

**DISEÑO CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE DOS BIO-REACTORES
PARA UNA PLANTA A ESCALA PILOTO DESTINADA A LA
PRODUCCIÓN DE JARABES DE GLUCOSA**

**ERIK IVAN ARMENTA ARENAS
CRISTÓBAL RODRÍGUEZ MORANTES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2004

**DISEÑO CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE DOS BIO-REACTORES
PARA UNA PLANTA A ESCALA PILOTO DESTINADA A LA
PRODUCCIÓN DE JARABES DE GLUCOSA**

**ERIK IVAN ARMENTA ARENAS
CRISTÓBAL RODRÍGUEZ MORANTES**

**Proyecto de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**DIRECTOR
OMAR GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2004

DEDICATORIA

A mi padre, por confiar en mí, y siempre respetar mi criterio ante la vida.

A mi madre (Maria Isabel) y hermanos (Iván, Liliana), quienes con su apoyo incondicional, me animaron para alcanzar esta gran meta.

A mi hermana Margarita por su paciencia y perseverancia, al escucharme y darme siempre la voz de aliento que hacia falta en el momento justo.

A mi novia Mabel Rocío, por su comprensión y por estar siempre a mi lado en los momentos de debilidad y desaliento, dándole alegría a mis días para seguir adelante.

A todos los amigos de Ingeniería Mecánica (Carlos B. Joaquín R. Gustavo L. Vivian L. Cristian, Pedro, Franklin, entre muchos), quienes siempre alentaron esta carrera, al éxito final.

Erik Iván Armenta Arenas

DEDICATORIA

A Dios, por ser la fuente de fortaleza en la exitosa carrera de mi vida.

A mis padres, Cristóbal y Mariela a quienes les debo lo que soy y cuyo sacrificio en sus vidas por amor a la familia motivan mi crecimiento personal y profesional.

A mis hermanos Claudia, Diana y Oscar mis ángeles guardianes.

A toda mi familia, compañeros y amigos por su apoyo incondicional y por estar ahí en cada situación dispuestos a ayudar.

Cristóbal Rodríguez Morantes

AGRADECIMIENTOS

Los autores del proyecto desean expresar los más sinceros agradecimientos a:

A nuestro director Omar Gelvez, por la colaboración prestada y confianza depositada en nosotros.

Al profesor Daniel Molina, por confiar en nuestro criterio profesional durante el desarrollo de proyecto.

A don Gonzalo, Freddy y Henry, por la colaboración prestada durante la fase final de este proyecto.

A los compañeros de Ingeniería Química y Química (Jenny, Leidy, Cesar, Mario, Wilson, Fabián), por su apoyo y compartir sus conocimientos técnicos con nosotros.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. BIOTECNOLOGÍA	3
1.1 GENERALIDADES	3
1.2 CAMPOS DE APLICACIÓN	4
1.3 FORMAS DE INVESTIGACIÓN	7
2. PLANTAS PILOTO	9
2.1 GENERALIDADES	9
2.2 TIPOS GENERALES DE PLANTAS PILOTO	10
2.2.1 Clasificación por Tamaño	10
2.2.2 Clasificación según el propósito o la estrategia	11
2.2.3 Clasificación según la filosofía de diseño	12
2.2 ESQUEMA GENERAL DE LA PLANTA PILOTO DESTINADA A LA PRODUCCIÓN DE JARABES DE GLUCOSA	13
3. YUCA COMO MATERIA PRIMA DENTRO DE LA INVESTIGACIÓN	15
3.1 GENERALIDADES	15
3.1.1 Tipos de yuca	16
3.1.2 Botánica	16
3.2 ALMIDÓN DE YUCA	18

3.2.1 Forma de obtención	20
3.2.2 Estructura Química	21
3.2.2. Subproductos	22
4. JARABES DE GLUCOSA	23
4.1 GENERALIDADES	23
4.2 USOS GENERALES	24
4.3 FORMAS DE OBTENCIÓN	25
4.4 NUESTRO PROCESO	27
4.5 EQUIPOS UTILIZADOS	33
4.5.1 Equipos auxiliares	34
4.5.2 Accesorios	36
5. BIOREACTORES	37
5.1 GENERALIDADES	37
5.2 TIPOS DE REACTORES	37
5.2.1 Reactor Tipo Cochadas (Batch)	38
5.2.2 Reactor Tubular Continuo	39
5.2.3 Reactor Tipo Backmix	39
5.3 NECESIDAD A SATISFACER POR LOS	40
BIOREACTORES EN LA PLANTA PILOTO	
5.4 SOLUCIÓN ADOPTADA PARA EL PROCESO	42
DE GELIFICACIÓN Y LICUEFACCIÓN	

5.5 SOLUCIÓN ADOPTADA PARA	
EL BIOREACTOR PARA SACARIFICACIÓN	65
6. SISTEMA DE CALENTAMIENTO	65
6.1 GENERALIDADES	65
6.2 TIPOS DE CALEFACCIÓN EN BIOREACTORES	65
6.2.1 Sistemas de Chaqueta	66
6.2.2 Resistencia externa e interna	68
6.2.3 Reactor con intercambiador de calor externo en laso	69
6.3 NECESIDAD A SATISFACER MEDIANTE EL SISTEMA DE	
CALENTAMIENTO	69
6.4 SOLUCIÓN ADOPTADA GELIFICACIÓN, LICUEFACCIÓN Y	
SACARIFICACIÓN	70
6.4.1 Diseño térmico de la chaqueta	77
6.4.2 Diseño mecánico de la chaqueta	81
7. SISTEMA DE AGITACIÓN	81
7.1 GENERALIDADES	82
7.2 TIPOS	82
7.2.1 Agitación hidrodinámica	83
7.2.2 Agitación mecánica	87
7.3 NECESIDAD	88
7.4 SOLUCIÓN ADOPTADA GELIFICACIÓN	

7.4.1 Cálculos	89
7.5 SOLUCIÓN ADOPTADA LICUEFACCIÓN Y SACARIFICACIÓN	96
8. CONSTRUCCIÓN Y EMSAMBLE	105
8.1 MECANIZACIÓN	105
8.1.1 Procesos utilizados	105
8.2 Montaje	112

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades Generales del Almidón de Yuca	19
Tabla 2. Parámetros Gelatinización	29
Tabla 3. Parámetros Licuefacción	30
Tabla 4. Parámetros Sacarificación	31
Tabla 5. Parámetros Purificación	32
Tabla 6. Bombas	34
Tabla 7. Baños termostatados	34
Tabla 8. Agitadores y variadores	35
Tabla 9. Varios	35
Tabla 10. Accesorios	36
Tabla 11. Condiciones de cada Bioreactor	40
Tabla 12. Accesorios de cada bioreactor	41
Tabla 13. Aceros inoxidables usados en la construcción de Bioreactores	44
Tabla 14. Criterio para establecer el valor del esfuerzo admisible	47
Tabla 15. Factores de eficiencia de juntas soldadas	49
Tabla 16. Recomendaciones para la brida	54
Tabla 17. Fórmulas para los brazos de momento	55
Tabla 18. Determinación de los valores de los momentos en la brida	56
	64

Tabla 19. Dimensiones del Bioreactor para sacarificación	
Tabla 20. Variables de entrada	70
Tabla 21. Factores de obstrucción en recipientes enchaquetados	75
Tabla 22. Parámetros generales de la chaqueta	79
Tabla 23 Variables chaqueta	80
Tabla 24. Datos para el diseño	80
Tabla 24. Variables agitación	87
Tabla 25. Factores de carga	93

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema investigación	19
Figura 2. Planta piloto escala laboratorio	29
Figura 3. Planta piloto de investigación	30
Figura 4. Esquema general de la planta	31
Figura 5. Mata de yuca	32
Figura 6. Raíces mata yuca	34
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de obtención de almidón	34
Figura 8. Mutarrotaciones de la glucosa	35
Figura 9. Diagrama de flujo proceso planta piloto	35
Figura 10. Reactor tipo batch	36
Figura 11. Reactor tubular continuo	40
Figura 12. Reactor tipo backmix	41
Figura 13. Bioreactor	44
Figura 14. Diagrama de distribución de los esfuerzos a) circunferenciales y b) longitudinales	47
Figura 15. Categorías de juntas soldadas	49
Figura 16. Dimensiones del empaque	54
Figura 17. Carga sobre los pernos	55
	56
	64

Figura 18. Tipos de bridas	19
Figura 19. Brazos de momento y dimensiones de la brida	29
Figura 20. Tapa del bioreactor	30
Figura 21. Hidrodinámica del flujo dentro de un recipiente agitado con una discontinuidad.	19 29
Figura 22. Despiece del visor Figura 23. a) Dimensiones del vidrio, b) DCL del vidrio	30 31
Figura 24. a) Válvula tipo émbolo, b) sistema de descarga externo	32
Figura 25. Despiece de la válvula de descarga	34
Figura 26. Bioreactor para sacarificación	34
Figura 27. Tipos de calefacción por chaqueta	35
Figura 28. Calentamiento por resistencia externa	35
Figura 29. Calentamiento por resistencia interna	36
Figura 30. Calentamiento por intercambiador externo	40
Figura 31. Esquema del flujo de calor hacia la reacción	41
Figura 32. Factor adimensional de transferencia de calor en chaquetas Vs Reynolds	44
Figura 33. Tipos de chaqueta	47
Figura 34. Detalle de la junta entre el recipiente y la chaqueta	49
Figura 35. Tipos de bioreactores de elevación por aire	54
Figura 36. Conjunto agitador	55
Figura 37. Tipos de agitadores	56
Figura 38. Agitador U	64

Figura 39. Rangos de viscosidad y diferentes elementos de agitación	
Figura 40. Criterio de potencia en función del criterio Reynolds	
Figura 41. Eje agitación Gelificación	
Figura 42. Sistema de acople	19
Figura 43. Dimensiones anchor	29
Figura 44. Turbina Rushton	30
Figura 45. Radio de acción de un agitador	31
Figura 46. Dimensiones turbina Figura 47. Baffles	32
Figura 48. Variación de Φ contra el numero de Reynolds	34
Figura 49. Esquema sello	34
Figura 50. Elementos varios cortados por oxicorte	35
Figura 51. Unión cuerpo fondo	35
Figura 52. Procedimiento TIG	36
Figura 53. Soldadura chaqueta	40
Figura 54. Válvula de descarga	41
Figura 55. Visor	44
Figura 56. Procesos varios	
Figura 57. Montaje total planta piloto vista 1	47
Figura 58. Montaje total planta piloto vista 2	49
Figura 59. Bioreactor sacarificación	54
Figura 60. Bioreactor sacarificación en continuo con el prefiltro y el ultrafiltro	55
Figura 61. Isométrica de la planta piloto	56
	64

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A	Tabla USG 23
ANEXO B	Datos tornillos
ANEXO C	Datos de empaques
ANEXO D	Tablas propiedades materiales
ANEXO E	Nomogramas
ANEXO F	Fotos de equipos
ANEXO G	Planos Bioreactor Gelificación y Licuefacción
ANEXO H	Planos Bioreactor Sacarificación

RESUMEN

TITULO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE DOS BIO-REACTORES PARA UNA PLANTA A ESCALA PILOTO DESTINADA A LA PRODUCCIÓN DE JARABES DE GLUCOSA.*

Autores: Erik Iván Armenta Arenas
Cristóbal Rodríguez Morantes**

Palabras claves: Diseño de bioreactores, Bioreactores, Reactores químicos, Reactores enchaquetados.

Descripción:

Este proyecto es parte de un macroproyecto financiado por PRONATTA (Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria), entidad adjunta al Ministerio de Agricultura. El objetivo principal es construir accesorios necesarios en el montaje de una planta piloto para producir jarabes de glucosa a partir de la yuca.

Las partes más importantes a construir son los bioreactores, en los cuales se llevan a cabo reacciones de tipo enzimático como una aplicación biotecnológica al proceso. El uso de la biotecnología es de gran interés porque realiza este proceso de una forma más natural. Los jarabes de glucosa son utilizados en la industria como edulcorantes cuyo poder endulzante es mayor que el de los utilizados convencionalmente como el azúcar de caña. Además el uso de la yuca como materia prima beneficia el sector rural. En el diseño de los bioreactores se tuvo en cuenta los parámetros del proceso como manejo enzimático, agitación y calentamiento para construir los accesorios necesarios para su funcionamiento. Además, el diseño se hizo con la mayor flexibilidad para permitir el uso de los bioreactores en otras aplicaciones. Por lo tanto, los bioreactores pueden funcionar en cochadas o en continuo mediante las válvulas de descarga y los agujeros de la tapa permiten la instalación de dispositivos para monitorear variables como temperatura, presión, ph, concentración, espuma, etc. Finalmente, uno de los bioreactores fue diseñado con un visor como indicador de nivel y para observar la reacción en determinada aplicación.

Los bioreactores probaron ser muy eficientes en la planta piloto en los procesos utilizados como gelatinización y sacarificación puesto que se alcanzaron las concentraciones deseadas. También se verificó el tiempo de vida de la enzima comprobándose que el material seleccionado y el sistema de calentamiento eran los adecuados.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Ingeniería Mecánica, Director: Omar A. Gelves Arocha.

SUMMARY

TITLE: DESIGN, CONSTRUCTION AND ASSEMBLING OF TWO BIO-REACTORS FOR A PILOT PLANT DESTINED TO THE GLUCOSE SYRUP PRODUCTION*

Authors: Erik Iván Armenta Arenas
Cristóbal Rodríguez Morantes**

Key words: bio-reactors design, bio-reactors, chemical reactors, jacket-type reactors.

Description

This project is part of a macro-project supported by PRONATTA (Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria), which is an entity joined to the Agriculture Ministry. The main goal is to construct necessary accessories to assemble a pilot plant. It is destined to the production of glucose syrup starting from yucca.

The most important parts to construct are the bio-reactors, which are used to perform enzymatic-type reactions as an application of bio-technology to the process. The usage of biotechnology is very interesting because it makes the process of getting syrup more natural. Glucose syrups are industrially used as sweeteners better than those conventionally known made of sugar cane. Moreover, the usage of yucca as raw material benefits the rural sector since this cultivation is not very well priced recently due to its plenty and limited applications. To design the bio-reactors it was had into account all process parameters such as enzymatic manipulation, stirring, heating and others to construct the necessary accessories to their working. Moreover, they were designed with the highest possible flexibility to allow the usage of bioreactors in other applications. Therefore, they can work in different ways such as batch-type or backmix-type through the discharge valves. Also, the holes in the cap allow to install devices required at monitoring variables as temperature, pressure, ph, concentration, foam, etc. Finally one of the bioreactor was design with a view finder to indicate level and to see the reaction in any application.

The bio-reactors proved to be efficient in the pilot plant regarding the processes used because it was got syrup in good conditions and desired concentrations. Also, it was verified the life time of the enzymes which proved both material and heating system were the most suitable.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Ingeniería Mecánica, Director: Omar A. Gelves Arocha.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto de grado es una oportunidad para trabajar con un grupo interdisciplinario de estudiantes de Química, Ingeniería Química e Ingeniería Mecánica con la asesoría de profesionales en las mismas áreas mencionadas, buscando desarrollar un objetivo común como lo es la planta piloto con el fin de adelantar investigaciones en el área biotecnológica.

El desarrollo de la biotecnología ha tenido gran auge en los últimos años por ser una forma alternativa en la elaboración y procesado de productos de una forma más natural y libre de agentes químicos que pueden ser perjudiciales para la salud.

En este caso se quiere hacer uso de la biotecnología en la producción de jarabes de glucosa, utilizados en la elaboración de edulcorantes, a partir del almidón de yuca; lo cual llamó el interés de entidades como PRONATTA, (Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria), adjunta al Ministerio de Agricultura, en cuanto a la utilización de la yuca como materia prima que beneficiaría a una gran población rural dedicada a su cultivo, especialmente en la provincia Guanentina en Santander donde nació la idea por parte del grupo SEPAS (Sector Pastoral).

En la actualidad se consigue en el mercado internacional una gran variedad de plantas piloto en cuanto tamaño, funcionalidad y automatización, sin embargo, debido a los altos costos de importación y a las condiciones necesarias para esta aplicación específica se requiere la

intervención de estudiantes de Ingeniería Mecánica cuya función es la de proporcionar los equipos que brinden las condiciones óptimas para la investigación.

Básicamente los equipos que se diseñan y construyen en este trabajo son los bioreactores, los cuales son los elementos más importantes de una planta piloto, con los accesorios necesarios como calefacción y agitación para llevar a cabo procesos como gelificación, licuefacción y sacarificación a partir de una solución de almidón.

El diseño de los bioreactores se hace según la sección VIII del código ASME para recipientes a presión, el cual es el procedimiento ingenieril más confiable y utilizado puesto que garantiza un diseño bajo todas las normas y factores de seguridad.

1. BIOTECNOLOGÍA

1.1 GENERALIDADES

Mucho se ha escrito sobre las posibilidades de la Biotecnología.

“¿Quien se molestara en producir compuestos cuando puede hacerlo un microbio? “ (J. B. S. Haldane, 1929) *.

El término Biotecnología ha rebasado los ámbitos de un reducido grupo de laboratorios de investigación y ha trascendido al interés de las grandes industrias mundiales; por la amplia variedad de ramificaciones y la revolución bioindustrial que se extiende mucho mas allá de las industrias directamente afectadas por ella. Los beneficios potenciales tienen profundos efectos sociales, económicos y políticos debido a las posibles consecuencias del desarrollo de las industrias biológicas en la salud de sus trabajadores y de la población en general, en un plano nacional e internacional (Global).

Desde la revolución industrial, la economía mundial se ha caracterizado por la constante demanda de energía y metales. Hasta el presente la demanda de energía ha sido satisfecha principalmente mediante la explotación de los combustibles fósiles, mientras que la aportación de los metales proviene del hallazgo de técnicas mineras cada vez mas perfeccionadas.

* JHON, Bu'lock. ; BJORN, Kristiansen. Basic Biotechnology, London, Academic Press, 1998.

Todo el mundo sabe que continuar por esta senda tiene un límite, aunque se actúe la mayor parte del tiempo como si tal límite no existiera.

Basados en los desarrollos biotecnológicos en el próximo siglo podrán suplirse las necesidades humanas basándonos menos en materiales no renovables y dando un gran salto a productos obtenidos a partir de organismos vivos que podrán realizar muchas de las funciones de sus predecesores.

El hecho de comercialización de los procesos biológicos, los cuales engloban descubrimientos técnicos y científicos que han conducido al umbral de la revolución industrial definiendo la Biotecnología como la aplicación de los principios básicos de las ciencias e ingenierías al procesamiento de materiales para proveer bienes y servicios.

