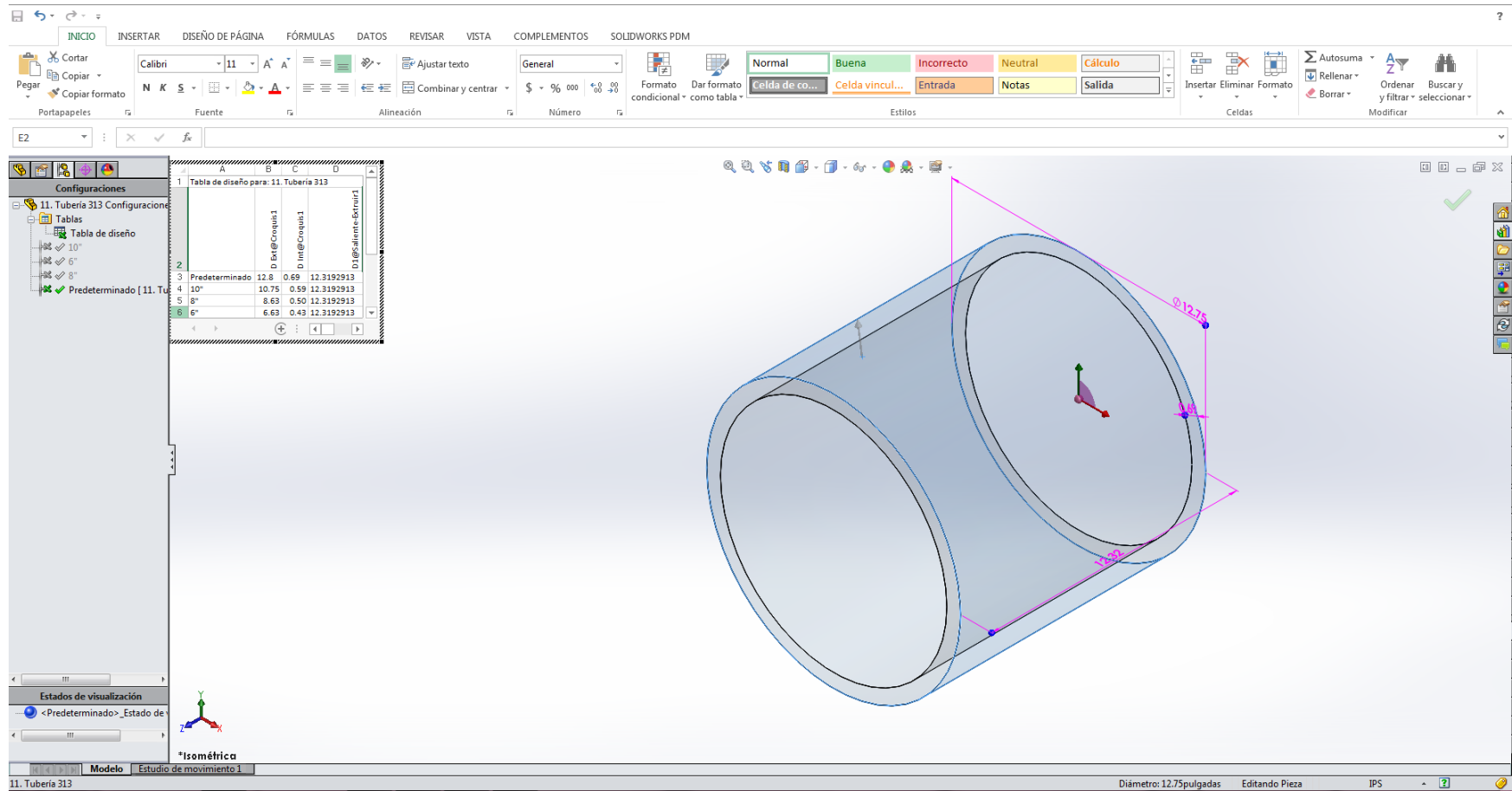
The screenshot displays the SolidWorks software interface for parametrizing a 12-inch elbow. The top ribbon includes tabs for INICIO, INSERTAR, DISEÑO DE PÁGINA, FÓRMULAS, DATOS, REVISAR, VISTA, COMPLEMENTOS, and SOLIDWORKS PDM. The left sidebar shows the 'Configuraciones' (Configurations) tree with '10. codo de 12 Configuraciones' selected. Below it, the 'Tablas de diseño' (Design Tables) section shows a table titled 'Tabla de diseño para: 10. codo de 12'. The table contains parameters for different elbow configurations, including 'Codo 10"', 'Codo 8"', and 'Codo 6"', with columns for 'Radio Principal @Croquis4', 'Largo @Croquis4', 'Diametro Ext @Croquis5', 'Diam de Corte @Croquis5', 'Diametro Interior 1 @Croquis6', 'D1 @Cortar-Extnr1', 'Diametro Interior 2 @Croquis8', and 'D1 @Cortar-Extnr2'. The 3D model on the right shows a blue elbow with dimensions like R27.11 and 5.05, and a green checkmark indicating successful parametrization.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Tabla de diseño para: 10. codo de 12								
2									
3	Codo 10"	6.07	5.57	12.03	10.32	10.75	5.02	10.75	5.02
4	Codo 8"	4.89	4.43	9.70	8.38	8.63	4.09	8.63	4.09
5	Codo 6"	3.83	3.40	7.56	6.25	6.63	3.02	6.63	3.02