Dentro de las características que posee la Biotecnología se tienen:

- **Multidisciplinaria**
- **Emplea diferentes técnicas**
- **Conviven diferentes estados de desarrollo**
- **Multisectorial**

1.2 CAMPOS DE APLICACIÓN

Hasta hace poco tiempo, la utilización de los microbios era una cuestión muy empírica, pues se carecía de los conocimientos necesarios para comprender el mundo microscópico y las posibilidades de modificarlo en

provecho del hombre. Ahora los esfuerzos de cientos de técnicos y científicos los han estructurado ampliamente, de modo que gran cantidad de atractivas perspectivas procedentes de la Biotecnología se encuentran en casi todos los campos de la vida moderna:

- **Medicina:** Enfatizándose en las tres mayores causas de mortalidad en los países desarrollados (enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes), mejores y más baratos antibióticos, vacunas contra los agentes de enfermedades víricas y parasitarias, análisis rápidos para diagnósticos precisos técnicas para mejorar la química corporal y para curar las enfermedades hereditarias.

- **Producción de energía:** Combustibles renovables, incluidos metano e hidrógeno, y alcohol combustible para usos domésticos e industriales. Sustancias elaboradas por microorganismos, los cuales ayudarán a extraer los combustibles del subsuelo.

- **Industria:** nuevas fuentes de productos fundamentales para la fabricación de plásticos, pinturas, fibras artificiales y adhesivos. Microbios que pueden extraer metales de rocas sólidas. Nuevos sistemas de control de la contaminación.

- **Agricultura y producción de alimentos:** Creación de cultivos que produzcan su propio fertilizante. Plantas que puedan prosperar en suelos actualmente improductivos. Sustancias capaces de acelerar el crecimiento de animales. Vacunas para el ganado. Formas más baratas de alimentos y

aprovechamiento maximizado de los componentes de los componentes y subproductos de los cultivos.

Una de las áreas donde ha tenido mayor impacto la Biotecnología, no solo desde el punto de vista tecnológico sino económico y social también, es la de los edulcorantes. A partir de los sesenta en los países desarrollados se han venido implementando procesos industriales, en su mayoría biotecnológicos, para la elaboración de edulcorantes calóricos y no calóricos, que han modificado la estructura de este mercado. Esta situación le a traído varias consecuencias a los países para los que las exportaciones de azúcar de caña constituye una entrada importante de divisas y ha sido un factor determinante en las fluctuaciones del precio internacional del azúcar de caña.

La calidad del sabor dulce difiere considerablemente de un edulcorante a otro. La mayor parte de los edulcorantes de alto poder endulzante poseen sabores residuales que se superponen al sabor dulce. La sacarosa sirve de referencia porque no presenta sabor residual, siendo considerada como el sabor dulce Standard.

La sustitución de la sacarosa por los edulcorantes sintéticos no siempre es sencilla, ya que este azúcar no solo desempeña un papel como saborizante, sino que, en muchos casos, también actúa como conservador y para conferir al producto una textura y una consistencia adecuadas; esto se observa en las mermeladas y en alimentos semejantes en los que el alto contenido de sacarosa reduce la actividad acuosa a menos de 0,8 para evitar hongos y levaduras; además, las pectinas de alto metoxilo gelifican en presencia de este hidrato de carbono. Sin embargo, si se combinan adecuadamente los materiales, se puede lograr la sustitución. Debido a las variadas y numerosas exigencias del mercado de los alimentos, es

necesario que las empresas cumplan con rigurosos controles y sistemas de calidad. Los cuales pueden ser alcanzados de manera más exitosa con la ayuda de los procesos que involucra la Biotecnología y las herramientas emergentes de esta misma.

Un ejemplo de las exigencias que se derivan de las nuevas tecnologías en lo referente a estándares a cumplir por un producto se menciona a continuación. Se citan los requisitos que deben cumplir los edulcorantes, por ejemplo, en la Industria de Dulces:

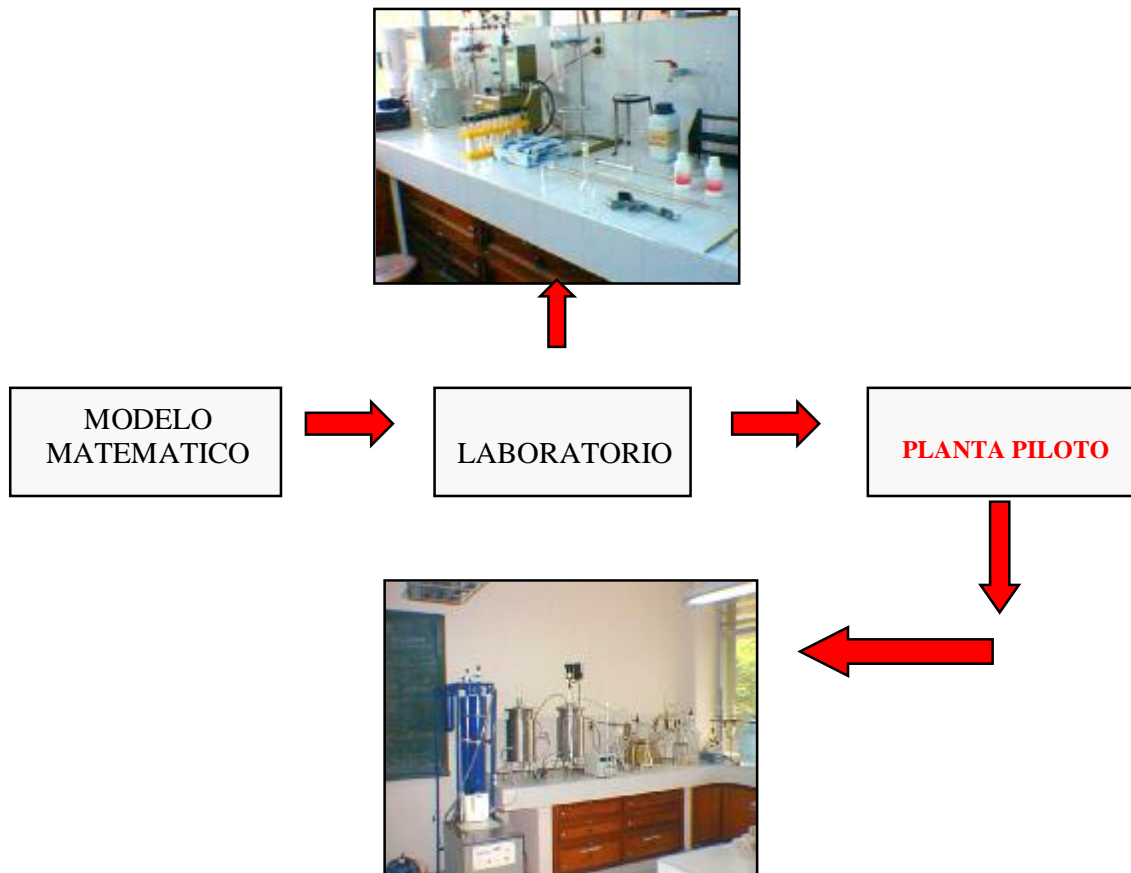
- Dulzura relativa de los azúcares.
- Grado de solubilidad y cristalización.
- Peso específico de los jarabes.
- Contenido de agua de los azúcares secos.
- Higroscopicidad.
- Sabor específico.
- Cualidades de preservación y tendencia hacia la fermentación.
- Peso molecular.
- Punto de congelación.
- Tendencia al pardeamiento.

1.3 FORMAS DE INVESTIGACIÓN

Estas se dan gracias al orden lógico generado por la experiencia y la acumulación de datos obtenidos con el tiempo. Estos indican que en su fase inicial una actividad investigativa comienza con la formulación de modelos matemáticos que semejan los procesos reales, sigue la corroboración de que estos modelos simulan correctamente el proceso real y poseen una tendencia que sea lineal y apegada a la realidad.

El paso a seguir es el de la materialización del modelo matemático en un tamaño manejable y pequeño (laboratorio), en el cual se obtienen los cambios necesarios y el análisis real de las variables para poder pasar a la siguiente fase de investigación que semeja de una manera mejor el proceso en una situación real como lo es las plantas piloto.

Figura 1. Esquema investigación



2. PLANTAS PILOTO

2.1 GENERALIDADES

Una planta piloto es una herramienta que permite la investigación de un proceso a una escala manejable en una forma realista. Comparativamente se puede afirmar que es una clase de microscopio para ver dentro de un proceso de tal manera que se pueden examinar las etapas en detalle, determinar los efectos de diferentes condiciones o elementos, diagnosticar problemas y desarrollar o evaluar acciones correctivas pero tiene sus limitaciones, por tanto la selección del área más importante en la cual enfocar la planta es una tarea importante.

Los objetivos más comunes en los cuales se enfocan las plantas piloto son:

- Ø Determinación de procesos económicos.
- Ø Demostración de facilidades técnicas.
- Ø Proveer servicios técnicos.
- Ø Optimización de los procesos.
- Ø Evaluación comercial y producción de muestras.

2.2 TIPOS GENERALES DE PLANTAS PILOTO

2.2.1 Clasificación por Tamaño. Basados en el tamaño la clasificación aceptada para plantas piloto es como sigue:

- **Escala Laboratorio, Plantas Piloto De Banco o Micro unidades.** Estas son plantas piloto que generalmente se instalan en un banco o mesón de laboratorio. En general se encuentran en un rango de 0.5 a 1.0 m² y usan tubería de 1/16 a 1/4 in. (Tube). Tradicionalmente son totalmente manuales y asistidas continuamente, aunque muchas versiones nuevas son automatizadas y diseñadas para correr continuamente.

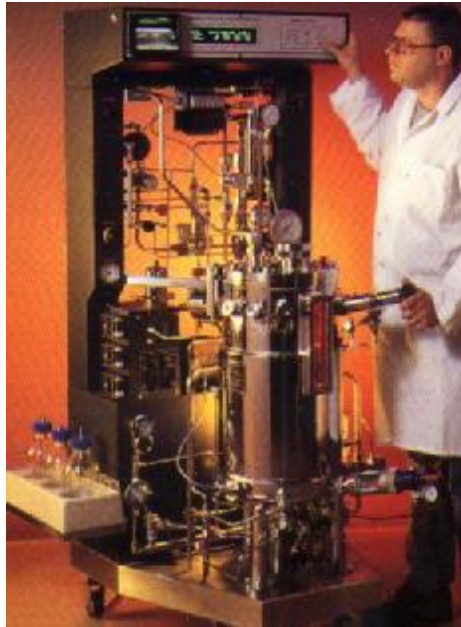
Figura 2. Planta piloto escala laboratorio



Fuente: catálogo general New Brunswick Scientific

- **Plantas Piloto Integradas o Plantas Piloto Escala Investigación.** Estas son de gran uso en la industria y muchas varían en tamaño desde estructuras portátiles a unidades que ocupan un pequeño edificio. En general se encuentran en un rango de 2.0 a 14 m² y usan de 1/4 a 1 in (tube), y de 1/4 a 2 in. (Pipe). Estas son usualmente automatizadas y pueden ser diseñadas para una operación sin asistencia.

Figura 3. Planta piloto de investigación



Fuente: catálogo general New Brunswick Scientific

- **Unidades De Demostración o Unidades Prototipo.** Estas son unidades diseñadas para operar a las menores escalas de la planta industrial, son muy grandes, típicamente del orden de 900 m² o más y utilizan tubería comercial de 1 a 8 in. normalmente semejan la planta en automatización y operación.

2.2.2 Clasificación según el propósito o la estrategia. Bajo esta clasificación las plantas piloto se pueden agrupar en tres categorías:

- **Simulación De Proceso.** Esta estrategia exige que la planta piloto realice el proceso tan real como sea posible. La planta piloto debe contener todos los pasos en el orden real que se seguirán en la industria.

- **Solución De Problemas.** Esta estrategia involucra enfocar la planta piloto a la solución de un problema específico. Esta se diseña para investigar un área específica y únicamente se incluyen los elementos o procesos que se afectan en dicha área o problema.

- **Investigación Básica.** Esta estrategia se centra en el estudio de los principios detrás de un proceso o problema con miras hacia el desarrollo de una nueva base teórica probada. Esto podría permitir la solución de un problema más eficientemente o desarrollar mejoras a un proceso.

2.2.3 Clasificación según la filosofía de diseño

- **Plantas Piloto De Propósito General.** Estas se construyen para amplios propósitos y relativamente no específicos, se diseñan para operar sobre un amplio rango de tasas de alimentación y condiciones de operación.

- **Plantas Piloto Para Propósito Único.** Estas se construyen para permitir la investigación en gran detalle de una parte del proceso, usualmente tienen claramente definida su finalidad y no requiere operaciones auxiliares para alcanzar su propósito.

- **Plantas Piloto Multipropósitos.** Estas se diseñan para dos o más propósitos diferentes los cuales requieren diferentes capacidades y diseños.

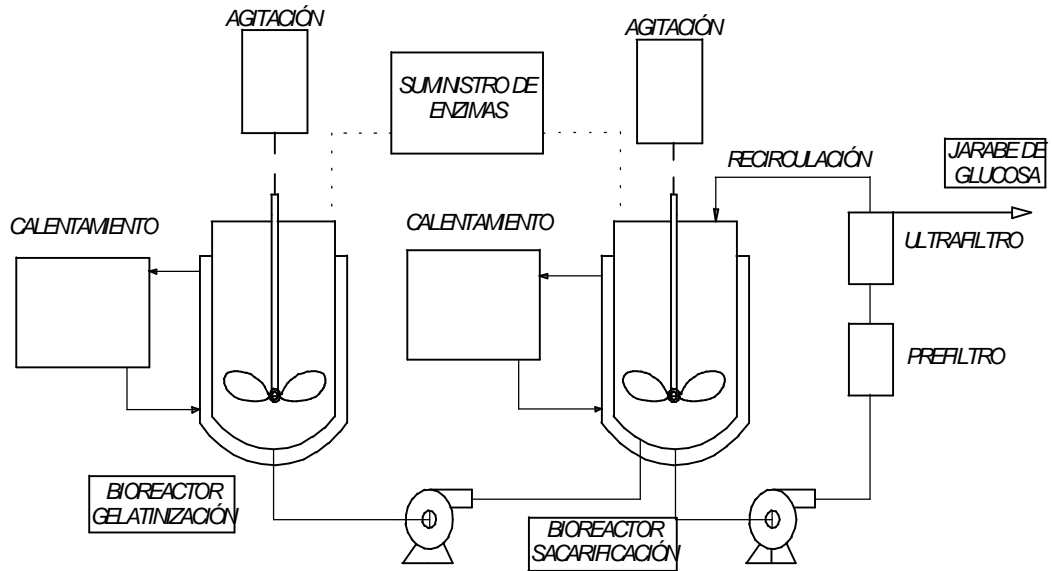
2.2 ESQUEMA GENERAL DE LA PLANTA PILOTO DESTINADA A LA PRODUCCIÓN DE JARABES DE GLUCOSA

La planta piloto que se desea construir es una planta a escala laboratorio para ser manipulada manualmente, en la cual se llevará a cabo la transformación de almidón de yuca a jarabe de glucosa mediante las siguientes etapas: gelatinización, liquefacción, sacarificación, ultrafiltración y otras las cuales son parámetros para el diseño y serán explicadas posteriormente en el capítulo 4.

La ventaja de una planta a esta escala es que no limita la utilidad de sus componentes para cumplir sólo un propósito, por el contrario permite una amplia gama de utilidades en procesos a pequeña escala diferentes al original.

A continuación en la figura 4 se quiere mostrar un esquema de la planta piloto donde se pueden apreciar componentes como los bioreactores que son considerados la parte principal de la planta puesto que es allí donde se llevan a cabo las reacciones químicas o bioquímicas según el caso, también tenemos una serie de sistemas auxiliares destinados a determinadas funciones como calentamiento, agitación, medición, bombeo, suministro de reactivos, filtración, que son en particular esenciales para el funcionamiento de la planta, y en general hay una gran variedad de sistemas auxiliares dependiendo de la clase y aplicación para la cual se requiere construir.

Figura 4. Esquema general de la planta



3. YUCA COMO MATERIA PRIMA DENTRO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 GENERALIDADES

La yuca, como muchos de nuestros productos agrícolas, está sujeta a variaciones considerables de producción que conllevan a naturales fluctuaciones de precios, con perjuicio, tanto para los productores como para los consumidores. En general su costo llega a valores mínimos en ciertas épocas del año y su utilización industrial se dificulta debido principalmente, en la incertidumbre de suministro de materia prima a las plantas transformadoras; de otra parte, se altera rápidamente y debe ser procesada dentro de un período de tiempo limitado, luego de su recolección; Además por su alto contenido de agua (63%) el transporte y la manipulación de la porción aprovechable se recarga excesivamente y genera la necesidad de realizar las transformaciones necesarias en el sitio de cultivo idealmente o por lo menos lo más cerca posible del mismo, que beneficien al campesino y estimulen su producción.

La yuca, una planta de raíz amilácea originaria de América tropical, remonta su origen a la época precolombina. Fue encontrada por los conquistadores en la hoya amazónica, en territorio que hoy pertenece a Brasil y Colombia.

Este arbusto se cultiva en tierras cuya altitud oscila entre el nivel del mar y los 1800 metros. En Santander la yuca se cultiva en Lebrija, Rionegro, San Vicente, Barranca, Socorro, San Gil y Vélez.

El cultivo se caracteriza por constituir una explotación diseminada en todo el Departamento en pequeñas parcelas, empleando sistemas empíricos de siembra y una gran cantidad de variedades, dejando enormes posibilidades de aumentar su producción por la existencia de vastas zonas aptas para su cultivo.

Para alcanzar su inmenso potencial industrial, este cultivo debe hacerse más competitivo mediante una mayor productividad a menores costos de producción y un procesamiento más eficaz por medio de adelantos tecnológicos.

La yuca por ser una fuente rápida de almidón, materia prima para la fabricación de alimentos balanceados para animales y de productos nuevos para el consumo humano, ha despertado en el sector privado un interés directo que ha llevado el desarrollo de investigaciones sobre este cultivo.

3.1.1 Tipos de yuca. El estudio en su etapa de laboratorio se realizó con materia prima (almidón) obtenida de las tres variedades de yuca (Amarga, Armenia y Chile) cultivadas en la provincia Guanenta (Santander). Dándole especial énfasis a la variedad amarga por contener el mayor contenido de cianuro de las tres variedades y por no ser apta para el consumo humano.

3.1.2 Botánica. La yuca es una planta monoica, de ramificación simpodial y porte arbustivo, que dependiendo de las condiciones ecológicas y las formas de cultivo puede alcanzar entre uno y cinco metros de altura. Sus raíces son tuberosas y pueden llegar a tener hasta 40 centímetros de largo y ocho centímetros de diámetro, aunque se ha dado el caso de raíces con mayores dimensiones.

Si a una raíz de yuca se le realiza un corte transversal, se apreciarán tres partes bien definidas que son la periderma ó cascarilla, parénquima cortical y parénquima interior. La periderma ó cascarilla es una película suberosa, delgada y de fácil remoción que llega a tener hasta cuatro milímetros de espesor. El parénquima cortical es coriáceo, quebradizo, lechoso y de un espesor hasta de cuatro milímetros.

El parénquima interior, que es una mezcla entre almidón y fibra principalmente, posee en muy poco porcentaje proteínas, aminoácidos y metales tales como potasio, calcio, zinc, magnesio y sodio entre otros.

Figura 5. Mata de yuca



En la distribución de las raíces, además del factor varietal, es evidente la influencia de la posición en que sea sembrada la estaca y del ángulo de corte de la estaca.

Figura 6. Raíces mata yuca



3.2 ALMIDÓN DE YUCA

La parte constitutiva que nos atañe para este proyecto es la que contiene el almidón (parénquima interior), compuesto sobre el cual gira la investigación. El contenido de almidón en la yuca es de aproximadamente 80% en peso.

El almidón es un compuesto que está formado por cadenas poliméricas α -glucosídicas que a su vez están formadas únicamente por el monómero D-glucosa. Este homopolímero, denominado glucano constituye la fuente más importante de carbohidratos de los alimentos y se encuentra en los cereales, las patatas, la yuca, las legumbres y en otros vegetales.

El almidón es la sustancia de reserva alimenticia predominante en las plantas y proporciona entre el 70 y el 80% de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo. La diferencia del almidón con respecto a los demás carbohidratos es que en la naturaleza se presenta como complejas partículas discretas (gránulos), los cuales son relativamente densos e insolubles en agua y fáciles de extraer. Estos gránulos pueden ser dispersados en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas y bombeadas, incluso a concentraciones mayores del 35%. La capacidad de formar soluciones viscosas (capacidad de formar geles) es alcanzada sólo cuando la suspensión de los gránulos es sometida a la acción del calor. En la tabla 1 se muestran algunas propiedades generales del almidón de yuca.

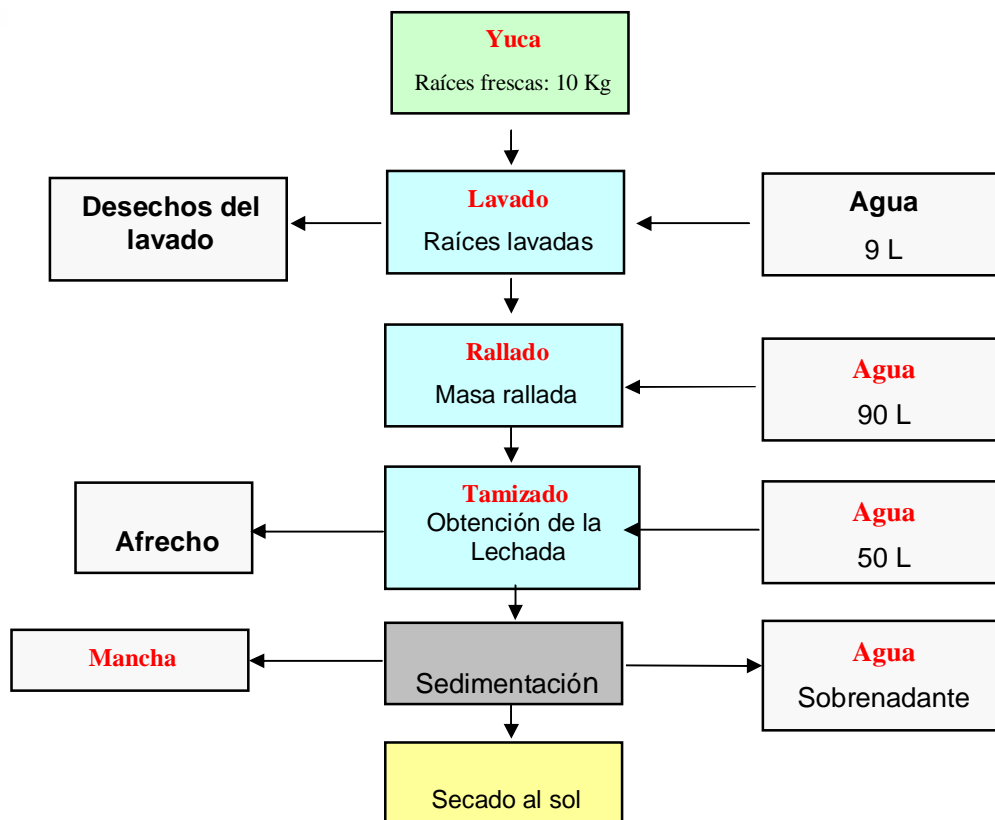
TABLA 1. Propiedades Generales del Almidón de Yuca

Propiedad	Especificación
Tamaño de Gránulo (eje mayor, μm)	4 – 35
Amilosa (%)	17 – 20
Amilopectina (%)	80 – 83
Temperatura de Gelatinización ($^{\circ}\text{C}$)^a	52 – 65
Viscosidad Relativa	Alta
Aspecto de la Pasta	Clara
Tendencia a Gelificar / Retrogradar	Media
Sabor	Insípido
Calor de Combustión (KJ/g)	17.6

La despolimerización del almidón, o hidrólisis, puede lograrse por medios químicos o a través de enzimas. Entre los productos que se obtienen en la hidrólisis del almidón se encuentran los jarabes de D-glucosa. La D-glucosa, es comúnmente denominada Dextrosa.

3.2.1 Forma de obtención. El almidón utilizado en la primera fase de investigación (escala laboratorio) se aisló utilizando el método propuesto por Andrea Carolina Cabanzo Olarte y Tatiana Luna Pineda en el proyecto “*Estudio del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca de Tres Variedades (Amarga, Armenia y Chile) y Evaluación de la Remoción del Cianuro en el Residuo Líquido Obtenido en la Sedimentación del Almidón*”, en ejecución, en la escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander (ver figura 7).

Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de obtención de almidón



Es de señalar que durante la fase de investigación en la planta piloto, el almidón por razones de uniformidad de la materia prima y costos, se compro en la ciudad de Cali a industrias del maíz Ltda.

3.2.2 Estructura Química. El almidón es un polímero cuyos monómeros son moléculas de α -D-glucosa unidas entre sí por enlaces α -(1 \rightarrow 6) y α -(1 \rightarrow 4) glucosídicos. Los gránulos de este glucano, están compuestos de una mezcla de dos polisacáridos, de los cuales uno es un polisacárido esencialmente lineal denominado amilosa y el otro es muy ramificado llamado amilopectina. Las cadenas de amilosa y de amilopectina se asocian por enlaces de hidrógeno entre los grupos alcohólicos directamente o por medio de moléculas de agua.

La solubilidad de la amilosa, en agua, es del 50% al 75% del contenido total de ésta en el almidón de yuca. La amilopectina, por su estructura es mucho más estable en soluciones acuosas. Los gránulos del almidón de yuca son de mayor tamaño, menos densos y más fáciles de cocinar que los gránulos del almidón de semillas.

La disposición espacial de las capas de los gránulos de almidón, que son parecidas a las de una cebolla, con la diferencia de que dichas capas no pueden separarse entre sí, son destruidas por tratamientos que pueden ser hidrotérmico o químico. Estos procesos en presencia de agua y una temperatura adecuada, hacen estallar ó desintegrar el gránulo para liberar amilosa y amilopectina.

3.2.3. Subproductos. El almidón de yuca es utilizado con diferentes aplicaciones en las industrias cervecera, papelera, textil y de alimentos.

Ésta última lo utiliza para producir edulcorantes y jarabes de D-glucosa entre otros.

Los azúcares representan la forma más común y conocida de los edulcorantes, ampliamente distribuido en la naturaleza se encuentran en frutas, vegetales, miel y leche. Son también las unidades que están constituidos por carbohidratos más complejos (polisacaridos): almidón, celulosa, pectina, glucógeno. Todos los carbohidratos deben ser desdoblados hasta azúcares simples (monosacáridos), para poder ser asimilados, siendo la glucosa y la fructosa lo más comunes.

La glucosa o dextrosa es la principal forma a la que otros azúcares son transformados en el cuerpo, por lo que es el principal azúcar encontrado en la sangre. La glucosa esta presente en muchas frutas y es la unidad de base del almidón, el glucógeno y la celulosa.

En la producción de jarabes de azúcar, el almidón de yuca, posee ventajas sobre almidones extraídos de otras fuentes, debido a que contiene bajo porcentaje de proteínas y de grasa, esto hace que al hidrolizar el almidón por medios químicos o enzimáticos se obtengan productos con mayor pureza.

4. JARABES DE GLUCOSA

4.1 GENERALIDADES

La glucosa es el monosacárido más abundante, se encuentra en diferentes frutas y hortalizas y su concentración depende básicamente del grado de madurez del producto; en las mieles se encuentra aproximadamente 40%.

Un producto Biotecnológico de gran demanda a escala mundial (aproximadamente 18 millones de [ton/año] en 1996) son los jarabes fructosados y glucosados. El proceso de producción de jarabes fructosados y glucosados a partir de almidón es un proceso que se ha establecido en el mundo desde principios del decenio de 1970, primero en Japón y luego en los Estados Unidos, y a mediados del decenio 1980 Canadá y la Comunidad Europea incursionan en esta línea de producción; en nuestro país a pesar de que la Biotecnología para este tipo de procesos ya existe, no se producen estos jarabes.

Los jarabes de D-glucosa son una mezcla entre una solución acuosa de D-glucosa, maltosa y otros oligosacáridos llamados dextrinas. Los jarabes de D-glucosa e hidrolizados vienen comúnmente caracterizados por su “equivalente de dextrosa” (ED)*, que está definido como: el porcentaje en peso de glucósidos reductores presentes en el jarabe con respecto al peso de los sólidos totales de oligosacáridos. Esto caracterizado en la ecuación 1.

* JHON, Bu'lock. ; BJORN, Kristiansen. Basic Biotechnology, London, Academic Press, 1998.

$$ED = \frac{W_{gr}}{W_{st}} * 100 \quad [1]$$

Donde:

Wgr: peso de glucósidos reductores presentes en el jarabe.

Wst: peso de los sólidos totales presentes en el jarabe.

Esta definición presenta sin embargo limitaciones pues, según el procedimiento tecnológico utilizado, dos productos de hidrólisis del almidón pueden tener composiciones muy diferentes teniendo globalmente el mismo DE. Para evitar posibles confusiones con el término de jarabes de D-glucosa, se ha determinado que “jarabes de D-glucosa” significa que la concentración de la solución contiene como mínimo 1/3 de D-glucosa.

4.2 USOS GENERALES

El jarabe de glucosa es de suma importancia para la industria, ya que tiene aplicación en procesos de producción de etanol y elaboración de cerveza, en la industria de alimentos (repostería, confitería, etc.), además, impide la cristalización de la sacarosa y otros azúcares, tiene la capacidad de bajar el punto de congelación de algunas soluciones, posee buena higroscopicidad, también controla la coloración morena de los azúcares reductores en la superficie durante la cocción.

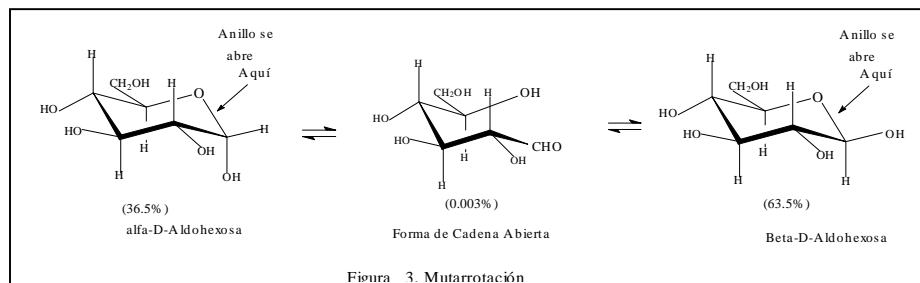
La glucosa tiene el 80% del poder edulcorante de la sacarosa.

4.3 FORMAS DE OBTENCIÓN

La destrucción controlada de las cadenas poliméricas ó hidrólisis del almidón, a través de soluciones básicas, ácidas ó catalizadas por enzimas, dan lugar a la progresiva formación de moléculas de maltosa, glucosa, dextrinas y otros azúcares.

Las características de los jarabes se obtienen según las condiciones de hidrólisis y el medio utilizado para dicha hidrólisis. La hidrólisis ácida permite obtener jarabes de D-glucosa con ED comprendidos entre 20 y 65. Sin embargo, cuando el DE es superior de 40 los productos de la hidrólisis se oxidan formando compuestos coloreados con sabor amargo. La hidrólisis enzimática puede producir jarabes poco dulces, ricos en dextrinas y pobres (<20%) en maltosa y D-glucosa y jarabes dulces de concentración de maltosa o D-glucosa superior al 90% en peso de los hidratos de carbono totales en base seca. En soluciones acuosas, la glucosa existe en una variación de rotaciones, denominado mutarrotación, que se da hasta alcanzar el equilibrio entre tres estructuras, de las cuales una es en forma de cadena abierta ó forma de aldehído y dos son isómeros cíclicos de D-glucosa, como se muestra:

Figura 8. Mutarrotaciones de la glucosa



Fuente: PAVLOV, K.F. ROMANKOV, P.G. NOVSKOV, A.A. Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Mir Moscú, 1981

La Hidrólisis: Es un proceso químico que rompe un enlace en presencia de agua y produce uno o varios compuestos. El término hidrólisis se aplica a reacciones químicas que bien pueden ser orgánicas o inorgánicas. La hidrólisis del almidón en este trabajo se realizó a través de enzimas, las cuales producen la destrucción de las cadenas poliméricas del almidón dando lugar a la progresiva formación de moléculas de maltosa, glucosa, jarabes de glucosa, entre otros.

- **Hidrólisis Ácida.** Las moléculas de almidón, como todos los polisacáridos, se despolimerizan por acción de los ácidos en caliente. Cuando los gránulos son expuestos a la acción de ácidos minerales muy diluidos y luego calentando ésta mezcla se obtiene la hidrólisis de los enlaces glucosídicos, retornando la molécula de almidón a su forma original, es decir, a sus monómeros principales de D-glucosa. Según el tiempo de calentamiento se obtiene el grado de despolimerización deseado. El ácido se neutraliza y se recupera el producto tras lavado y desecación.

- **Hidrólisis Enzimática.** Los componentes principales de almidón se pueden hidrolizar utilizando amilasas como catalizadores. Estas amilasas se dividen en dos clases, formalmente conocidas como Exo-enzimas y Endo-enzimas. Esta terminología es muy general, por lo tanto, es necesario precisar en la especificidad de cada enzima con respecto al tipo de unión glucosídica, esto es, la hidrólisis enzimática del almidón ocasionada por las α -(1 \rightarrow 4) hidrolasas y / ó por las α -(1 \rightarrow 6) hidrolasas.

4.4 NUESTRO PROCESO.

Luego de conseguir en estudios preliminares las mejores condiciones del proceso de producción de jarabes de glucosa por medio de un diseño experimental de tamizado y posteriormente un diseño de superficies de respuesta, se determinaron las variables significativas que atañan el proceso. A continuación se darán los pasos que se realizaron en el seguimiento analítico del proceso de producción de jarabes de glucosa.

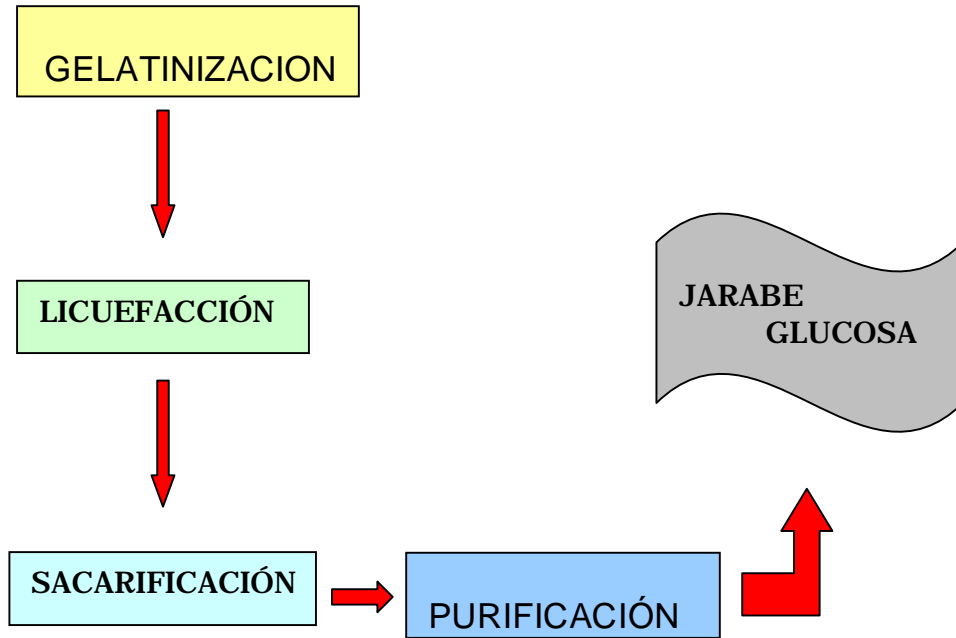
- ④ Curva de calibración de absorbancia en función de concentración de maltosa.
- ④ Preparación del reactivo DNS.
- ④ Preparación de las soluciones de maltosa.
- ④ Procedimiento para obtener los datos de la curva de calibración.
- ④ Curva de calibración de absorbancia en función de concentración de glucosa.
- ④ Determinación de la actividad enzimática de α -amilasa.
- ④ Determinación de la actividad enzimática de glucoamilasa.

Obtenido a nivel de laboratorio, los valores de las variables para así poder realizar la segunda etapa e iniciar el montaje a nivel de planta piloto con miras a generar una propuesta valedera para el SEPAS en la ciudad de San Gil y así llegar a pensar en un escalamiento de tipo microempresarial o semi-industrial.

Se puede resumir el proceso obtenido y comprobado en cuatro partes primordiales:

- ④ Gelatinización
- ④ Licuefacción
- ④ Sacarificación
- ④ Purificación

Figura 9. Diagrama de flujo proceso planta piloto



- Gelatinización.

Tabla 2. Parámetros Gelatinización

VARIABLES	MAGNITUD	UNIDAD
Temperatura	70	°C
Tiempo	30	Min.
Velocidad Agitación	150	R.P.M.

Cuando una suspensión de almidón es calentada, las moléculas de agua alrededor de los gránulos rompen los enlaces de hidrógeno en el interior del gránulo y éstos se hinchan. Este proceso es irreversible y ocurre

después que una temperatura crítica es alcanzada. Durante el proceso de calentamiento la suspensión de almidón aumenta su viscosidad y ocurre el proceso de gelatinización.

La gelatinización, además de alcanzarse por procesos térmicos, también puede lograrse por procesos químicos que afecten las fuerzas asociativas y alteren la temperatura de gelatinización. Algunas moléculas cortas de amilosa se disuelven y se difunden fuera de los gránulos gelatinizados; las moléculas más largas de amilosa refuerzan la estructura de los gránulos gelatinizados. Estos cambios tienen lugar sobre un rango de temperatura que fueron determinados durante la fase inicial (laboratorio) de este proyecto.