Fuente: propia

## 5.4.7 Parametrización de Tubería de 12" Ø de 313mm de longitud.

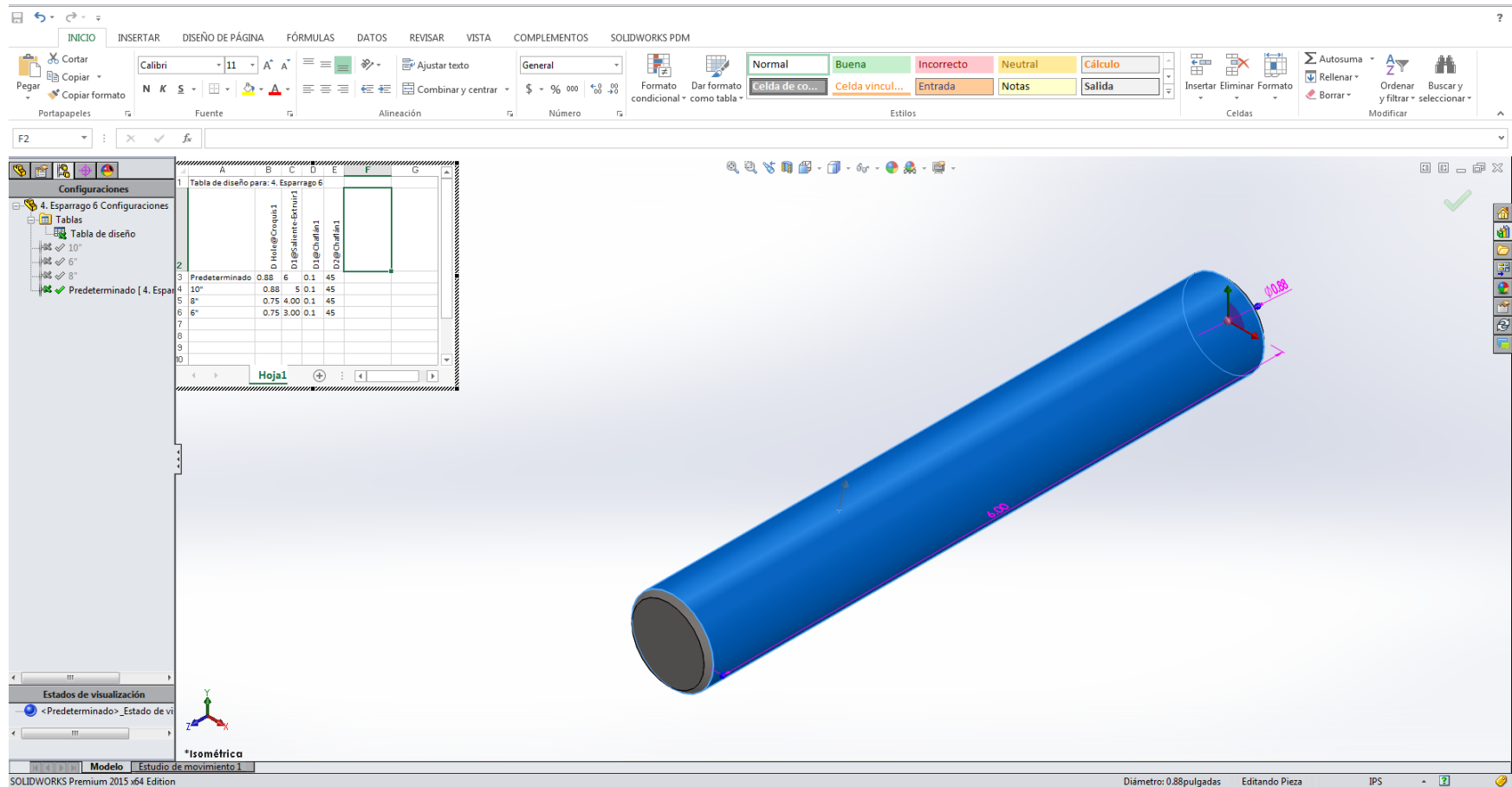
**Fig. 82.** Parametrización de tubería de 313 mm de longitud



Fuente: propia

## 5.4.8 Parametrización de esparrago.

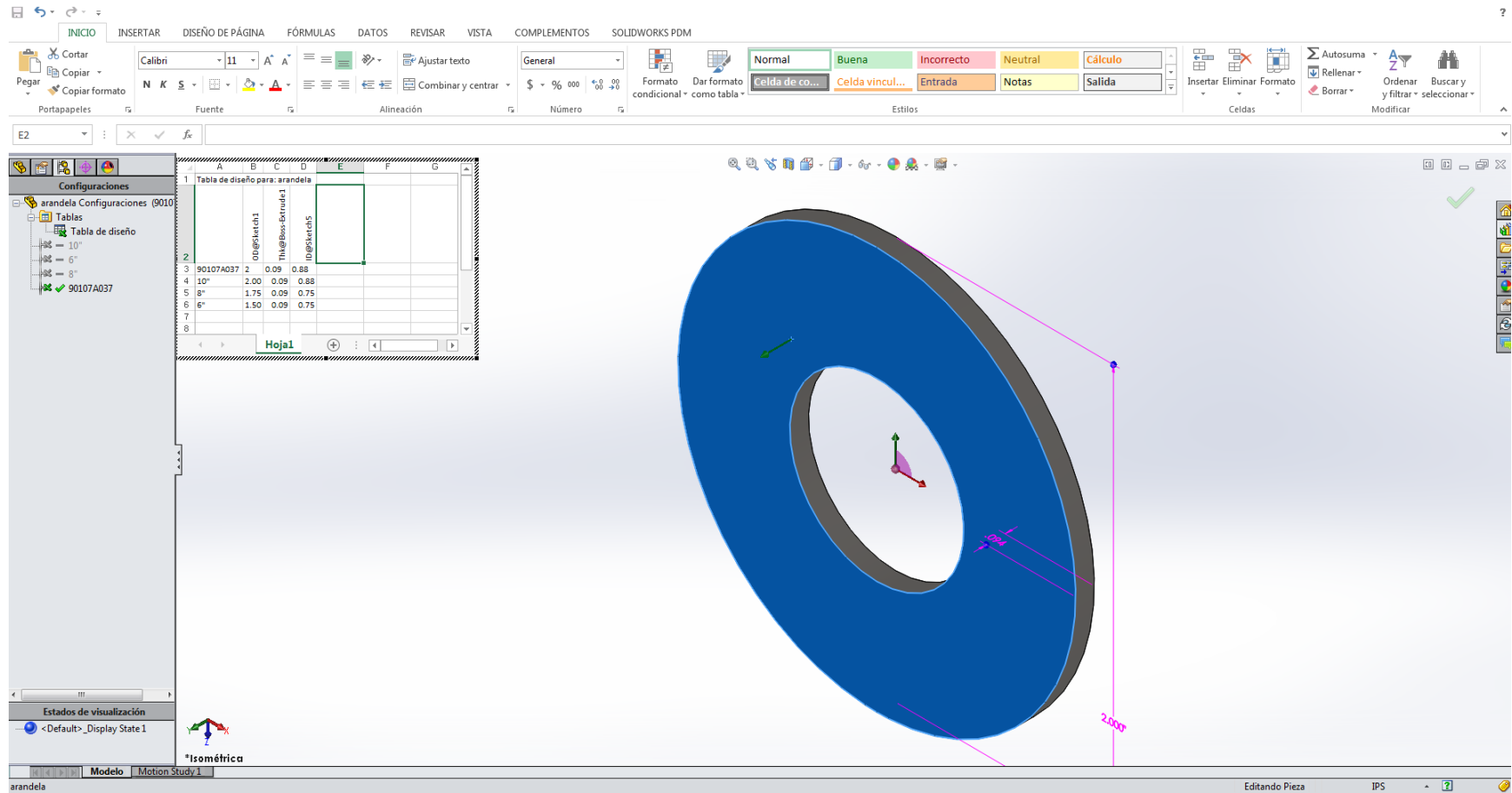
*Fig. 83. Parametrización de esparrago.*