El calentamiento continuado de los gránulos de almidón con exceso de agua da lugar a un mayor hinchamiento, lixiviación adicional de componentes solubles (amilosa principalmente) y eventualmente, si se aplican fuerzas de cizalla, disrupción total de los gránulos. El exceso de agua hace que los gránulos de almidón alcancen un tamaño varias veces superior al original, si esta suspensión se agita moderadamente y se calienta los gránulos de almidón embeben agua hasta que la mayor parte es absorbida por ellos forzándolos a hincharse, romperse fácilmente y desintegrarse por agitación, lo que resulta en una disminución de la viscosidad. Al enfriarse la suspensión, algunas moléculas de almidón se reasocian parcialmente para formar un precipitado o gel.

- Licuefacción.

Tabla 3. Parámetros Licuefacción

VARIABLES	MAGNITUD	UNIDAD
Temperatura	55	°C
Tiempo	30	Min.
Velocidad Agitación	150	R.P.M.

Es el segundo paso en la producción de glucosa. En este proceso, una solución de alta concentración de almidón es calentada para gelatinizarlo. Actualmente se ocupan alfa amilasas termo resistentes que actúan a temperaturas de 90 – 95 °C producidas por el bacillus licheniformis que permite efectuar la gelatinización y licuefacción simultáneamente. La hidrólisis se lleva a cabo hasta alcanzar un ED de 10, suficiente para evitar el fenómeno retrogradación del almidón. (ED: para la caracterización de hidrólisis del almidón se emplea un parámetro que define el grado de hidrólisis denominado equivalente dextrosa).

Desde el punto de vista cinético, el paso de licuefacción es difícil de caracterizar por la variación del sustrato durante la reacción. La alfa amilasa es una endoamilasa con actividad solo para los enlaces alfa 1-4, inactiva hacia los enlaces alfa 1-6, de la amilopectina. Por esta razón se obtiene toda una gama de productos: alfa dextrinas provenientes de la amilopectina y oligosacáridos provenientes tanto de la amilopectina como de la amilosa.

- Sacarificación.

Tabla 4. Parámetros Sacarificación

VARIABLES	MAGNITUD	UNIDAD
Temperatura	55	°C
Tiempo	30	Min.
Velocidad Agitación	150	R.P.M.

Los procesos enzimáticos para la producción de glucosa requieren de una tercera etapa después de la licuefacción del almidón. Esta etapa se efectúa con una enzima conocida como amiloglucosidasa o glucoamilasa, de origen microbiano. Que tiene la característica de ser una exoamilasa que libera glucosa fundamentalmente de enlaces alfa 1-4, pero también de enlaces alfa 1-6 aunque a una velocidad inferior, lo que permite hidrolizar las alfa dextrinas.

El hidrolizado de almidón con alfa amilasa es ajustado a ph de 4.5, después de haber desactivado la primera enzima, la reacción se efectúa a 55 °C de esta forma es posible alcanzar entre un 92 y 96% de glucosa.

- Purificación.

Tabla 5. Parámetros Purificación

VARIABLES	MAGNITUD	UNIDAD
Temperatura	55	°C
Tiempo	30	Min.
Caída de Presión Máx. Prefiltro	50	P. S. I.
Caída de Presión Máx. Ultra filtro	20	P. S. I.

Debido a que el mercado exige un jarabe de glucosa sin coloración, impurezas y trazas de elementos extraños, se hace necesario purificarlos. Para este fin existen métodos convencionales entre los cuales se encuentran floculación, coagulación, centrifugación, filtración, sedimentación y ultrafiltración, además existen agentes adsorbentes como el carbón activado, la bentonita y tierras diatomáceas. La purificación es conseguida de manera excelente cuando se utiliza una membrana de ultrafiltración.

La filtración ó ultrafiltración molecular es una técnica que separa por medio de una membrana sustancias de acuerdo a su tamaño y forma molecular; la carga de la molécula también puede jugar un rol muy importante. Las membranas de ultrafiltración utilizadas en la purificación de azúcares han sido estudiadas desde los años 1970. En los primeros trabajos se emplearon membranas poliméricas para reacciones enzimáticas. Las membranas de ultrafiltración separan moléculas de tamaño que van desde 100 hasta 1'000.000 de Daltons.

La ultrafiltración necesita una diferencia de presión a través de la membrana semipermeable de tal forma que la diferencia de concentración de soluto conduzca los materiales a través de la membrana permeable. Por ésta razón la ultrafiltración separa el soluto del retenido y concentra más rápidamente los materiales.

Al término de la hidrólisis y una vez desactivada la enzima, el jarabe es purificado mediante filtración, tratamiento con carbón activo e intercambio iónico Posteriormente se evapora la solución para concentrar el jarabe de glucosa.

4.5 EQUIPOS UTILIZADOS

Durante las dos fases del proyecto (Laboratorio y Planta piloto), se vieron involucrados una gran cantidad de equipos que se especifican a continuación informando sus características mas relevantes.

4.5.1 Equipos auxiliares. Para ver los elementos mencionados a continuación, ver ANEXO E fotos de equipos.

Tabla 6. Bombas

EQUIPO	FASE	MARCA	FUNCIÓN	CARACTERISTICAS
Bomba Peristáltica	1 Y 2	Cole parmer	Impulsar la solución	115 [V] Cabezal intercambiable Capacidad 1 manguera
Bomba Peristáltica	2	Buchler Instrument	Impulsar la mezcla a través del prefiltro	115 [V] Cabezal fijo Capacidad 5 mangueras
Bomba Peristáltica	2	Buchler Instrument	Impulsar la mezcla a través del prefiltro	115 [V] Cabezal fijo Capacidad 5 mangueras

Tabla 7. Baños termostatados

EQUIPO	FASE	MARCA	FUNCIÓN	CARACTERISTICAS
Baño termostatado	1 Y 2	MLW MK 70	Calefacción	Potencia: 1.13 [KW] Bomba de recirculación Volumen: 19.3 [L] Velocidad de calentamiento: 0.33[°C/min]
Baño termostatado	1 y 2	PS (precisión Scientific)	Calefacción	Potencia 1.017 [KW] Corriente manejada: 8.5 [A] No posee bomba recirculación

Tabla 8. Agitadores y variadores

EQUIPO	FAS E	MARCA	FUNCIÓN	CARACTERISTICAS
Agitador Gelificación	2	Siemens	Agitar la mezcla durante la Gelificación	Potencia: 0.4 [HP] Alimentación: 220 [V] C.A. Variación: digital
Agitador Licue-Saca.	1 y 2	Baldor Instruments	Agitar la mezcla durante la licuefacción y sacarificación	Potencia: 1/10 [HP] Alimentación: 110 [V] C.C. Variación: análoga

Tabla 9. Varios

EQUIPO	FASE	MARCA	FUNCIÓN	CARACTERISTICAS
Ph-metro	1 Y 2	Schott Generate Handy lab 1	Verificación PH Mezcla	Voltaje: 6 [V] Rango de Temperatura: 2- 90[°C]
Espectro Fotómetro	1 y 2	MERCK Spectroquant NOVA 400	Revisión de datos por absorbancia en las muestras	Temperatura de Trabajo: 5 -35 [°C] Voltaje: 110 [V]
Termoreactor	1 y 2	MERCK Spectroquant TR 620	Acondicionar temperaturas de las muestras para su análisis	Tmax: 170 [°C] Potencia: 560 [W] Peso: 3.6 [Kg] Alimentación: 115/23 [V]
Balanza	1 y 2	OHAUS Precision Estándar TS 120s	Dosificación Precisa de reactivos	Capacidad: 120 [g] Precisión: 0.001 [g] Alimentación: 230 [mA]
Desionisador	1 y 2	Fabricado por el laboratorio	Desionisar el agua para los procesos del proyecto	Material: tubería PVC Funcionamiento continuo en línea con la red del acueducto
Secador Cabina	1 y 2		Permite el manejo de sustancias volátiles, absorbe los vapores emanados	Estructura rígida fija a la pared Panel frontal en vidrio pyrex Extractor superior con venteo exterior.

4.5.2 Accesorios.

Tabla 10. Accesorios

EQUIPO	FAS E	MARCA	FUNCIÓN	CARACTERISTICAS
Prefiltro	1 y 2	Millipore opticap XL5	Realiza un filtración preliminar de la mezcla	Presión máx.: 50 [PSI] Diámetro in out: 9/16" Tamaño nominal: 50000 [Daltons] = 1.0 [mm] Material: Polyethersulfone
Ultra filtro	1 y 2	Millipore PTC prep. Scale	Retiene la enzima para recircularla al reactor	Presión máx.: 20 [PSI] Diámetro in out: 9/16" Tamaño nominal: 10000 [Daltons] Ttrabajo: 4-55 [°C] Material: Polyethersulfone
Probetas	1 y 2	Silver brand	Toma de muestras	Volumen: 100[ml]
Manguera	1 y 2	Masterflex Tygon 3350	Transporte de las mezclas en el proceso	Material: silicona Tamaño: 96420*16
Pipetas	1 y 2	Silver brand	Toma de muestras	Vidrio: Pyrex Volumen: 5-10 [ml]
Balones aforados	1 y 2	Silver brand	Contener muestreos	Vidrio: Pyrex Volumen: 100-500 [ml]
Micropipeteadores	1 y 2	MERCK	Toma de muestras	Plástico termo resistente y sanitario
Tubos ensayo	1 y 2	Silver brand	Contener muestreos	Vidrio: Pyrex Volumen: variado
Buretas	1 y 2	Silver brand	Contener muestreos	Vidrio: Pyrex Volumen: 25[ml]
Vasos precipitado	1 y 2	Silver brand	Contener muestreos	Vidrio: Pyrex Volumen: 5-250 [ml]
Soportes universales	1 y 2	Lab system	Sostener accesorios	Acero inox y fundición Dimensiones: variadas

5. BIOREACTORES

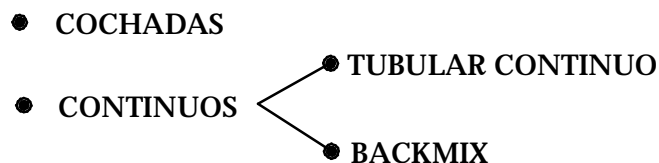
5.1 GENERALIDADES

El término reactor químico se aplica a cualquier equipo que sirve para alojar una reacción química, en otras palabras para convertir compuestos moleculares en otros compuestos moleculares. Sin embargo, esta terminología se limita al caso en el cual la conversión química se lleva a cabo para producir uno o más compuestos químicos predeterminados o para remover uno o más compuestos de una mezcla, por tanto se excluyen los sistemas con otros propósitos como la conversión de energía.

Los bioreactores son reactores químicos utilizados en biotecnología los cuales ofrecen condiciones especiales para el cultivo de células y permiten el desarrollo exitoso de reacciones que involucran antibióticos, vacunas, enzimas, etc.

5.2 TIPOS DE REACTORES

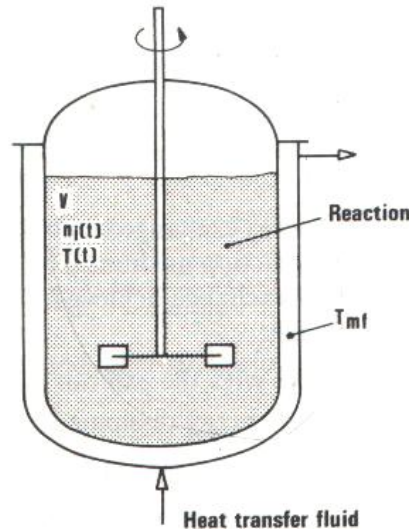
Según el criterio de modo de operación los reactores se clasifican de la siguiente manera:



5.2.1 Reactor Tipo Cochadas (Batch). Es el equipo más simple concebido para una transformación química. Consiste de un recipiente en el cual los reactantes se introducen al comienzo de la operación, luego se condicionan la presión, la temperatura y la reacción toma lugar en un grado de conversión deseada. Esta unidad consta de los siguientes componentes:

- Ⓢ Un recipiente para contener cierto volumen de fluido de reacción.
- Ⓢ Una superficie usada para la transferencia de calor.
- Ⓢ Un sistema de agitación para mezclar los reactantes al comienzo si es necesario y mejorar la transferencia de calor del fluido con las superficies en contacto.

Figura 10. Reactor tipo batch

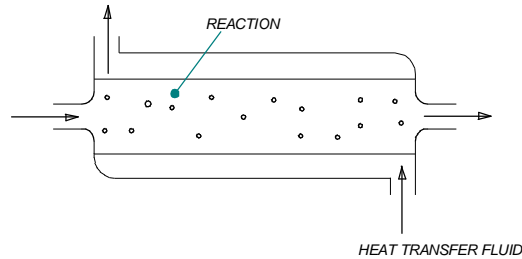


Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

5.2.2 Reactor Tubular Continuo. El reactor tubular, en su forma elemental, consiste en un tubo dentro del cual fluye el medio de reacción, esto lo hace la estructura más simple para una operación en continuo. El intercambio

de calor necesario para añadir o retirar calor del sistema ocurre a través de la pared del tubo.

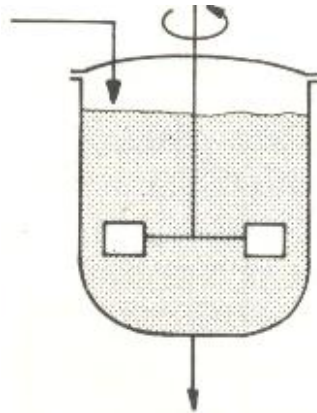
Figura 11. Reactor tubular continuo



Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

5.2.3 Reactor Tipo Backmix. En este equipo se asume que en ningún punto de tal unidad se tiene la misma temperatura o concentración. También se tiene un sistema de alimentación constante de reactantes al igual que un sistema para remover los productos de la reacción.

Figura 12. Reactor tipo backmix.



Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

Este tipo de reactores son a menudo colocados en una distribución llamada cascada para elaborar diferentes procesos en serie con el fin de

obtener un compuesto determinado si las condiciones de dichos procesos lo permiten.

5.3 NECESIDAD A SATISFACER POR LOS BIOREACTORES EN LA PLANTA PILOTO

La planta requiere dos bioreactores, uno para realizar procesos como gelificación y licuefacción en los cuales se lleva a cabo la preparación del jarabe glucosado

También un bioreactor donde se llevará a cabo un proceso llamado sacarificación y se instalará para trabajar de forma continua (tipo backmix) con un ultrafiltro el cual devuelve al bioreactor el fluido que no ha sido completamente procesado por la enzima.

Las características y condiciones de operación que debe tener cada bioreactor están descritas en la tabla 11.

Tabla 11. Condiciones de cada bioreactor

BIOREACTOR	FUNCIÓN	Rpm	VOLUMEN	PRESIÓN DE TRABAJO	PRESIÓN DE DISEÑO	TEMP. DE TRABAJO
1	Sacarificación Tipo continuo	150	10 Lt	5 psi	30 psi	70°C
2	Gelificación Tipo (batch)	150	10 Lt	5 psi	60 psi	70°C

Sin embargo los bioreactores se construirán con los accesorios necesarios, descritos en la tabla 12, para que la planta piloto ofrezca cierta flexibilidad de uso de los bioreactores en cualquier tipo de proceso, batch ó backmix, y puedan ser utilizados como equipos de laboratorio en otras investigaciones.

Tabla 12. Accesorios de cada bioreactor

BIOREACTOR	Calefacción ¹	Agitación ²	Agujeros para instrumentos de medición ^s	visor ^s	Válvula de descarga ^s
1	Chaqueta	Rhuston	Temperatura, presión, muestras, adición de reactivos.	Visor lateral	De émbolo
2	Chaqueta	Anchor Y Rhuston	Temperatura, presión, muestras, adición de reactivos.	Sin visor	De émbolo

La planta piloto debe cumplir con normas sanitarias no sólo por tratarse de investigación con productos alimenticios como son los edulcorantes, sino también porque los bioreactores deben alojar reacciones que involucran procesos enzimáticos los cuales requieren condiciones especiales para evitar cualquier tipo de contaminación por contacto con las superficies

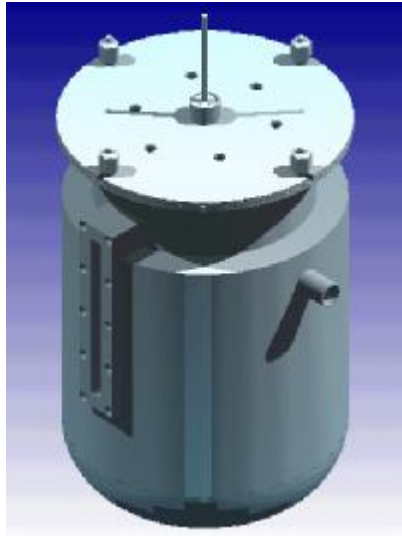
¹ Este sistema se explicará en detalle en el capítulo 6.

² Este sistema se desarrolla en el capítulo 7.

* Estos detalles se tratan más adelante durante el desarrollo del capítulo 5.

5.4. SOLUCIÓN ADOPTADA PARA EL PROCESO DE GELIFICACIÓN Y LICUEFACCIÓN

Figura 13. Bioreactor



Se decidió que estos dos procesos se podían realizar en el mismo bioreactor puesto que las condiciones son similares y son procesos secuenciales.

Para satisfacer las necesidades de la planta piloto se requiere operar este bioreactor en cochadas para la preparación de jarabe glucosado el cual se produce en un tiempo aproximado de una hora, luego se almacena y se dispone para ser utilizado en otro proceso

Cálculos y selección: A continuación se desarrollan los cálculos necesarios y los parámetros a tener en cuenta en el diseño de los bioreactores, para lo cual se tiene en cuenta la sección VIII del código ASME para el diseño de

recipientes a presión, recomendaciones de las normas TEMA y demás procedimientos de cálculo referenciados en la bibliografía.

☉ **Selección del material:** Un reactor, durante su operación, está sujeto a una gran variedad de ambientes los cuales deben ser soportados por los materiales de los que se construyen, por tanto debemos analizar las cualidades que debe tener el material:

- a. capacidad para el conformado. Desde este punto de vista los metales son irremplazables, además las técnicas para su soldadura están casi siempre disponibles.
- b. Capacidad para soportar esfuerzos térmicos, mecánicos, químicos y a menudo combinados.

Dado que los esfuerzos químicos incluyen la corrosión en todas sus formas, es importante tener en cuenta los tipos de daños que se pueden producir por la corrosión:

- ▶ **Corrosión uniforme:** cuando hay ataque progresivo y disminuye el grosor del material. Esto se previene fácilmente especificando un grosor extra en el diseño.
- ▶ **Corrosión intergranular:** es el ataque de las fronteras de grano, produce la desintegración del material, es un proceso lento y no siempre se puede predecir.
- ▶ **Corrosión local:** cuando se producen pequeñas perforaciones en lugares específicos, algunas veces la perforación puede ser total como en el caso del acero inoxidable en presencia de iones de cloro.
- ▶ **Agrietamiento:** este es el daño más peligroso sufrido por los metales sometidos a tensión bajo ambientes corrosivos.