Fuente: propia

## 5.4.9 Parametrización de arandela.

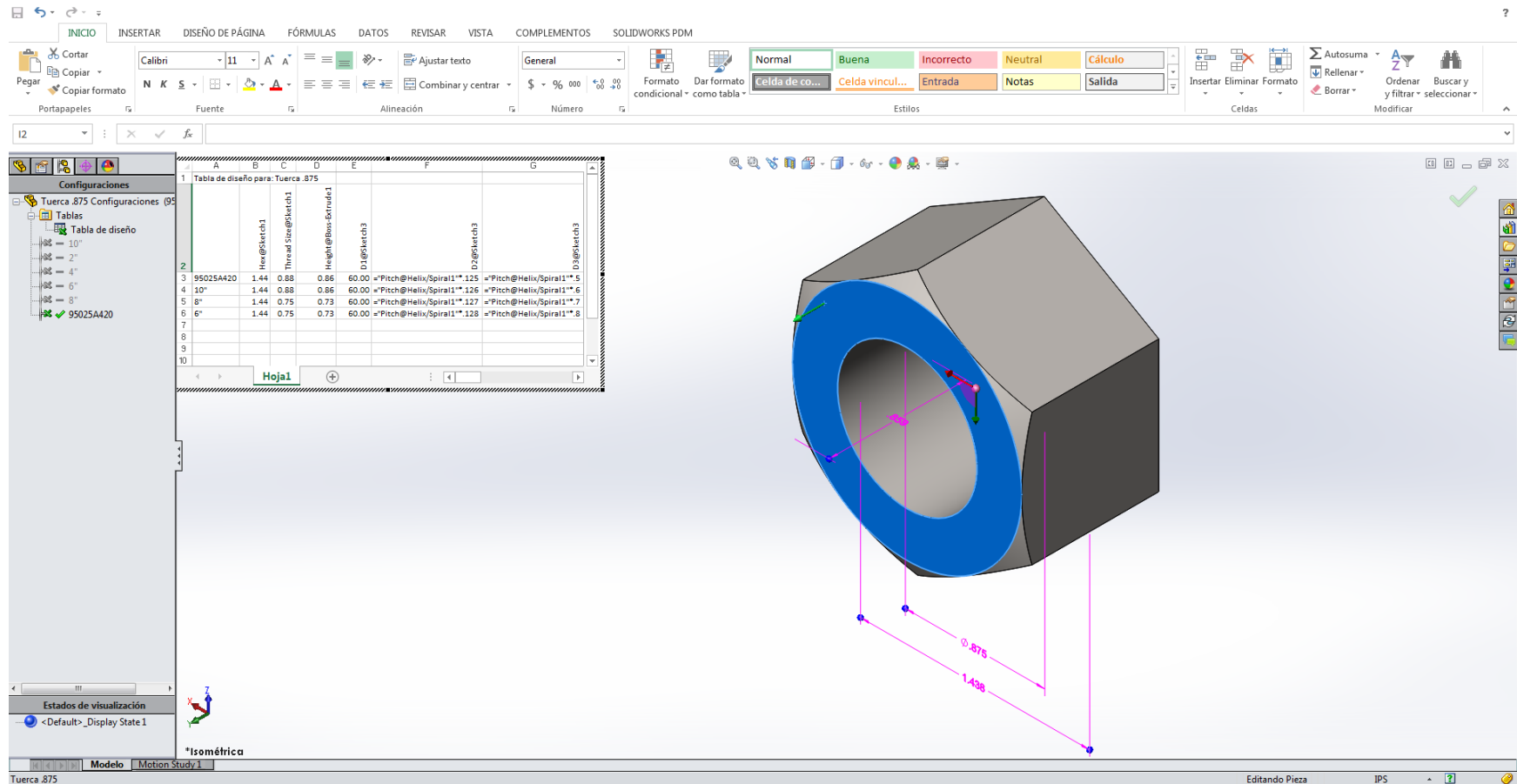
*Fig. 84 Parametrización de arandela.*



Fuente: propia

## 5.4.10 Parametrización de tuerca.

Fig. 85. Parametrización de tuerca.



Fuente: propia

Al llevar a cabo la parametrización evito que se volvieran a modelar los accesorios en tres diferentes diámetros, también reduce el tiempo en el ensamble del fotobiorreactor como se muestra a continuación.

## 5.5 Análisis comparativo del resultado de la parametrización en FBR-02

Una vez que se realizó la parametrización de: brida ciega, arandela, esparrago, tubería de 313mm, codo, cople, tubería de 20ft, empaque, brida van stone, y brida ciega, se ejecutaron 3 fotobiorreactores más con el fin de realizar un análisis de volumen y longitud de los fotobiorreactores de los diámetros de 10", 8" y 6".

Para llevar a cabo el cálculo del volumen del fotobiorreactor, se determinó de manera particular para cada sección del tubo utilizando la siguiente relación (64):

$$V = \pi L r^2$$

Donde:

V= Volumen.

L= Longitud de la tubería.

$\pi$ = 3.1416.

R= Radio de la tubería.

Los resultados se muestran en la tabla 8.

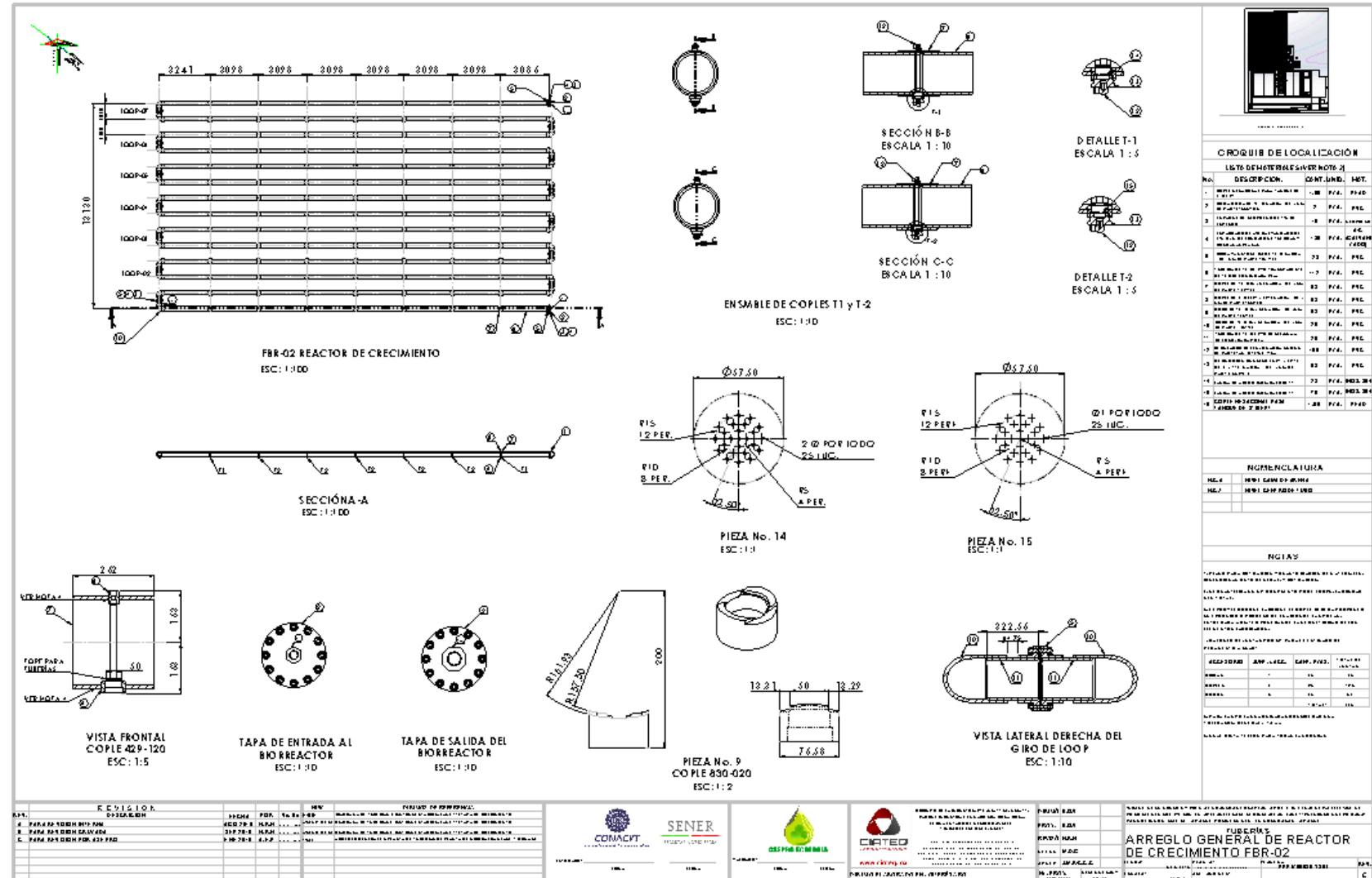
Fotobiorreactor	Longitud	Diametro	Volumen	
	m		m³	L
12"	362.066	0.28895	23.74	23,740
10"	361.066	0.24293	16.64	16,640
8"	361.450	0.19368	10.56	10,560
6"	361.072	0.14633	6.07	6,070

**Tabla 8** capacidad volumétrica estimada para el FBR utilizando diferentes diámetros.

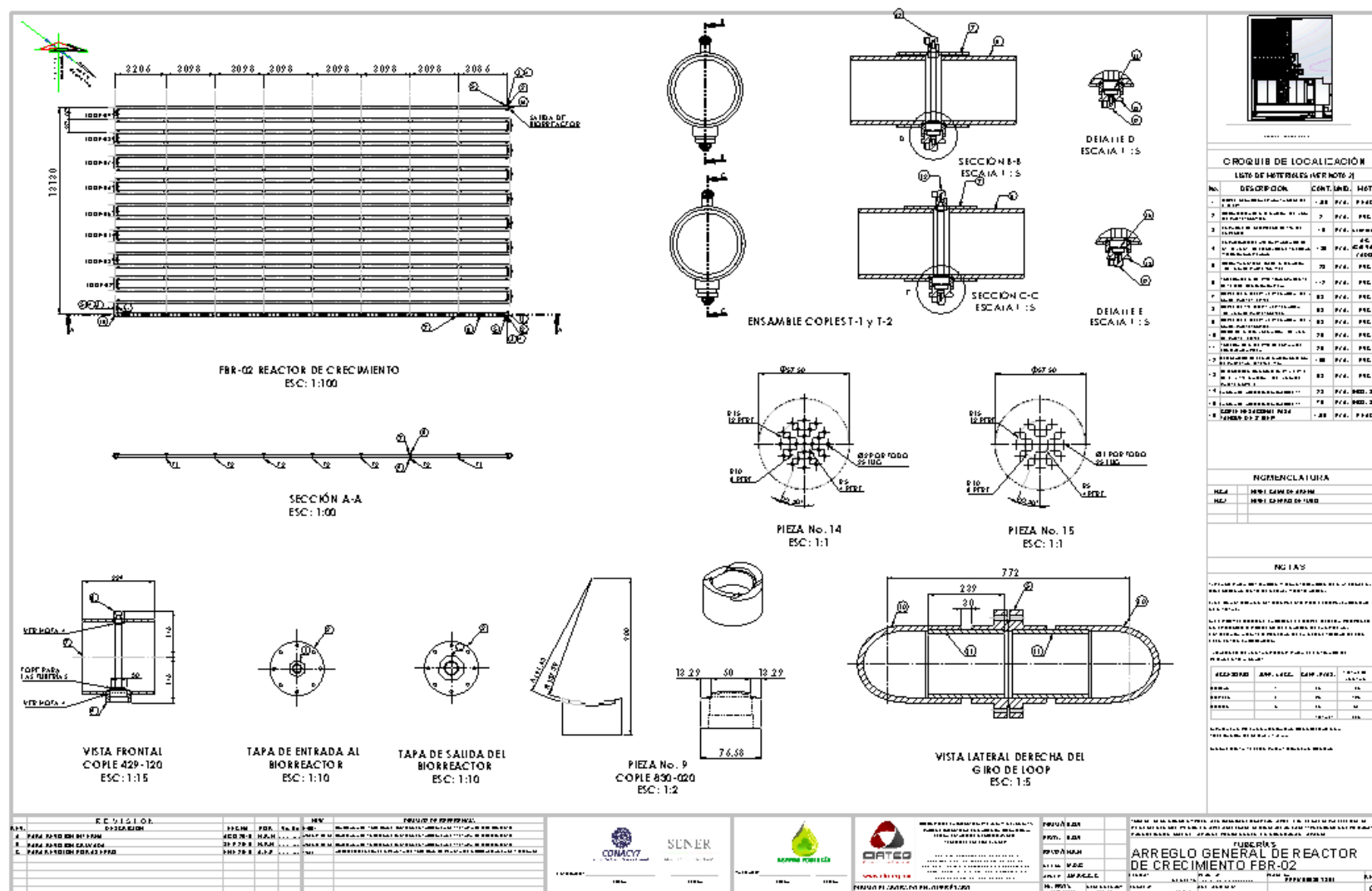
El contenido de la tabla anterior, muestra la longitud total del fotobiorreactor y el diámetro interior de cada tubo con el número de cédula correspondiente de los diferentes fotobiorreactores así como también el volumen se calculó en base a la formula ya antes mencionada.