- ▶ Corrosión galvánica: causada por la unión de dos metales de diferentes potenciales, produce la disolución del metal más electronegativo.
- ▶ Corrosión por impacto y erosión: puede causar daño rápido del material sobre ciertas velocidades del fluido.

Hay una gran gama de materiales usados en bioreactores tales como metálicos, materiales inorgánicos no metálicos y polímeros. Dentro de los materiales metálicos se destacan los aceros especialmente el acero inoxidable para aplicaciones donde las temperaturas no son muy altas.

También se debe tener en cuenta el grado de aleación de los aceros puesto que estos favorecen algunas aplicaciones como el Cr que evita la oxidación, el Mo que garantiza satisfactoriamente la protección contra el agrietamiento por corrosión, aleaciones con Ni-Cr que favorecen la resistencia al impacto, etc. En la tabla 13 se muestran algunos aceros inoxidables recomendados con sus componentes aleantes.

Tabla 13. Aceros inoxidables usados en la construcción de bioreactores.

Denomination				Composition per cent weight						
France	West Germany	USA	United Kingdom	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Other
Z2.CN.18.10	X2.Cr-Ni 18.09	304 L	304 S 12	max 0.03	max 2	max 1	8-12	17-20	-	-
Z6.CN.18.09	X5.Cr-Ni 18.09	304	304 S 15	max 0.08	max 2	max 1	8-12	17-20	-	-
Z6.CN.T.18.11	X10.Cr-Ni-Ti 18.09	321	321 S 12	max 0.08	max 2	max 1	8-12	17-20	-	Ti > 5% max 0.6
Z2.CND.17.12	X2.Cr-Ni-Mo 18.10	316 L	316 S 12	max 0.03	max 2	max 1	10-14	16-18.5	2-3	-
Z6.CND.17.11	X5.Cr-Ni-Mo 18.10	316	316 S 16	max 0.08	max 2	max 1	10-14	16-18.5	2-3	-
Z8.CND.T.17.12	X10.Cr-Ni-Mo-Ti 18.10	316 Ti	320 S 17	max 0.10	max 2	max 1	10-14	16-18.5	2-3	Ti > 5% Ti max 0.6

Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

Puesto que el bioreactor sólo va a ser utilizado en procesos enzimáticos los cuales no generan ambientes agresivos sino que por el contrario deben mantenerse dentro de recipientes que ofrezcan altas condiciones sanitarias, el material seleccionado para la construcción es el acero inoxidable 304.

- **Determinación de las dimensiones:** las dimensiones básicas del bioreactor son el diámetro(D) y la altura(h), cuya determinación se hace a partir del volumen que debe tener el recipiente cilíndrico:

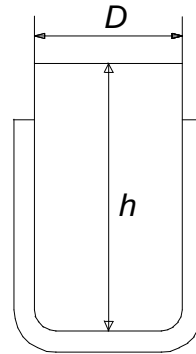
$$V = \frac{p * D^2}{4} h$$

Donde, V: volumen del recipiente.

Para un volumen de trabajo de 10 litros es recomendable un volumen total del 30% mayor, por tanto el volumen de diseño es de 13 litros. Para este volumen se obtienen las siguientes dimensiones:

$$D = 21\text{cm}$$

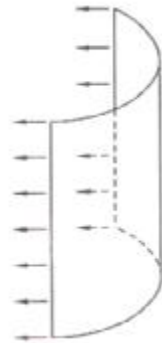
$$h = 38\text{cm}$$



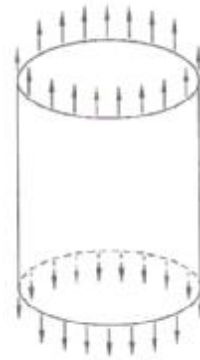
- **Cálculo del espesor:** Las reglas para cascos cilíndricos en la sección VIII-1 y VIII-2 del código ASME toman en consideración presiones internas, externas y cargas axiales. El cálculo del espesor para una sección circular con grosor uniforme en dirección circunferencial y longitudinal de

pared delgada puesto que las presiones de trabajo son bajas, es como sigue:

Figura 14. Diagrama de distribución de los esfuerzos a) circunferenciales y b) longitudinales



a)



b)

$$g_o = \frac{P * R}{S * E - 0.6P}$$

Donde; **g_o** = espesor del cilindro
P = presión interna
R = radio interno
S = esfuerzo admisible* del material
E = factor de eficiencia de la junta

La presión de diseño seleccionada es de 30 psi.

* UCS-23 y UHA-23 para aceros de baja y alta aleación respectivamente según la sección VIII código ASME

El esfuerzo permisible del material (S) se establece mediante el criterio del código ASME sección VIII-1. Como se muestra en la tabla 14:

Tabla 14. Criterio para establecer el valor del esfuerzo admisible

Product/Material	Below Room Temperature		Room Temperature and Above						
	Tensile Strength	Yield Strength	Tensile Strength		Yield Strength		Stress Rupture		Creep Rate
Wrought or cast ferrous and nonferrous	$\frac{S_T}{4}$	$\frac{1}{2} S_Y$	$\frac{S_T}{4}$	$\frac{1.1}{4} S_T R_T$	$\frac{1}{2} S_Y$	$\frac{1}{2} S_Y R_T$ or $0.9 S_Y R_T$ (Note 111)	$0.67 S_{max}$	$0.85 S_{min}$	$1.0 S_T$
Welded pipe or tube, ferrous and nonferrous	$0.85 \frac{S_T}{4}$	$\frac{1}{2} \times 0.85 S_Y$	$0.85 \frac{S_T}{4}$	$\frac{(1.1 \times 0.85)}{4} S_T R_T$	$\frac{1}{2} \times 0.85 S_Y$	$\frac{1}{2} \times 0.85 S_Y R_T$ or $0.9 \times 0.85 S_Y R_T$ (Note 111)	$(0.67 \times 0.85) S_{max}$	$(0.8 \times 0.85) S_{min}$	$0.85 S_T$
Ferrous materials, structural quality for pressure retention applications	$0.92 \frac{S_T}{4}$	$\frac{1}{2} \times 0.92 S_Y$	$0.92 \frac{S_T}{4}$	$\frac{(1.1 \times 0.92)}{4} S_T R_T$	$\frac{1}{2} \times 0.92 S_Y$	$\frac{1}{2} \times 0.92 S_Y R_T$	NA	NA	NA
Ferrous materials, structural quality for nonpressure retention functions	$\frac{S_T}{4}$	$\frac{1}{2} S_Y$	$\frac{S_T}{4}$	$\frac{1.1}{4} S_T$	$\frac{1}{2} S_Y$	$\frac{1}{2} S_Y R_T$	NA	NA	NA

Fuente: FARR, James R.; JAWAD, Maan H. Guide Book For The Design Of ASME Section VIII Pressure Vessels. ASME Press. 1998

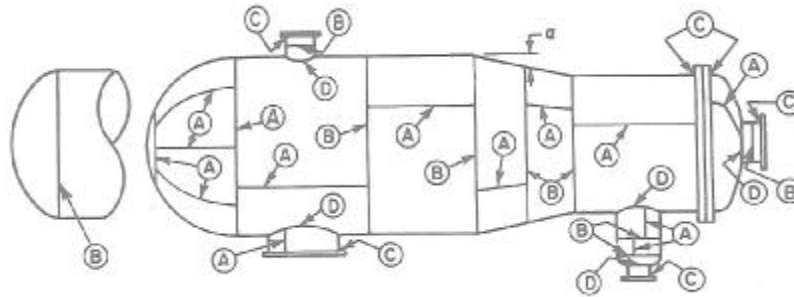
$$S = 2/3 * S_y$$

$$S = 2/3 * (35000psi) = 23333 psi.$$

Para determinar el factor de junta se utilizan la categoría de junta soldada A; B; C y D, las cuales se observan en la figura 15.

Con base en la categoría y a los procesos de soldadura se escoge el factor de junta en la tabla 15.

Figura 15. Categorías de juntas soldadas



Fuente: FARR, James R.; JAWAD, Maan H. Guide Book For The Design Of ASME Section VIII Pressure Vessels. ASME Press. 1998

El factor de junta escogida según las categorías del bioreactor, con cordones de soldadura simples y sin ningún grado de examinación radiográfica es $E=0.5$

Reemplazando los valores en la fórmula se obtiene:

$$g_o = \frac{30 \text{ psi} * 4.13 \text{ in}}{23333 \text{ psi} * 0.5 - 0.6 * 30 \text{ psi}} = \mathbf{0.011 \text{ in}}$$

Teniendo en cuenta recomendaciones de las normas ASME y factores de seguridad por corrosión se selecciona un espesor de 2.8 mm lo que corresponde al calibre 12.

- **Diseño de la brida:** el diseño de la brida se hace de acuerdo a las normas ANSI B16.5 para conexiones bridadas y la AWWA 207-55 para bridas mayores de 6 pulgadas.

Para determinar las fuerzas que actúan sobre la brida seleccionamos primero el empaque y las fuerzas de apriete requeridas por los pernos:

Tabla 15. Factores de eficiencia de juntas soldadas.

Type No.	Joint Description	Limitations	Joint Category	Degree of Radiographic Examination		
				a Full	b Spot	c None
(1)	Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surfaces to agree with the requirements of UW-35. Welds using metal backing strips which remain in place are excluded.	None	A, B, C & D	1.0	0.85	0.70
(2)	Single-welded butt joint with backing strip other than those included under (1)	(a) None except as shown in (b) below	A, B, C & D	0.90	0.80	0.65
		(b) Circumferential butt joints with one plate offset, see UW-13(c) and Fig. UW-13.1(k).	A, B & C	0.90	0.80	0.65
(3)	Single-welded butt joint without use of backing strip	Circumferential butt joints only, not over 5/8 in. thick and not over 24 in. outside diameter	A, B & C	NA	NA	0.60
(4)	Double full fillet lap joint	Longitudinal joints not over 3/8 in. thick	A	NA	NA	0.55
		Circumferential joints not over 5/8 in. thick	B & C	NA	NA	0.55
(5)	Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17	(a) Circumferential joints ⁹⁾ for attachment of heads not over 24 in. outside diameter to shells not over 1/2 in. thick	B	NA	NA	0.50
		(b) Circumferential joints for the attachment to shells of jackets not over 5/8 in. in nominal thickness where the distance from the center of the plug weld to the edge of the plate is not less than 1-1/2 times the diameter of the hole for the plug.	C	NA	NA	0.50
(6)	Single full fillet lap joints without plug welds	(a) For the attachment of heads convex to pressure to shells not over 5/8 in. required thickness. Only with use of fillet weld on inside of shells, or				
		(b) For attachment of heads having pressure on either side. To shells not over 24 in. inside diameter and not over 1/4 in. required thickness with fillet weld on outside of head flange only.	A & B	NA	NA	0.50

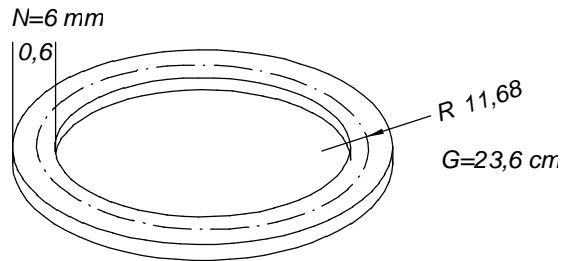
Fuente: FARR, James R.; JAWAD, Maan H. Guide Book For The Design Of ASME Section VIII Pressure Vessels. ASME Press. 1998

Variables de entrada:

G= diámetro medio del empaque
b_o = constante de asentamiento del empaque
b= ancho efectivo del empaque
m y y= constantes por material y forma del empaque
N= ancho del empaque
W_{m1} = carga en el perno en la condición de operación
W_{m2} = carga en el perno en la condición de asentamiento
H= fuerza ejercida por la presión interna
H_p = fuerza ejercida por la presión remanente del empaque
P= presión interna.
A_m = área apernada requerida
A_b = área de los tornillos
S_b = esfuerzo admisible del perno a la temperatura de operación
S_a = esfuerzo admisible del perno a la temperatura de ambiente
N_{per} = número de pernos
A_i = área de cada tornillo
C_1 = círculo de pernos geométrico por tamaño de la brida
C_2 = círculo de pernos por espaciamiento mínimo entre ellos
B= diámetro interno del recipiente
g_o = espesor del casco
W= carga máxima de apriete en el tornillo
M_o = momento total en la brida en la condición de operación
K= relación de diámetros en la brida
A= diámetro externo de la brida
t= espesor de la brida

Para el empaque seleccionado de nitrilo sanitario con las dimensiones mostradas en la figura 16 procedemos a determinar el número de tornillos.

Figura 16. Dimensiones del empaque



Datos del empaque:

b_o	$b = b_o$	m	y	N	G
3 mm	3 mm	0.5	0	0.6 cm	23.6 cm

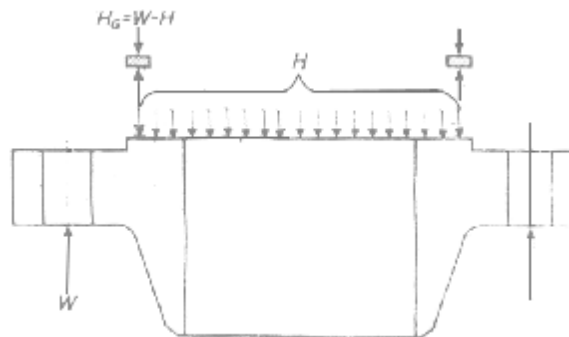
Procedimiento para el cálculo de los tornillos:

✓ Carga requerida por el perno:

a. En la condición de operación

$$Wm_1 = H + Hp = \frac{P}{4} G^2 P + 2bpGmP \quad (4)$$

Figura 17. Carga sobre los pernos



$$W_{m1} = \frac{P}{4} * \left(\frac{23.6}{2.54}\right)^2 * 30 + 2 * \left(\frac{0.3}{2.54}\right) * P * \left(\frac{23.6}{2.54}\right) * 0.5 * 30$$

$$W_{m1} = 2137.5lb$$

$$H = 2034 lb$$

b. En la condición de asentamiento

$$W_{m2} = b p G y$$

$$W_{m2} = 0$$

✓ **Determinación del área apertada requerida:**

$$A_m = \frac{W_{m1}}{S_b} \text{ ó } \frac{W_{m2}}{S_a}$$

Reemplazando el valor del esfuerzo permisible del acero inoxidable AISI 304 (ver anexo D), el cual fue el seleccionado para los pernos, con un factor de seguridad de 1.5, se obtiene lo siguiente:

$$A_m = \frac{2137.5lb}{23333 \frac{lb}{in^2}} = 0.092in^2$$

Para determinar el número de pernos se selecciona un diámetro de perno y luego se comprueba que se puedan colocar en la circunferencia de la brida. Las dimensiones de la brida se pueden observar más adelante en la figura 18. Seleccionando un perno de 3/8 in (ver anexo 2) de diámetro se obtiene;

$$N_{per} = \frac{0.092}{0.059} = 1.6$$

Tomamos el número de pernos mínimo para garantizar el sellado adecuado a lo largo de la brida como 4 pernos.

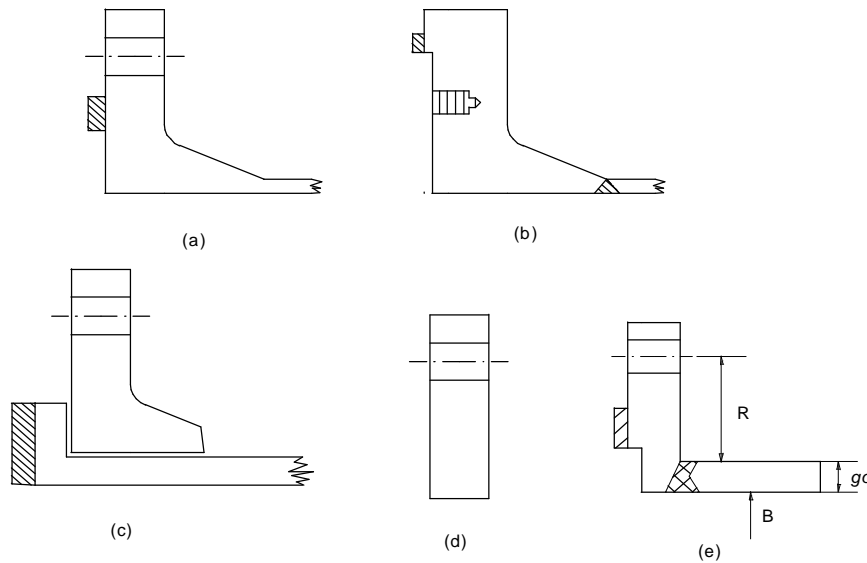
Por lo tanto para este número de pernos el área A_b corregida y la carga máxima sobre los tornillos son:

$$A_b = 4 * (0.059 \text{ in}^2) = 0.236 \text{ in}^2$$

$$W = 0.5 * (A_b + A_m) * S_a = 3822.09 \text{ lb}$$

▼ **Determinación de las cargas sobre la brida:** dentro de las clases de brida mostradas a continuación en la figura 18 se seleccionó una brida integral tipo opcional figura 18e, la cual cubre los diseños en donde la unión de la brida al recipiente o a la pared del tubo es de tal forma que el ensamble se considera como una unidad y el tubo o recipiente actúa como el cuerpo de la brida.

Figura 18. Tipos de bridas



a, b; bridas tipo integral; c,d; bridas tipo suelto; e; brida tipo opcional.

Fuente: FARR, James R.; JAWAD, Maan H. Guide Book For The Design Of ASME Section VIII Pressure Vessels. ASME Press. 1998

La brida seleccionada debe cumplir con los siguientes requerimientos:

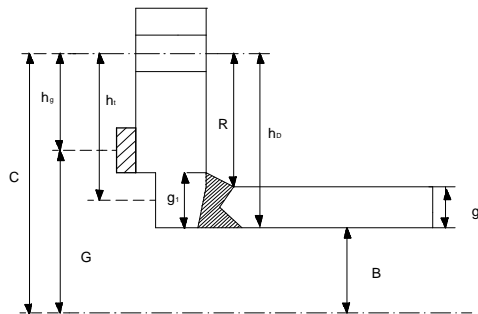
Tabla 16. Recomendaciones para la brida

ESTOS VALORES NO DEBEN EXCEDER	
COTA	RECOMENDACIONES
g_o	5/8 in
B/g_o	300
CONDICIONES DE OPERACIÓN	
PRESIÓN	300 psi
TEMPERAT	700 °F-357 EC

Fuente: FARR, James R.; JAWAD, Maan H. Guide Book For The Design Of ASME Section VIII Pressure Vessels. ASME Press. 1998

✓ Determinación de los brazos de momento en la brida

Figura 19. Brazos de momento y dimensiones de la brida



GEOMETRIA DE LA BRIDA(in)	
t	0,197
g_1	0.117
g_0	0,109
B	8,268
G	9,291
R	0,886
A	10,630
C	9,843

Las distancias se calculan según la tabla 5:

Tabla 17. Fórmulas para los brazos de momento. (medidas en in)

$h_D = R + g_1 / 2$ (10)	$h_D = 0.886 + 0.117 / 2$	0.944
$h_g = (C - G) / 2$ (11)	$h_g = (9.84 - 9.29) / 2$	0.276
$h_t = (R + g_1 + h_g) / 2$ (12)	$h_t = (0.886 + 0.117 + 0.276) / 2$	0.639

✓ **Determinación de los momentos en la brida en la condición de operación:**

Tabla 18. Determinación de los valores de los momentos en la brida. (Valores en lb para cargas; in para los brazos y lb.in para los momentos)

CARGAS EN LA BRIDA		BRAZO	MOMENTOS EN LA BRIDA	
FÓRMULA	VALOR		FÓRMULA	VALOR
$H_D = 0.785 B^2 P$ (13)	$H_D = 1609.763$	$h_D = 0.944$	$M_D = H_D * h_D$ (16)	$M_D = 1520.4$
$H_t = H - H_D$ (14)	$H_t = 424.32$	$h_t = 0.639$	$M_t = H_t * h_t$ (17)	$M_t = 271.297$
$H_g = W_{m1} - H$ (15)	$H_g = 103.428$	$h_g = 0.276$	$M_g = H_g * h_g$ (18)	$M_g = 28.5$
			MOMENTO TOTAL	$M_o = 1820.2$

✓ **Determinación del momento en la condición de asentamiento:**

CARGA	BRAZO	MOMENTO
$W = 3822$	$h_g = 0.276$	$M_g = W * h_g = 1054.87$

✓ Determinación de los factores de forma: estos son factores geométricos (T, Z, Y, U) involucrados en el cálculo de esfuerzos sobre las bridas según el Apéndice 2 de la sección VIII-1 ASME, los cuales se observan en las tablas y nomogramas del anexo E

Relación de diámetros en la brida:

$$K = \frac{A}{B} = \frac{27}{21} = 1.28$$

entonces del anexo E:

$$T = 1.8$$

$$Z = 4.07$$

$$Y = 7.93$$

$$U = 8.69$$

$$l = g + d = \frac{a}{T} + \frac{t^3}{d} = \frac{t^* e + 1}{T} + \frac{t^3}{\frac{U}{V} * \sqrt{B^* g_o} * g_o^2}$$

$$e = \frac{F}{\sqrt{B^* g_o}} \quad b = \frac{4}{3} * t^* e + 1$$

Reemplazando los valores de V y F de los nomogramas (anexo E) en las fórmulas anteriores se obtienen los siguientes resultados:

$$F = 0.908$$

$$V = 0.55$$

$$f = 1$$

$$e = 0.922$$

$$l = 0.692$$

$$b = 1.242$$

► Determinación de los esfuerzos en la brida: los esfuerzos en las bridas de este tipo se calculan de la siguiente forma:

Esfuerzo longitudinal

Esfuerzo radial

Esfuerzo tangencial

$$S_H = \frac{f * M_o}{I * B * g_1^2}$$

$$S_R = \frac{b * M_o}{I * B * t^2}$$

$$S_T = \frac{Y * M_o}{t^2 * B} - Z * S_R$$

Reemplazando se obtiene:

$$S_H = 23113.3 \text{ psi}$$

$$S_R = 10197 \text{ psi}$$

$$S_T = 3552.2 \text{ psi}$$

Estos esfuerzos son menores que el esfuerzo admisible $S=23333 \text{ psi}$ por lo que se puede concluir que las dimensiones dadas a la brida cumplen los requerimientos de trabajo a la cual se va a someter.

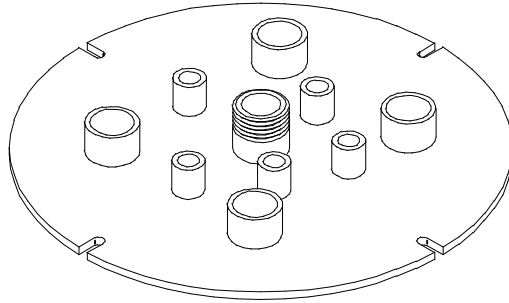
- Diseño de la tapa del bioreactor: la tapa se construyó del mismo espesor de la brida. La tapa debe cumplir con los siguientes requerimientos de funcionalidad:

- Proporcionar el sellado del bioreactor

- Soportar y permitir el paso de un eje para la agitación.

- Debe tener agujeros para los instrumentos de medición como termómetros, manómetros, ph-metros, pipeteadores, también agujeros que permitan la adición de reactivos en determinado momento cuando algún proceso lo requiera.

Figura 20. Tapa del bioreactor



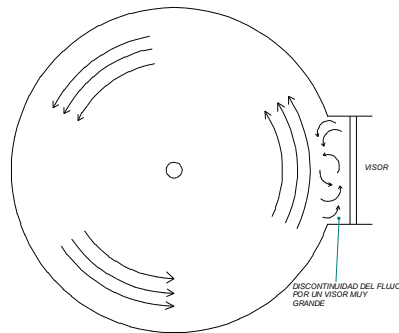
► **Diseño del visor:** otro requerimiento que debe satisfacer el bioreactor es la necesidad de observar el interior para controlar el nivel en determinado momento, además para observar el estado de la reacción puesto que en algunos procesos las reacciones se pueden notar con los cambios de coloración o en el caso de la gelatinización con el cambio de viscosidad.

Otra ventaja de un visor es que permite observar la eficiencia de la agitación y ver si hay alguna acumulación de reactivos que no se estén mezclando.

Dependiendo de los propósitos para los cuales se requiera el visor se coloca en la tapa o en el cuerpo del reactor, en este caso para una mayor funcionalidad se construye en el cuerpo del bioreactor.

La longitud del visor depende del nivel hasta el cual se requiera tener control, y el ancho no debe interrumpir el flujo normal impuesto por la agitación, ni crear un espacio donde se puedan generar acumulación de reactivos como lo muestra la figura 21.

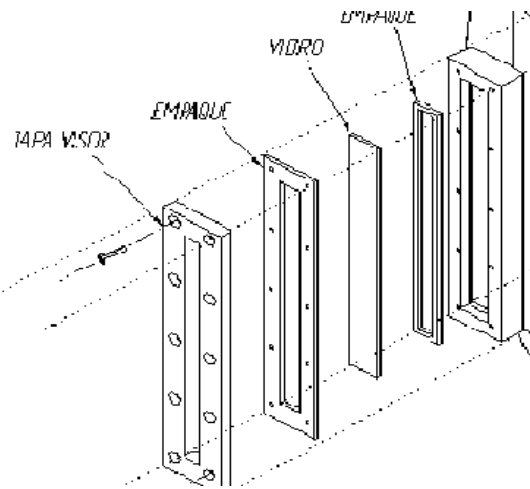
Figura 21. Hidrodinámica del flujo dentro de un recipiente agitado con una discontinuidad.



El visor se diseñó como se muestra en la figura 22 donde se puede apreciar cada una de las partes. Las dimensiones se ilustran más detalladamente en los planos (anexo H).

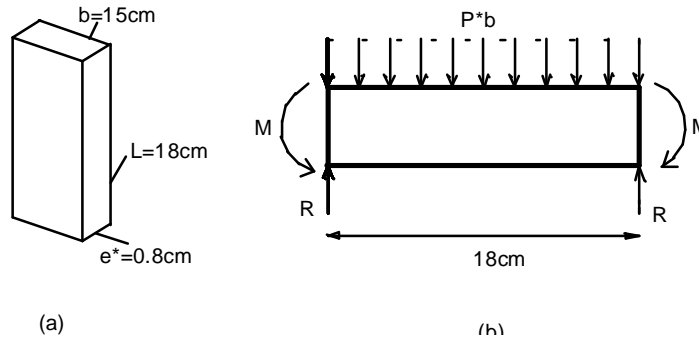
Los empaques se seleccionaron de nitrilo sanitario por las condiciones que ofrecen de resistencia a la temperatura de trabajo. El cuerpo del visor es la sección que aloja el vidrio y los empaques y soporta los tornillos de la tapa del mismo, este cuerpo se soldó a la pared del recipiente.

Figura 22. Despiece del visor.



- ✓ Cálculo del esfuerzo sobre el vidrio: para las condiciones de apoyo del vidrio se obtienen los siguientes resultados,

Figura 23. a) Dimensiones del vidrio, b) DCL del vidrio



El esfuerzo sobre el vidrio $S_{m\acute{a}x}$ en el centroide del vidrio se calcula con la siguiente fórmula tomada de Gere y Timoshenco³.

$$S_{m\acute{a}x} = \frac{\frac{P * b}{2} * L * c}{24 * I} \quad (26)$$

Donde; $c = e^*/2$ (27)

I : momento de inercia de la sección= $b*(e^*)^3/12$ (28)

Reemplazando los datos se obtiene:

$S_{m\acute{a}x} = 1898.4 \text{ psi}$

Comparando este valor con el esfuerzo permisible por el vidrio $S_{per} = 7000 \text{ psi}$ ¹ podemos concluir que el diseño tiene dimensiones adecuadas.

Para garantizar el sellado del recipiente por la parte del visor se le colocaron 10 tornillos de 3/16 in de diámetro simétricamente distribuidos.

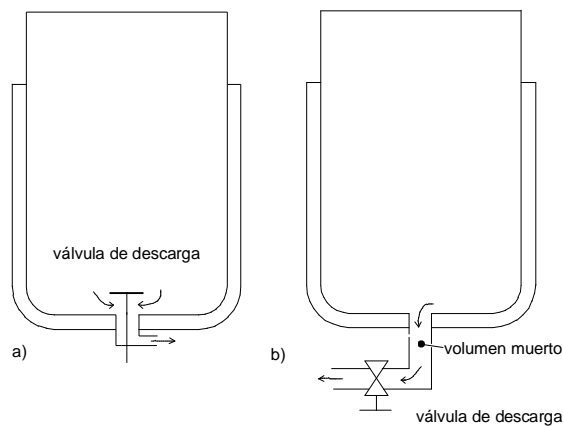
³ Gere y Timoshenco Mecánica de materiales, editorial iberoamericana

¹ Apéndice B propiedades típicas de materiales de ingeniería. FERDINAND P. BEER, E RUSSELL JOHNSTON, JR. Mecánica de materiales, segunda edición. Mc Graw Hill. 2001.

- **Diseño de la válvula de descarga del bioreactor:** la ventaja que ofrece la instalación de una válvula de descarga en el bioreactor es que permite su instalación en continuo en un proceso, aprovechando la gravedad para el transporte del fluido y evitar la instalación de una bomba cuando las condiciones del líquido lo permitan.

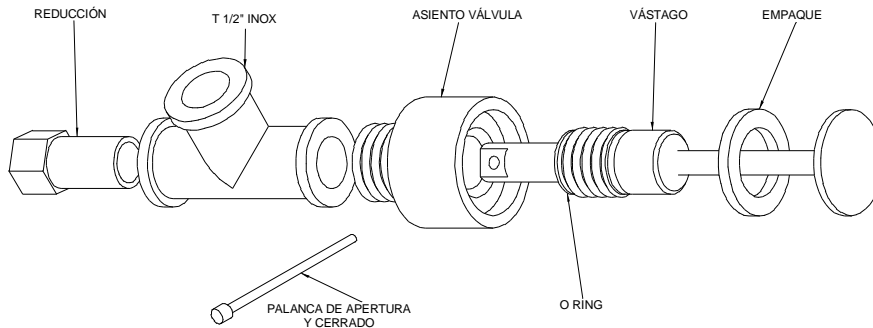
Se diseñó una válvula tipo émbolo puesto que estas permiten el sellado desde la superficie del bioreactor y evitan la acumulación de reactivos en algún espacio que pueda quedar en el fondo a causa de otros sistemas de descarga como se muestra en la figura 24.

Figura 24. a) Válvula tipo émbolo, b) sistema de descarga externo.



Las medidas detalladas de la válvula se pueden ver en el anexo H. la figura 25 muestra un esquema de las partes utilizadas en la construcción de la válvula en la que fue necesaria la maquinada del vástago y del asiento el cual va soldado a la superficie inferior del bioreactor.

Figura 25. Despiece de la válvula de descarga.



5.5. SOLUCIÓN ADOPTADA PARA EL BIOREACTOR PARA SACARIFICACIÓN

El proceso de sacarificación es similar en cuanto a las condiciones de operación como presión, temperatura y volumen, por esta razón se seleccionaron las mismas dimensiones en cuanto a la capacidad volumétrica y factores geométricos del bioreactor.

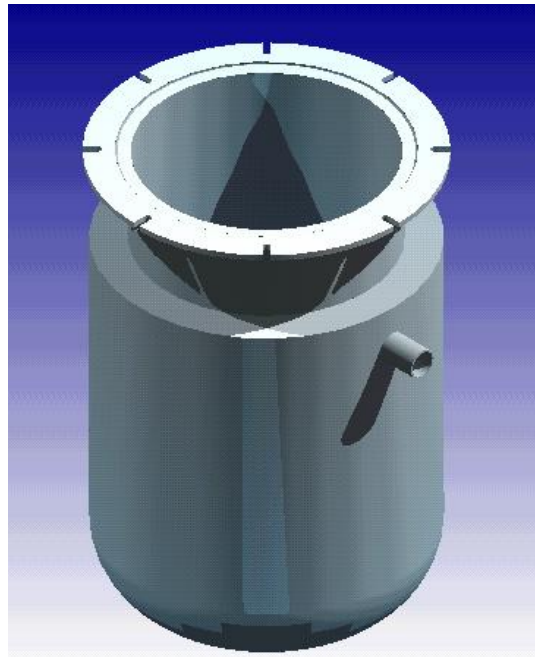
En este bioreactor se omitió el visor puesto que no era necesario, a demás el visor es un limitante en cuanto a la presión de operación, lo cual deja este recipiente abierto para trabajar a mayores presiones. Con base en este parámetro se redimensionó la brida, la tapa y se aumentó el número de tornillos de sujeción de la tapa.

- **Diseño mecánico del bioreactor para sacarificación:** el proceso de cálculo utilizado es el mismo utilizado anteriormente, por lo tanto se limita a tabular los resultados obtenidos.

Tabla 19. Dimensiones del bioreactor para sacarificación

PARÁMETRO	VALOR
Presión de diseño	60 psi
Temperatura de diseño	130°C
Espesor casco (g_0)	0.109in
Espesor brida (t)	0.197in
Espesor de la tapa	0.197in
Número de pernos	8
Agujeros de la tapa	6

Figura 26. Bioreactor para sacarificación



6. SISTEMA DE CALENTAMIENTO

6.1 GENERALIDADES

La influencia de la temperatura dentro de los procesos biotecnológicos es crucial para su desarrollo e investigación, puesto que en la mayoría de ellos las transformaciones físico-químicas se ven beneficiadas y potenciadas por el hecho de trabajar con altas o bajas temperaturas.

Para el proceso en análisis, se utilizan temperaturas superiores a la ambiente para facilitar cada una de las etapas descritas en el CAPITULO 4.

Tomando como valores máximos los de desactivación de la enzima alfa amilasa* termo resistente, que actúa a temperaturas de 90 – 95 °C y procesos de esterilización con temperaturas mayores (120 °C).

6.2 TIPOS DE CALEFACCIÓN EN BIOREACTORES

6.2.1 Sistemas de Chaqueta. Este es el sistema más difundido y estudiado, consiste básicamente en recubrir el recipiente a calentar o enfriar, con un

* Enzima utilizada en la fase de licuefacción.

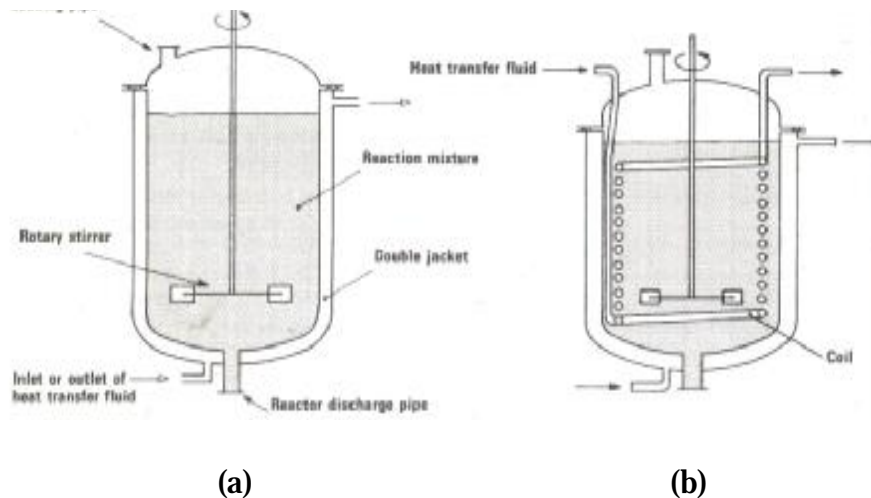
segundo tanque externo por el cual circula el fluido que posee la energía a transferir al fluido del recipiente interior.

Este sistema puede darse como chaqueta simplemente, o puede poseer una variante que incluye en el interior del reactor una resistencia para aumentar el coeficiente global de transferencia de calor, el cual para sola chaqueta esta

alrededor de $60 \text{ a } 350 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$.

La ganancia en el coeficiente de transferencia debido a la presencia de resistencia interna puede estar entre $700 \text{ y } 800 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$, pero la presencia de este elemento en el interior del tanque impide las acciones de limpieza y la agitación eficiente.

Figura 27. Tipos de calefacción por chaqueta



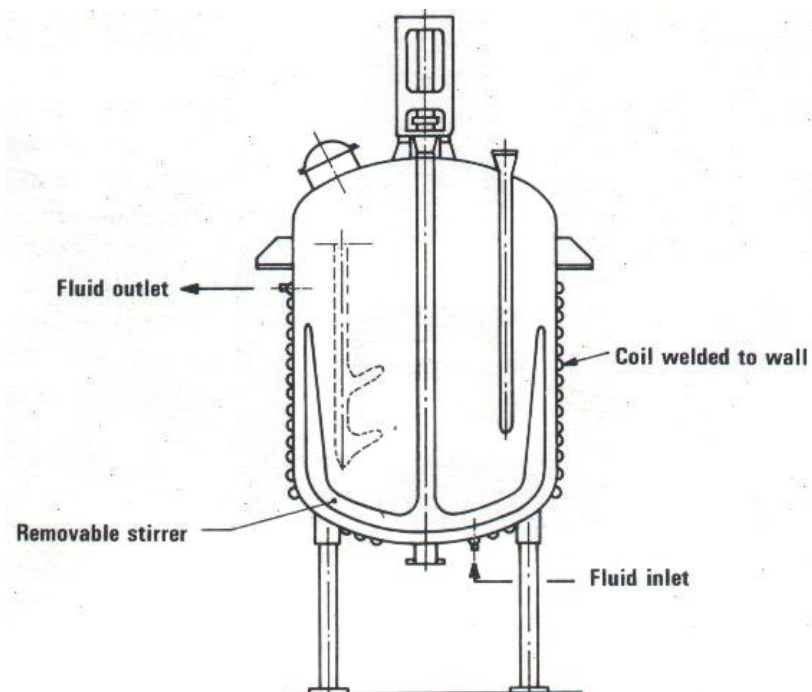
(a) Calentamiento por chaqueta, (b) calentamiento por chaqueta y resistencia interna.

Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

6.2.2 Resistencia externa e interna. Este sistema ofrece las áreas de transferencia de calor necesarias para grandes reacciones exotérmicas (polimerización), además de poseer ventajas en cuanto a limpieza interior del reactor y facilidades en la instalación del sistema agitador.

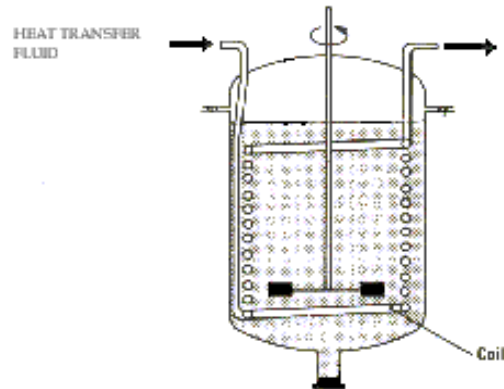
En cuanto a la resistencia interior posee inconvenientes de índole operativa además de que al estar las enzimas y demás componentes de la reacción en contacto directo con la fuente de calor se tiene mayor susceptibilidad a que se sufran cambios inesperados en el proceso por tener deltas de temperatura tan marcados.

Figura 28. Calentamiento por resistencia externa



Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

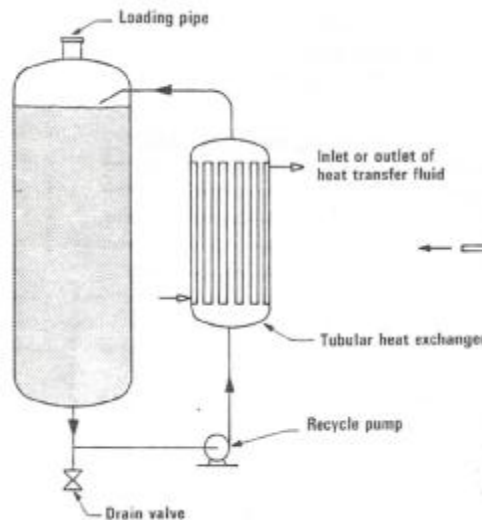
Figura 29. Calentamiento por resistencia interna



Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

6.2.3 Reactor con intercambiador de calor externo en lazo. Este tipo de calefacción involucra mas directamente al fluido ya que lo bombea fuera del reactor para su paso a través de un intercambiador de calor, lo cual implica una mayor cantidad de equipos en el proceso y mayor cuidado con la mezcla de trabajo que en los casos anteriores.

Figura 30. Calentamiento por intercambiador externo



Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

6.3 NECESIDAD A SATISFACER MEDIANTE EL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

La temperatura máxima que se tiene al interior del reactor en proceso esta determinada en la fase de gelificación donde la temperatura a la cual se consiguen resultados óptimos es de 70 °C. La distribución de temperatura debe ser uniforme en todo el reactor sin puntos de alta temperatura concentrados, ya que las enzimas (alfa-amilasa y glucamilasa) son muy sensibles a estas condiciones de temperatura no uniforme.

Los procesos de esterilización pronosticados, se llevaran a cabo con inyección de vapor, por lo cual la chaqueta no posee como requerimiento la temperatura estipulada para tal fin (120 °C).

6.4 SOLUCIÓN ADOPTADA GELIFICACIÓN, LICUEFACCIÓN Y SACARIFICACIÓN.

Dentro de los sistemas de calentamiento mencionados anteriormente se escogió el tipo enchaquetado puesto que evita puntos de alta temperatura concentrados y permite una distribución de calor más uniforme lo cual propicia un ambiente más favorable para las enzimas, además de ser el método más utilizado industrialmente.

El fluido de calefacción que circula por la chaqueta es suministrado por medio de un baño termostatado e impulsado a través de la misma con una bomba HAKE equipos descritos en el CAPITULO 4.

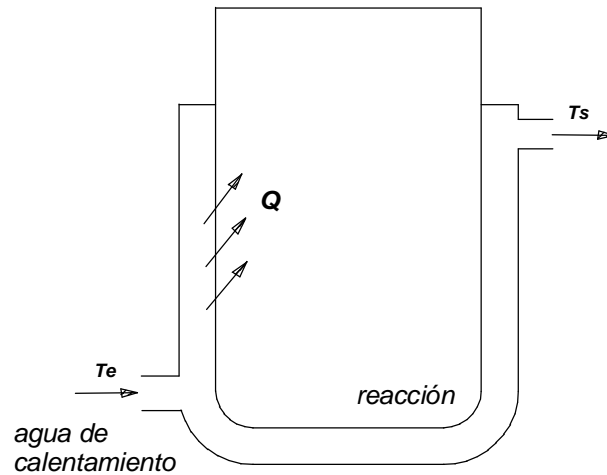
6.4.1 Diseño térmico de la chaqueta

- Cálculo de la temperatura del agua de entrada a la chaqueta. Este valor es fundamental para el diseño térmico, y para el funcionamiento óptimo de la enzima y así evitar que la misma se desactive. Para una mejor comprensión de los cálculos se dan a continuación todas las variables a utilizar.

Tabla 20. Variables de entrada

μ = viscosidad del jarabe de glucosa
ρ = densidad del jarabe de glucosa
K_p = conductividad térmica del jarabe
C_p = calor específico del jarabe
C_{pw} = calor específico del agua
Re = número de Reynold del jarabe para las condiciones de agitación
J = factor adimensional de transferencia de calor
h_j = coeficiente de transferencia de calor por convección
L = longitud del agitador
A = área de transferencia de calor chaqueta - reacción
Q = calor intercambiado en la reacción
V = caudal de agua de calentamiento

Figura 31. Esquema del flujo de calor hacia la reacción



Aplicando las ecuaciones de transferencia de calor propuestas por Kern¹ se tiene:

$$R_e = \frac{L^2 N r}{m}$$

Reemplazando los siguientes valores proporcionados por las experiencias y pruebas químicas:

$$L = 0.396 \text{ [ft]}$$

$$\rho = 78.646 \text{ [lb/ft}^3\text{]}$$

$$N = 7500 \text{ [rph]}$$

$$\mu = 1.956 \text{ [lb/ft.h]}$$

¹ DONALD Q. KERN, Procesos de transferencia de Calor, 26 edición, pag 815-818, Compañía editorial continental México 1995.

$Re = 47297.5$ indica que hay flujo turbulento.

El coeficiente de transferencia de calor por convección entre el jarabe de glucosa y la pared del recipiente se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$h_j = j \frac{k}{D_j} \left(\frac{C_p m}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{m}{m_w} \right)^{0.14}$$

Donde el factor $\left(\frac{m}{m_w} \right) = 1$ para calentamiento con agua.

$$K = 0.308 \left[\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \right]$$

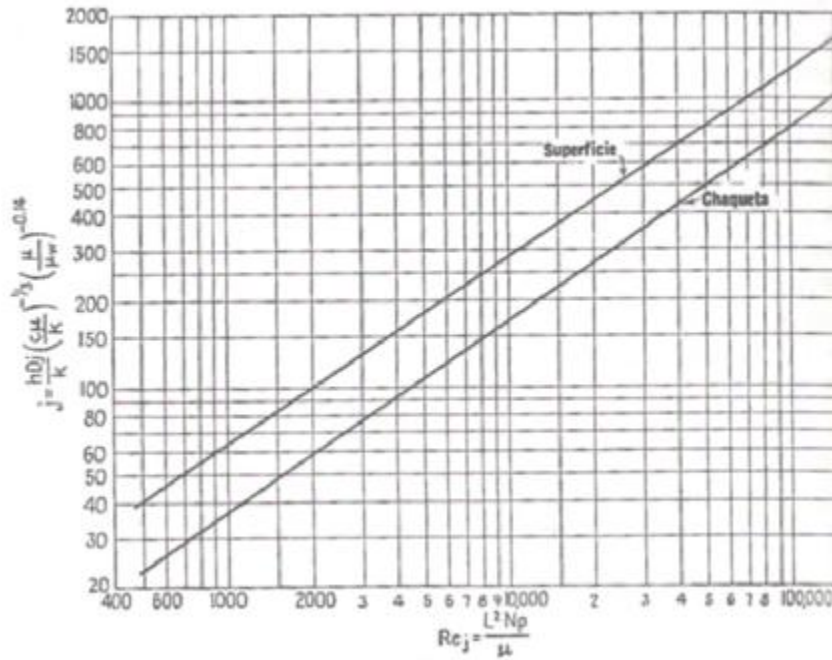
$$D_j = 0.689 \text{ [hit]}$$

El coeficiente de transferencia j se encuentra en la figura 32 y reemplazando los demás valores se obtiene:

$$j = 475$$

$$h_j = 392 \left[\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \right]$$

Figura 32. Factor adimensional de transferencia de calor en chaquetas Vs Reynolds



Fuente: DONALD Q. KERN, Procesos de transferencia de Calor, 26 edición, pag 815-818, Compañía editorial continental México 1995

Para la parte interna de la chaqueta el coeficiente de transferencia de calor con relación al diámetro interior h_o es:

$$h_o = 1500 \left[\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \right]$$

El coeficiente total limpio de transferencia de calor U viene dado por la ecuación:

$$U = \frac{h_j h_o}{h_j + h_o}$$

Reemplazando los datos se tiene:

$$U = 310.78 \left[\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \right]$$

Teniendo en cuenta un factor de obstrucción R_d de 0.005 recomendado para calentamiento con agua sin tratar en la tabla 20, con el cual se obtiene un coeficiente de obstrucción h_d :

$$h_d = 1/R_d = 200 \left[\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \right]$$

El coeficiente total de diseño por lo tanto será:

$$U_d = \frac{U * h_d}{U + h_d} = 121.57 \left[\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \right]$$

A partir de la ecuación del calor suministrado a la reacción por el agua de calentamiento se puede determinar el cambio de temperatura del agua ΔT :

$$Q = U_d * A * \Delta T$$

Tabla 21. Factores de obstrucción en recipientes encaquetados

Temperatura del medio calefactor	Hasta 240°F		240-400°F †	
Temperatura del agua	125°F o menos		Más de 125°F	
Agua	Velocidad del agua, pps		Velocidad del agua, pps	
	3 pies o menos	Más de 3 pies	3 pies o menos	Más de 3 pies
Agua de mar	0.0005	0.0005	0.001	0.001
Salmuera natural	0.002	0.001	0.003	0.002
Torre de enfriamiento y tanque con rocío artificial:				
Agua de compensación tratada	0.001	0.001	0.002	0.002
Sin tratar	0.003	0.003	0.005	0.004
Agua de la ciudad o de pozo (como Grandes Lagos)	0.001	0.001	0.002	0.002
Grandes Lagos	0.001	0.001	0.002	0.002
Agua de río:				
Mínimo	0.002	0.001	0.003	0.002
Mississippi	0.003	0.002	0.004	0.003
Delaware, Schykill	0.003	0.002	0.004	0.003
East River y New York Bay	0.003	0.002	0.004	0.003
Canal sanitario de Chicago	0.008	0.006	0.010	0.008
Lodosa o turbia	0.003	0.002	0.004	0.003
Dura (más de 15 granos/gal)	0.003	0.003	0.005	0.005
Enfriamiento de máquinas	0.001	0.001	0.001	0.001
Destilada	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Alimentación tratada para calderas	0.001	0.0005	0.001	0.001
Purga de calderas	0.002	0.002	0.002	0.002

† Las cifras de las últimas dos columnas se basan en una temperatura del medio calefactor de 240 a 400°F. Si la temperatura de este medio es mayor de 400°F, y si se sabe que el medio enfriador forma depósitos, estas cifras deben modificarse convenientemente.

Fuente: DONALD Q. KERN, Procesos de transferencia de Calor, 26 edición, pag 815-818, Compañía editorial continental México 1995

De acuerdo a los resultados obtenidos en las experiencias por parte de los químicos, el calor necesario en la reacción es:

$$Q=10977.67 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

- **Determinación del área con respecto al diámetro interior del bioreactor.**

$$A = p * D_j * l + \frac{p * D_j^2}{4} = 2.49 \text{ [ft}^2\text{]}$$

Despejamos ΔT y reemplazamos los datos:

$$\Delta T = \frac{Q}{U_D * A} = \frac{10977.67 \left[\frac{Btu}{h} \right]}{121.57 \cdot \left[\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \right] \cdot 2.49 \text{ [ft}^2\text{]}} = 36.26 \text{ [}^\circ F\text{]}$$

$$DT = 20.14 \text{ [}^\circ C\text{]}$$

Como la reacción ocurre a 70 [°C] entonces la temperatura de entrada del agua a la chaqueta debe ser:

$$T_{en} = 70 \text{ [}^\circ C\text{]} + 20.14 \text{ [}^\circ C\text{]} = 90.14 \text{ [}^\circ C\text{]}$$

- **Cálculo del caudal de agua de calentamiento requerido.**

Haciendo un balance de calor en el agua de calentamiento entre la entrada y la salida se tiene:

$$Q = Vr_w * \dot{C}_{pw} * \Delta T$$

$$\dot{V} = \frac{Q}{r_w * C_{pw} * \Delta T} = \frac{10977.67 \left[\frac{Btu}{h} \right]}{(62.43 \left[\frac{lb}{ft^3} \right] * 1 \cdot \left[\frac{Btu}{lbm \cdot ^\circ F} \right] \cdot 36.26 [^\circ F])} = 4.85 \left[\frac{ft^3}{h} \right]$$

$$\dot{V} = 2.3 \left[\frac{lt}{min} \right]$$

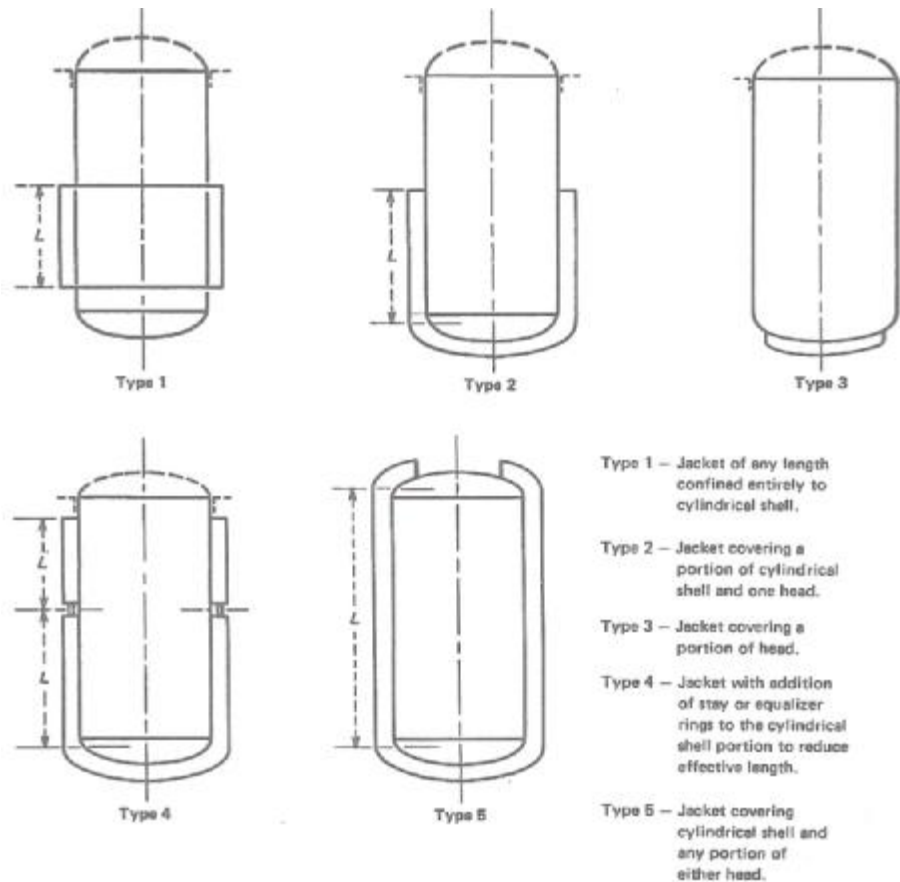
6.4.2 Diseño mecánico de la chaqueta. Los recipientes enchaquetados, como se consideran en el apéndice 9 del código ASME sección VIII-1, se aplican también a la porción enchaquetada del recipiente, incluyendo la pared del recipiente interno y la pared de la chaqueta, la unión entre el recipiente interno y la chaqueta y otros componentes. Los recipientes enchaquetados simplemente proveen una cámara o región anular en la cual un líquido o gas a presión o vacío se usa para calentar o enfriar.

- **Tipos de chaquetas:** los recipientes enchaquetados se categorizan en diferentes tipos dependiendo de la distribución de la chaqueta como se muestra en la figura 33.

- ü Tipo 1: chaqueta de cualquier longitud totalmente confinada en el cilindro del casco.
- ü Tipo 2: chaqueta que cubre un extremo y parte del casco cilíndrico.
- ü Tipo 3: chaqueta que cubre una porción del extremo.
- ü Tipo 4: chaqueta añadida para reducir la longitud efectiva de la parte cilíndrica.

- ü Tipo 5: chaqueta que cubre toda la parte cilíndrica y una parte de cada extremo.

Figura 33. Tipos de chaqueta



Fuente: JAMES R. FARR, MAAN H. JAWAD, Guide book for the design of ASME section VIII pressure vessels, pag. 170

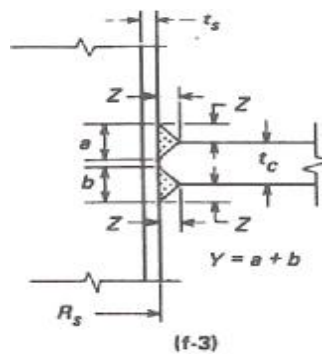
Para los bioreactores se escogió la chaqueta tipo 2 con el fin de asegurar una zona de calentamiento durante todo el volumen de trabajo, el cual es menor al volumen total. Las medidas adoptadas para la chaqueta vienen dadas en la tabla 22.