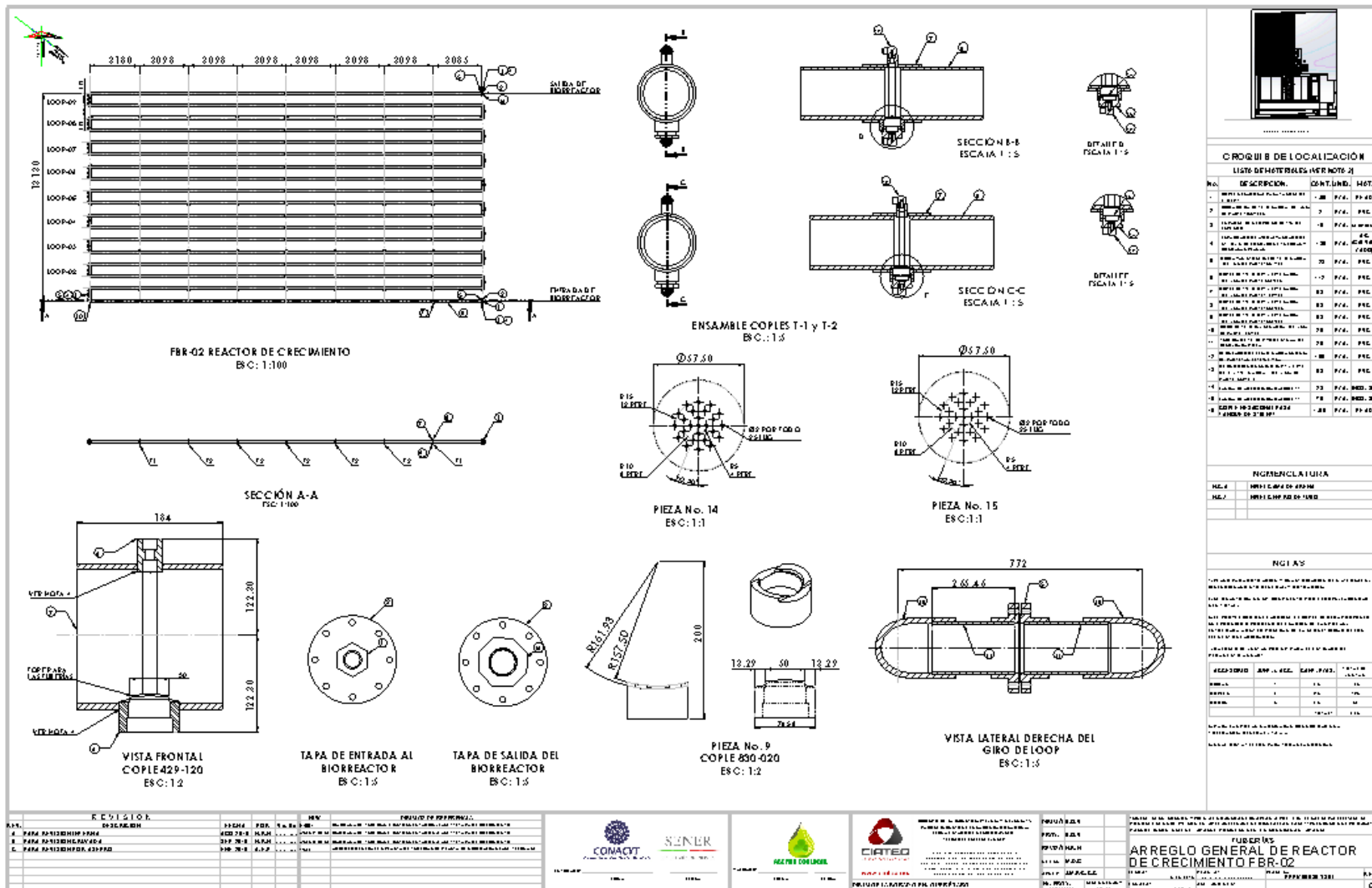
**Fig. 86** Plano de construcción del fotobiorreactor de 10" con accesorios parametrizados.



**Fig. 87** Plano de construcción del fotobiorreactor de 8", con accesorios parametrizados.



**Fig. 88** Plano de construcción del fotobiorreactor de 6", con accesorios parametrizados



## CONCLUSIONES

---

Por medio de este trabajo de investigación se pudo realizar el procedimiento de la ingeniería de detalle, en el diseño y construcción de un fotobiorreactor, mediante la utilización del software SolidWorks, el cual fue de mucha ayuda gracias a su facilidad de manejo y operación del mismo; brindando un fácil aprendizaje y manipulación debido a esto, con este software se logró modelar cada uno de los accesorios del fotobiorreactor, simplificando el ensamble general y creando así el arreglo de tubería.

Una vez que se obtuvo el arreglo de tubería, se logró establecer el proceso de construcción del fotobiorreactor; mediante el modelado de las diferentes partes o accesorios que lo componen, llevando a cabo la elaboración del plano maestro requerido por la empresa ASEPRO ECOLOGÍA.

Las limitaciones que hubo en la presente investigación fue la obtención de la información correspondiente ya que está considerada confidencial como lo fueron los planos de ingeniería civil, los costos que se generarían en la compra de cada accesorio de tubería así como la implementación del mismo.

Como aportación a este trabajo de investigación se realizó una parametrización de los accesorios (codos, bridas, empaques, coples, espárragos, tuercas y tubería) mediante SolidWorks, simplificando operaciones en el modelado, logrando una optimización en la ingeniería de detalle de los fotobiorreactores con diferentes diámetros de tuberías, contemplando su diámetro nominal (6, 8 y 10 pulgadas) y longitud total. Finalmente cabe mencionar que este trabajo de investigación ha sido un desarrollo largo y complicado y no ha estado exento de problemas, por una planificación inicial no muy clara aunándole la poca experiencia en cuanto a la utilización del software y manejo del software. Por lo cual se sugiere una capacitación previa para la manipulación del software.

La investigación realizada deja la opción para utilizarse en la temática de la producción del biodiesel a través de la microalga así como también el manejo del software SolidWorks.

## REFERENCIAS

---

1. **Ramírez, L.** Fotobiorreactor: Herramienta para el Cultivo de Cianobacterias. [En línea] 2012. [Citado el: 6 de Nov. de 2016.]
2. **Mercedes B, et al.** Biotecnología para la Producción de Energía. [En línea] 03 de Abr. de 2014. [Citado el: 15 de Dic. de 2016.] <http://www.madrimasd.org/informacionidi/analisis/opinion/opinion.asp?id=59998>.
3. **Pacheco, J.** ACADEMIA. *Ingeniería de Detalle*. [En línea] 2015. [Citado el: 1 de Ago. de 2016.] [https://www.academia.edu/8132943/TEMA\\_4\\_INGENIER%C3%8DA\\_DE\\_DETALLE](https://www.academia.edu/8132943/TEMA_4_INGENIER%C3%8DA_DE_DETALLE).
4. **Sirabonian N, et al.** Documentación de proyecto. *Ingeniería de Detalle*. [En línea] [Citado el: 13 de Nov. de 2016.] <http://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/sispot/Libros%202007/libros/et/et-06/et-060.htm>.
5. **GERS.** Ingeniería de Detalle. [En línea] 2014. [Citado el: 22 de Ago. de 2016.]
6. **ConsulSteel.** ¿Qué es una Ingeniería de Proyecto o Ingeniería de Detalle? [En línea] Consultores en Steel Framing, 2012. [Citado el: 22 de Jul de 2016.] <http://consulsteel.com/que-hacemos/que-es-una-ingenieria-de-detalle/>.
7. **Anónimo.** Planeación y Programación de Proyectos. [En línea] 2010. [Citado el: 22 de Jul. de 2016.] <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/681/Capitulo5.pdf>.
8. **PESA Medio Ambiente.** [En línea] 2015. [Citado el: 10 de Octubre de 2016.] <http://www.pesa-ma.com/index.php/es/lineas-de-negocios/ingenieria-es/ingenieria-de-detalle>.
9. **Ríos Ocampo, B.** BlogsPot. *Dibujo Técnico Tipos de Planos*. [En línea] 2012. [Citado el: 3 de Ago. de 2016.] [http://dttiposdeplanos.blogspot.mx/..](http://dttiposdeplanos.blogspot.mx/)
10. **Ingeniería Rural.** Los planos. [En línea] Septiembre de 2009. [Citado el: 3 de Ago. de 2016.] <http://www.ingenieriarural.com/AsignaturaProyectos/Tema%207.pdf>.
11. **Millán, Diego Algaba.** *Certificado de Profesionalidad. TMVG0109- Operaciones auxiliares de Mantenimiento en Electromecánica de Vehículos*. s.l. : IC Editorial, 2013.
12. **Cañete, Oscar G.** Blogspot.mx. [En línea] 12 de Feb. de 2014. [Citado el: 2016 de Oct. de 15.] <http://oscargcanete.blogspot.mx/2014/02/proyecto-catia-v5-de-manuel-ramon-ponce.html>.
13. **Carrascoo, Carlos.** Almacén de Diseño y Delineación. *blogspot*. [En línea] 6 de Feb. de 2015. [Citado el: 10 de Nov. de 2016.] <http://carrascodelineacion.blogspot.mx/2016/06/tijeras-plano-acotacion-montaje-y-vista.html>.

14. **Blogspot.** Dibujo Arquitectónico . [En línea] 9 de May. de 2012. <http://dibujoarquitectonicoieti.blogspot.mx/2012/05/dibujos-de-detalles-el-dibujo-de.html>.
15. **DIBUJO TECNICO.** Dibujo Técnico. [En línea] Mar. de 2016. [Citado el: 10 de Mar. de 2017.] <http://www.dibujotecnico.com/formatos-normalizados/>.
16. **Imagen Digital.** Formato de papel A (DIN A o ISO A). [En línea] 13 de May. de 2015. [Citado el: 16 de Oct. de 2016.] [http://www.gusgsm.com/el\\_formato\\_de\\_papel\\_a\\_din\\_a\\_o\\_iso\\_a](http://www.gusgsm.com/el_formato_de_papel_a_din_a_o_iso_a).
17. **J., Altemir.** Normalización en Dibujo Técnico. [En línea] Ago. de 2013. [Citado el: 12 de Nov. de 2016.] [http://www.cps.unizar.es/~altemir/descargas/Dibujo%20Industrial/Tema3\\_1.pdf](http://www.cps.unizar.es/~altemir/descargas/Dibujo%20Industrial/Tema3_1.pdf).
18. **Tecnología.** Formatos de Papel. [En línea] [Citado el: 24 de Oct. de 2016.] <http://www.areatecnologia.com/Formatos%20papel%20dibujo%20tecnico.htm>.
19. **Ortega, A.** Tuberías y Accesorios Industriales. *Tesis de Grado, Universidad Veracruzana.* [En línea] 2014. [Citado el: 13 de Ago. de 2016.] <http://cdigital.uv.mx/bitsream/123456789/35778/1/ortegamoranantonio.pdf>.
20. **Ingeniería Rural.** Conducciones Forzadas. *Materiales de Tuberías.* [En línea] 2014. [Citado el: 15 de Sep de 2016.] [http://www.ingenieriarural.com/Trans\\_hidr/Tema4.PDF](http://www.ingenieriarural.com/Trans_hidr/Tema4.PDF).
21. **Domínguez, E.** Práctica Empresarial. *Estandarización en el Proceso de Selección y Especificación de Materiales en Tuberías y Accesorios Utilizando el Programa Puma 5 en la Compañía Tipliel S.A.* Bucaramanga : s.n., 2010.
22. **QuimiNet.** La Fabricación y la Cédula de los Tubos de Acero. [En línea] 13 de Octubre de 2011. [Citado el: 10 de Ago. de 2016.] <https://www.quiminet.com/articulos/la-fabricacion-y-la-cedula-de-los-tubos-de-acero-2588254.htm>.
23. **Redes de Abastecimiento de Agua.** Materiales en las Tuberías. [En línea] 2013. [Citado el: 13 de Ago. de 2016.] <http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/redes/modulos/Libros/unidad%202/tuberias.PDF>.
24. **Islas, J.** Tesis Profesional. *Concepto para el Desarrollo Básico de Arreglos de Tuberías en Plantas Industriales Bajo la Norma ASME/ANSI.* México : s.n., 2009.
25. **TUBERÍAS VISA.** Bridas. [En línea] 24 de Julio de 2010. [Citado el: 1 de Sep de 2016.] [http://www.tuberiasvisa.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=71&Itemid=73](http://www.tuberiasvisa.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=71&Itemid=73).
26. **Bipetrol.** Fabricación y Comercialización de Bridas Industriales. [En línea] 2007. [Citado el: 1 de Sep de 2016.] <http://www.bripetrol.com.ar/bridas.html>.
27. **Metalistería.** Tubería y Soldadura. *Blog.* [En línea] 2008. [Citado el: 7 de Sep. de 2016.] <http://tuberiaysoldadura.blogspot.mx/2008/02/los-codos-los-codos-son-accesorios-de.html>.

28. **PEMEX.** NRF-032. *Sistemas de Tuberías en Plantas Industriales, Diseño y Especificaciones de Materiales.* 2012.
29. **Industrial Soucing.** Gestión de Compras. *Accesorios de Tubería.* [En línea] 2015. [Citado el: 5 de Sep. de 2016.] <http://www.gestiondecompras.com/es/productos/equipamientos-de-acerias-caldereria-y-accesorios-de-tuberia/accesorios-de-tuberia>.
30. **Caroli, J.** monografías. *Válvulas.* [En línea] 2012. [Citado el: 8 de Sep. de 2016.] <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>.
31. **González , A.** Flujo de Fluidos en Fase Líquida: Tubos, Válvulas y Accesorios. [En línea] 10 de Diciembre de 2013. [Citado el: 20 de Sep. de 2016.] [https://operaciones1.files.wordpress.com/2009/05/g-tubos\\_tuberias\\_y\\_accesorios.pdf](https://operaciones1.files.wordpress.com/2009/05/g-tubos_tuberias_y_accesorios.pdf).
32. **EcuRed.** Válvula de Compuerta. [En línea] 2015. [Citado el: 22 de Sep. de 2016.] [https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula\\_de\\_compuerta](https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula_de_compuerta).
33. —. Válvula de Mariposa. [En línea] 2015. [Citado el: 22 de Sep. de 2016.] [https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula\\_de\\_mariposa](https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula_de_mariposa).
34. —. Válvula de Bola. [En línea] 2015. [Citado el: 25 de Sep. de 2016.] [https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula\\_de\\_bola](https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula_de_bola).
35. —. Válvula de Globo. [En línea] 2015. [Citado el: 28 de Sep. de 2016.] [https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula\\_de\\_globo](https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula_de_globo).
36. —. Válvula de Aguja. [En línea] 2015. [Citado el: 28 de Sep. de 2016.] [https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula\\_de\\_aguja#Caracter.C3.ADsticas\\_de\\_las\\_v.C3.A1lvulas\\_de\\_aguja](https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula_de_aguja#Caracter.C3.ADsticas_de_las_v.C3.A1lvulas_de_aguja).
37. **FAO.** Cultivo de Microalgas. [En línea] Departamento de Pesca, 2010. [Citado el: 5 de Oct de 2016.] <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab473s/AB473S03.htm>.
38. **El Mundo en Orbyt.** Las Microalgas, un Arma Diminuta para Luchar Contra el Cambio Climático. [En línea] 2011. [Citado el: 8 de Oct de 2016.] <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/01/07/ciencia/1294415952.html>.
39. **Pérez, M.** Novedoso Fotobiorreactor para el Cultivo Masivo de Microalgas. *innova.* [En línea] 2014. [Citado el: 8 de Oct. de 2016.] <https://sgitt-otri.ua.es/es/empresa/documentos/ot-1302-fotobiorreactor.pdf>.
40. **Weathers, Pamela, Xiong, Xue-Rong y Xu, Ling.** Engineering in Life Sciences. *Microalgal Bioreactors: Challenges and Opportunities.* Junio de 2009. Vol. 9, 178-189.
41. **ADNAgro.** Cultivo de Microalgas a Gran Escala: Sistema de Producción. *Negocio Agroalimentario y Cooperativo.* [En línea] Junio de 2016. [Citado el: 22 de Oct de 2016.] <http://www.fundacioncajamar.es/pdf/bd/comun/transfereencia/018-microalgas2-1467367279.pdf>.



42. **Martínez, L.** Eliminación de CO<sub>2</sub> con Microalgas Autóctonas. [En línea] 10 de Jun. de 2012. <https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/1414/2008ON-MART%25CDNEZ%20GARC%25CDA%2C%20LORENA.pdf?sequence=1>.
43. **Ruiz, A.** Puesta en Marcha de un Cultivo de Microalgas para la Eliminación de Nutrientes de Agua Residual Urbana Previamente Tratada Anaeróticamente. *Universidad Politécnica de Valencia*. [En línea] Abril de 2011. [Citado el: 23 de Oct. de 2016.] <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12831/Ruiz%20Martinez%20Ana%20-%20Tesina%20Fin%20Master%20-%202011.pdf?sequence=1>.
44. **Reference.** Photobioreactors. [En línea] 2014. [Citado el: 23 de Oct. de 2016.] <http://www.reference.md/files/D058/mD058433.html>.
45. **Hernández, C.** Estimación de Iluminación en un Fotobiorreactor Productor de Biomasa a partir de Microalgas. 2 *Conciencia Tecnológica*. 2014. Vol. 1, 47-7.
46. **Mireles, A.** Estimación de Iluminación en un Fotobiorreactor Productor de Biomasa a Partir de Microalgas. 2 *Conciencia Tecnológica*. 2006. Vol. 22, 149.
47. **Acta Química Mexicana.** Tecnología de Cultivo de Microalgas en Fotobiorreactores. Junio de 2012. 7.
48. **BioRefineries.** Biorefinerías e Ingeniería Química sostenible. *Blog*. [En línea] 2015. [Citado el: 15 de Ene. de 2016.] <https://biorrefineria.blogspot.mx/2014/06/2014-12fotobiorreactores.html>.
49. **Lopez, A.** Diseño y Montaje de un Fotobiorreactor a Escala Laboratorio para la Producción de Microalgas. Bucaramanga : s.n., 2010.
50. **Textos Científicos.** Policloruro de Vinilo-PVC. [En línea] 2013. [Citado el: 13 de Nov. de 2016.] <https://www.solidworks.es/sw/products/3d-cad/3d-solid-modeling.htm>.
51. **QuimiNet.** La Necesidad de los Planos de Construcción. [En línea] 2011. [Citado el: 16 de Nov. de 2016.] <https://www.quiminet.com/articulos/la-necesidad-de-planos-de-construccion-58760.htm>.
52. **Uriza, M.** ACADEMIA. *Diagramas de Tuberías e Instrumentación (DTI)*. [En línea] 2015. [Citado el: 5 de Ago. de 2016.] [https://www.academia.edu/9376738/DIAGRAMAS\\_DE\\_TUBERIA\\_E\\_INSTRUMENTACION\\_DTI..](https://www.academia.edu/9376738/DIAGRAMAS_DE_TUBERIA_E_INSTRUMENTACION_DTI..)
53. **ITM.** ¿Para qué sirve un regulador de flujo? [En línea] 2014. [Citado el: 15 de Nov de 2016.] <http://neumaticaroboticavacio.com/index.php/2015/04/28/para-que-sirve-un-regulador-de-flujo/>.
54. **SIEMENS.** CAD/ Diseño Asistido por Computadora. [En línea] 2013. [Citado el: 15 de Ene. de 2016.] [https://www.plm.automation.siemens.com/es\\_mx/plm/cad.shtml](https://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/cad.shtml).



55. **EcuRed.** Diseño Asistido por Computadora. [En línea] 2012. [Citado el: 2016 de Ene. de 2016.] [https://www.ecured.cu/Dise%C3%B1o\\_asistido\\_por\\_computadora](https://www.ecured.cu/Dise%C3%B1o_asistido_por_computadora).
56. —. SolidWorks. [En línea] [Citado el: 18 de Ene. de 2016.] <https://www.ecured.cu/SolidWork>.
57. **Programas Web Full.** SolidWorks 2015 full Español. [En línea] [Citado el: 18 de Ene. de 2016.] <http://www.programaswebfull.net/solidworks-2015-full-espanol-multilenguaje-crack/>.
58. **Dessault Systemes.** Modelado de Sólidos en 3D. [En línea] 2012. [Citado el: 16 de Nov. de 2016.] <https://www.solidworks.es/sw/products/3d-cad/3d-solid-modeling.htm>.
59. **Dassault Systemes .** Ayuda de SolidWorks. [En línea] [Citado el: 20 de Ene. de 2016.] [http://help.solidworks.com/2015/spanish/SolidWorks/sldworks/c\\_user\\_interface\\_overview.htm](http://help.solidworks.com/2015/spanish/SolidWorks/sldworks/c_user_interface_overview.htm).
60. **Balarezo, F.** Rediseño del horno de la "tostadora de maní" del laboratorio de control automático de la facultad de mecánica. [En línea] 2011. [Citado el: 10 de Dic. de 2016.] <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/877/1/15T00475.pdf>.
61. **Dessault Systemes.** Configuración y Ensamblaje de Piezas. [En línea] 2012. [Citado el: 18 de Nov de 2016.] <https://www.solidworks.es/sw/products/3d-cad/3d-solid-modeling.htm>.
62. **García, J.** Dibujo y Diseño Mecánico. [En línea] 2015. [Citado el: 18 de Nov. de 2016.] <https://lisandroingmec.files.wordpress.com/2013/08/63932037-46117885-solid-works-para-dibujo-y-diseno-mecanico.pdf>.
63. **Hurtado, P.** Metodología y Aplicaciones de Diseño Paramétrico. [En línea] 2010. [Citado el: 24 de Nov. de 2016.] <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59042/TFM%20-%20Hurtado%20Silva,%20P.M..pdf?sequence=1>.
64. **Calculadores Conversores.** Calcular Volumen de un Cilindro. [En línea] 2013. [Citado el: 23 de Ene de 2016.] <https://www.calculadoraconversor.com/calcular-volumen-de-un-cilindro/>.
65. **Posten , C.** Desing Principales of Photo-bioreactors for Cultivation of Miracle. 3 *Engineering in Life Sciences*. Vol. 9, 165-177.
66. **EcuRed.** Dibujo Arquitectónico. [En línea] 2 de Mayo de 2015. [Citado el: 3 de Ago de 2016.] [https://www.ecured.cu/Dibujo\\_arquitect%C3%B3nico](https://www.ecured.cu/Dibujo_arquitect%C3%B3nico).
67. **The Engineering ToolBox.** P&ID - Piping and Instrumentation Diagram. [En línea] 2013. [Citado el: 10 de Ago. de 2016.] [http://www.engineeringtoolbox.com/p-id-piping-instrumentation-diagram-d\\_466.html](http://www.engineeringtoolbox.com/p-id-piping-instrumentation-diagram-d_466.html).
68. **Gobierno de la República Mexicana.** Plan de Desarrollo Nacional. [En línea] 09 de Mayo de 2013. [Citado el: 22 de Feb. de 2017.] <http://pnd.gob.mx/wp-content/uploads/2013/05/PND.pdf>.

69. **Lucidchart.** What are Piping and Instrumentation Diagrams. [En línea] 2015. [Citado el: 5 de Ago. de 2016.] <https://www.lucidchart.com/pages/p-and-id>.
70. **Olmedo, A.** Producción de Biodiesel Utilizando Algas. *Biodiesel de Algas*. [En línea] Biodisol, 2009. [Citado el: 8 de Nov. de 2016.] <http://www.biodisol.com/biocombustibles/biodiesel-de-algas-proceso-de-produccion-de-biodiesel-utilizando-algas-energias-renovables-biocombustibles-cultivos-energeticos/>.
71. **Diccionario de Arquitectura y Construcción.** Plano de planta. [En línea] 2014. [Citado el: 20 de Actubre de 2016.] <http://www.parro.com.ar/definicion-de-plano+de+planta>.
72. **ClubEnsayos.** Concepto, clasificación y aplicación: Dibujos, planos y esquemas. [En línea] 26 de Septiembre de 2014. [Citado el: 13 de Nov. de 2016.] <https://www.clubensayos.com/Temas-Variados/Concepto-clasificaci%C3%B3n-y-aplicaci%C3%B3n-Dibujos-planos-y/2052178.html>.
73. **Diseño Industrial.** Dibujo Técnico. [En línea] 2015. [Citado el: 10 de Nov. de 2016.] <file:///C:/Users/practicar/Downloads/interpreta%20planos.pdf>.
74. **Sistemas.** Sistemas CAE. [En línea] 2014. [Citado el: 20 de Ene. de 2016.] [148.204.211.134/polilibros/Portal/.../P.../cad-cam-cae-cim\\_sistemascae.htm](http://148.204.211.134/polilibros/Portal/.../P.../cad-cam-cae-cim_sistemascae.htm).
75. **Wordpress.** Tipos de Diseño. [En línea] 2013. [Citado el: 28 de Nov. de 2016.] <https://le0el.wordpress.com/2010/02/01/tipos-de-diseno/>.
76. **Arquínétpolis.** Tamaños de papel para planos y documentos de arquitectura. [En línea] 13 de Ene de 2013. [Citado el: 2017 de Mar. de 10.] <http://arquinetpolis.com/tamanos-papel-planos-000058/>.
77. **Vásquez, Ana Lucrecia Sosa.** Tesis. *Dibujo Constructivo como Parte del Lenguaje Arquitectónico*. 21 de Feb. de 2014.
78. **JN ACEROS.** ¿Qué son las bridas de metal? [En línea] [Citado el: 6 de Nov. de 2016.] <http://www.jnaceros.com.pe/blog/bridas-de-metal-bridas-acero-inoxidable/>.