Tabla 22. Parámetros generales de la chaqueta

Bioreactor	Longitud	Material	Calibre	Capacidad
Gelificación	30cm	AISI 304	12	2.904 lt
Sacarificación	30cm	AISI 304	12	2.904 lt

- Diseño de la junta entre la chaqueta y el recipiente: según la sección VIII del código ASME, para una chaqueta tipo 2 se acepta la configuración mostrada en la figura 33 y debe cumplir los siguientes requerimientos de diseño:

Figura 34. Detalle de la junta entre el recipiente y la chaqueta



Fuente: JAMES R. FARR, MAAN H. JAWAD, Guide book for the design of ASME section VIII pressure vessels, pag. 170.

$$t_{rc} \geq 1.414 \left(\frac{P * R_s * j}{S} \right)^{1/2} \quad j \geq \left[\left(\frac{2S * t_s^2}{P * R_j} \right) - 0.5(t_s + t_j) \right] \quad Y \geq 1.5t_s$$

Donde:

Tabla 23. Variables chaqueta

t_{rc} = espesor mínimo del miembro de junta
P = presión de diseño en la zona anular de la chaqueta, [psi]
R_s = radio externo del recipiente
R_j = radio interno de la chaqueta
j = espacio anular de la chaqueta (huelgo)
S = esfuerzo permisible del material.
t_s = espesor del recipiente interno (g _o)
t_j = espesor de la pared de la chaqueta
Y = espesor de la soldadura

Tabla 24. Datos para el diseño

Presión [psi]	R_s [in]	R_j [in]	S [psi]	t_s [in]
30	4.24	4.24+j	23333	0.109

Reemplazando los valores y normalizando se obtiene:

Huelgo (j) (in)	t_{rc} (in)	Y (in)
0.8	0.0933	0.164

7. SISTEMA DE AGITACIÓN

7.1 GENERALIDADES

La agitación de las fases de un fluido es necesaria para un gran número de operaciones en ingeniería. En reactores químicos, la agitación es frecuentemente empleada para una variedad de propósitos teniendo como finalidades generales:

- ➡ Dispersar el aire en la solución de nutriente.
- ➡ Obtener una temperatura uniforme en todo el recipiente.
- ➡ Concentración de la mezcla uniforme.
- ➡ Suspender los microorganismos y nutrientes sólidos.
- ➡ Dispersar cualquiera de los líquidos inmiscibles presentes.

En todos los casos, la agitación es diseñada para incrementar la turbulencia del fluido. Sin embargo, la técnica a emplear puede ser seleccionada y adaptada al objetivo final.

7.2 TIPOS

➤ **Agitación hidrodinámica**

➤ **Agitación mecánica**

7.2.1 Agitación hidrodinámica. La primera forma de agitación es el denominado termosifón, el principio se basa en la diferencia de densidades que se pueden obtener en el interior del reactor debido a la influencia de diferentes niveles de temperatura, dando lugar a una recirculación natural del fluido.

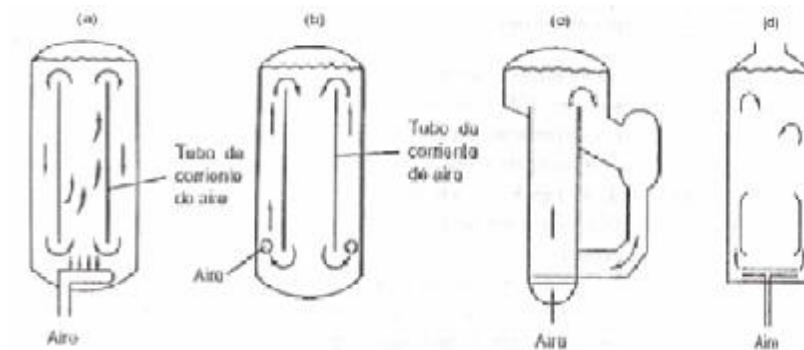
La utilización de este método esta ligado a las características fisico-químicas del fluido a agitar, ya que la influencia de deltas de temperatura localizados en el recipiente, genera condiciones especiales. Otra característica de este tipo de agitación esta contenida en un control muy estricto en lo referente a la temperatura y los gradientes necesarios para su utilización.

La segunda forma es la de agitación por elevación de aire. Aquí se introduce un flujo de aire dentro del reactor generando la turbulencia deseada y a su vez alimentando los microorganismos dentro del mismo, su utilización esta sujeta a procesos especiales y posee en su estudio un gran desarrollo.

A continuación en la figura 35. Se dará a conocer los tipos más comunes de reactores de elevación con aire.

- Ø Elevación con aire estándar
- Ø Elevación con aire Wasco.
- Ø Elevación con aire Kaneguchi.
- Ø Elevación con aire Lefrancois.

Figura 35. Tipos de bioreactores de elevación por aire



(a) Elevación con aire estándar, (b) elevación con aire Wasco, (c) elevación con aire Kaneguchi,

Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

7.2.2 Agitación mecánica. En este tipo, se imprime desde la parte exterior movimiento rotacional a un elemento mecánico que se mueve dentro del reactor generando así la turbulencia y condiciones deseadas para el proceso a realizar. El agitador puede ser accionado desde la parte superior o desde la parte inferior, este sistema es ampliamente utilizado en la industria y su eficiencia verificada es alta.

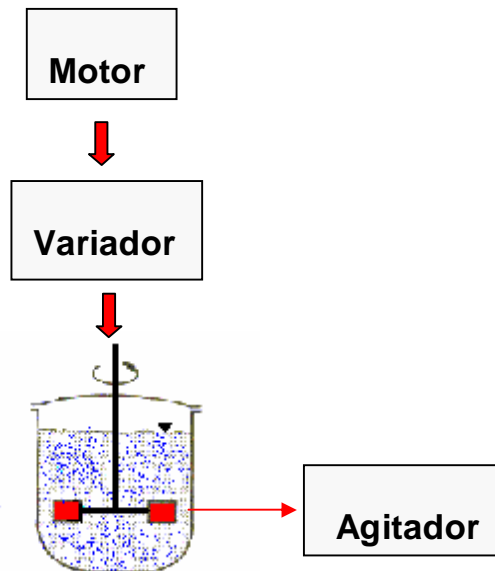
La caracterización del flujo de cada uno de los tipos de agitación es particular y por ello se requiere de estudios específicos, donde se reúnen

las variables en grupos adimensionales para obtener correlaciones que describan al sistema, utilizando el número de Reynolds podemos caracterizar cada uno de los flujos generados.

El flujo turbulento se encuentra arriba de un número de Reynolds de 104 , en tanto un flujo laminar ocurre debajo de 100. Todas estas idealizaciones de flujo y una experimentación constante han dado como resultado formas de agitadores que se verán más adelante.

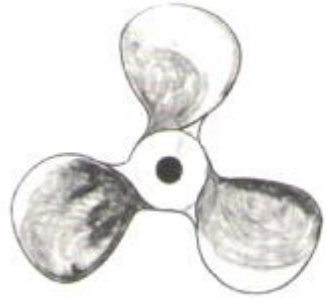
El conjunto de agitación mecánica se puede esquematizar de manera muy simple como tres elementos principales:

Figura 36. Conjunto agitador

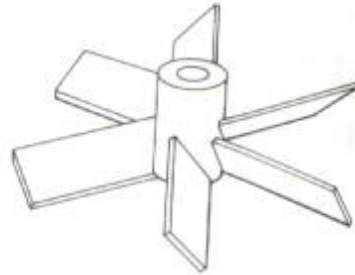


Los tipos de agitadores se seleccionan de acuerdo con las propiedades del fluido como viscosidad y densidad. A continuación nombramos algunos ejemplos:

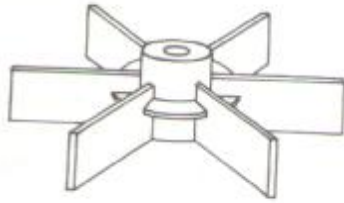
Figura 37. Tipos de agitadores



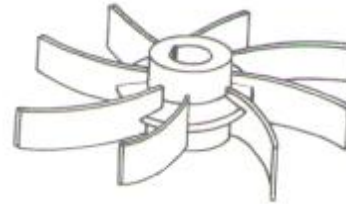
(a)



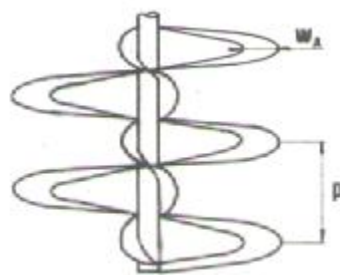
(b)



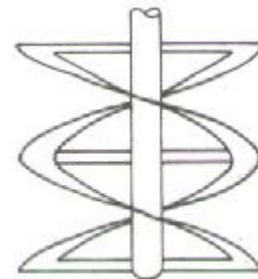
(c)



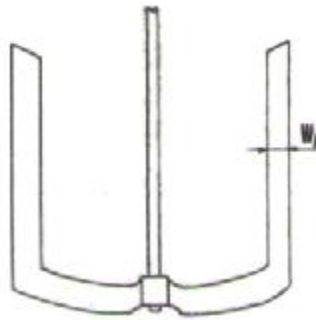
(d)



(e)



(f)



(g)

(a) agitador tipo propela; (b) agitador de aletas planas inclinadas; (c) tipo turbina Rhuston;
(d) tipo turbina de alabes curvos; (e),(f) tipo rosca de Arquímedes; (g) tipo anchor.

Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

Se fabricarán los agitadores (tipo turbina y anchor) de acuerdo con las propiedades que presenta el fluido en las diferentes etapas del proceso.

7.3 NECESIDAD

La intervención de la agitación en nuestro proceso se caracteriza por tener tres etapas que poseen variables diferentes cada una de ellas, y por lo cual se da la necesidad del diseño de varios juegos de elementos de agitación y la selección de dos motores con diferentes características (potencia), estos cálculos se especificarán más adelante.

Para una mejor comprensión se tabularán las variables pertinentes que nos atañan para la selección y diseño de los agitadores.

Tabla 25. Variables agitación

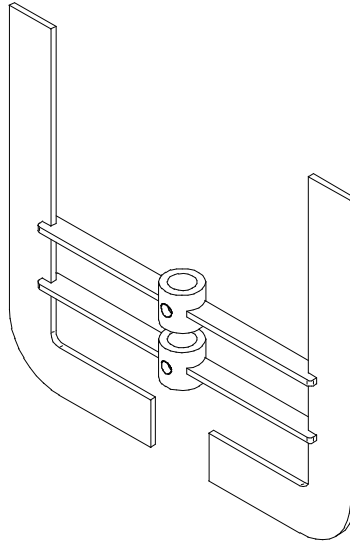
ETAPA	VISCOSIDAD [Pa.S]	TEMPERATURA [°C]	VELOCIDAD [R.P.M.]	DENSIDAD [Kg/m3]
1. GELIFICACIÓN	0.6	70	150	1259.8
2. LICUEFACCION	8.0844×10^{-4}	55	150	1010
3. SACARIFICACIÓN	8.0844×10^{-4}	55	150	1018

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el cambio en los parámetros de la mezcla entre la etapa 2 y 3 son poco apreciables, lo que da un orden lógico para el diseño, que consiste en seleccionar un juego de agitadores para gelificación y uno para licuefacción y sacarificación.

7.4 SOLUCIÓN ADOPTADA GELIFICACIÓN

Esta decisión esta sujeta a criterios de disponibilidad de información y capacidad de experimentación de los elementos, al igual que la no necesidad de niveles específicos de oxígeno dentro del proceso, y ausencia de susceptibilidad de la enzima a ser agitada de forma mecánica, además de tener presente los parámetros de estanqueidad y bajo nivel de mantenimiento del sistema. Adoptando la agitación mecánica, con un agitador de tipo anchor (sistema en U) debido a que el rango de viscosidad de este proceso es del orden de $m = 0.6 [Pa \cdot s]$, el cual por ser elevado y como lo dicta la literatura recomienda dicho tipo de agitador.

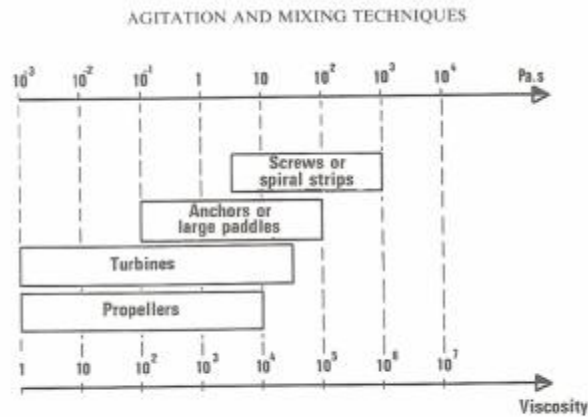
Figura 38. Agitador U



- **Material.** Como en todas las etapas anteriores, el contacto de la enzima con los elementos de agitación es permanente y de sumo cuidado, puesto que el destino final de esta investigación, es la obtención de productos de consumo humano. Lo cual introduce la necesidad de utilizar materiales con características sanitarias óptimas, como lo es el **ACERO INOXIDABLE AISI 304**, material seleccionado para la construcción del agitador, caracterizado en más detalle en el CAPITULO 5.

- **Selección del agitador.** Teniendo el rango de viscosidad correspondiente a la etapa de gelificación se entra a la Figura 39. Y se ubica la zona que corresponde.

Figura 39. Rangos de viscosidad y diferentes elementos de agitación



Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

Con el valor que se maneja de viscosidad, se ubica en la gráfica, y a la vez con el apoyo de la literatura*, se llega a la conclusión de que el mejor agitador en este caso es el de tipo anchor (sistema en U).

- Baffles. En esta etapa, no se requiere el uso de tabiques, mamparas o baffles que rompan el vórtice. En la próxima etapa del proceso se verá más en detalle el uso de este aditamento.

- Potencia del motor. Existen más datos de agitadores de turbina que para cualquier otro tipo previamente mencionado, lo que lleva asumir una idealización, tomando el caso de turbina y con la introducción de un factor

* JHON, Bu'lock. ; BJORN, Kristiansen. Basic Biotechnology, London, Academic Press, 1998.

de corrección Kn, se puede trabajar con gran exactitud el caso particular de agitador en U.

Calculamos el régimen de agitación, dado por la ecuación 8:

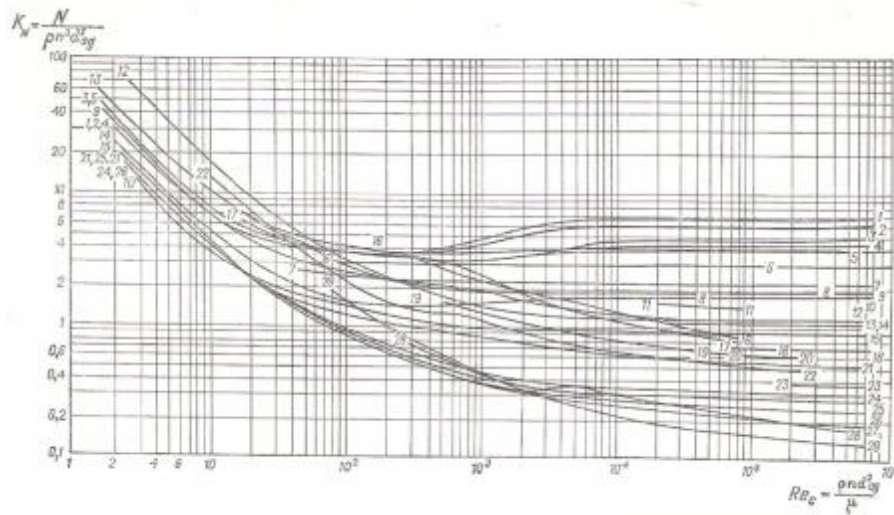
$$Da = \frac{D}{3} \quad (7) \quad \rightarrow \quad Da = \frac{21[cm]}{3} \quad \rightarrow \quad Da = 7[cm]$$

$$Re_c = \frac{(N \times Da^2 \times r)}{m} \quad (3)$$

$$Re_c = \frac{\left(1259.8 \left[\frac{Kg}{m^3}\right] \times (0.07[m])^2 \times 2.083[R.P.S.]\right)}{0.6[Pa \cdot s]} \quad \rightarrow \quad Re_c = 21.43$$

A partir de este dato y con la ayuda de la Figura 40., se corrige la idealización realizada anteriormente dando el valor de Kn.

Figura 40. Criterio de potencia en función del criterio Reynolds



Fuente: PAVLOV, K.F. ROMANKOV, P.G. NOVSKOV, A.A. Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Mir Moscú, 1981

Valor de Kn = 3.4

Calculo de la potencia consumida: con el dato obtenido de Kn y la ecuación 8. Se tiene:

$$P_{fun} = Kn \times r \times N^3 \times Da^5 \quad (4)$$

$$P_{fun} = 3.4 \times 1259.8 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \times (2.083 [R.P.S.])^3 \times (0.07 [m])^5$$

$$P_{fun} = 0.06 [Kw]$$

Corrección de la potencia de arrancada: habitualmente se tienen al arranque un valor 2 o 3 veces mayor que la de funcionamiento, aplicamos la ecuación 5. Y tenemos:

$$P_{arr} = 2 \times P_{fun} \quad (5)$$

$$P_{arr} = 2 \times 0.0646 [Kw]$$

$$P_{arr} = 0.1292 [KW]$$

Determinando la potencia de instalación: se considera que el rendimiento del motor eléctrico junto con el acople es igual a 95% y la reserva de potencia es de 20%, todo esto reunido en la ecuación 6. Tenemos:

$$P_{inst} = \frac{P_{arr} \times 1.2}{0.95} \quad [6]$$

$$P_{inst} = 0.1632 [KW] \Rightarrow P_{inst} = 0.218 [HP]$$

Dando como resultado un motor eléctrico de potencia: 0.218 [HP]

El motor seleccionado es un SIEMENS de 0.4 [HP] a 1800 [r.p.m.], con su respectivo variador de velocidad, debe tomarse en cuenta, que la selección esta sujeta a que este sistema de agitación debe suplir la necesidad de un tanque que posee ya existente en el laboratorio con el triple de volumen (30 [L]) y operación abierta.

El sistema de base y soporte, tanto de Variador como de motor están dentro del diseño y selección de este elemento, dando sus detalles en el anexo (planos finales).

- Eje a utilizar y acople flexible. Apoyados en la ASME y su Code for Desing of Transmission Shafting** , tenemos la ecuación 7:

$$Ssd = \frac{16 \times T \times Ks}{p \times D^3} \quad [7] \quad \rightarrow \quad D = \sqrt[3]{\frac{16 \times T \times Ks}{p \times Ssd}}$$

Se toman los factores convenientes de la tabla 8.

Tabla 26. Factores de carga

TABLA 9.1 VALORES DE K_t Y K_s

Tipo de la carga	K_t	K_s
Ejes fijos (esfuerzo de flexión sin inversión):		
Aplicada gradualmente	1,0	1,0
Aplicada repentinamente	1,5 a 2,0	1,5 a 2,0
Ejes giratorios (esfuerzo de flexión con inversión):		
Aplicada gradualmente o constante.	1,5	1,0
Aplicada repentinamente, con choque ligero	1,5 a 2,0	1,0 a 1,5
Aplicada repentinamente, con choque fuerte	2,0 a 3,0	1,5 a 3,0

Fuente: FAIRES, Virgil. Moring. Diseño de Elementos de Máquinas. Limusa Mexico, 1983

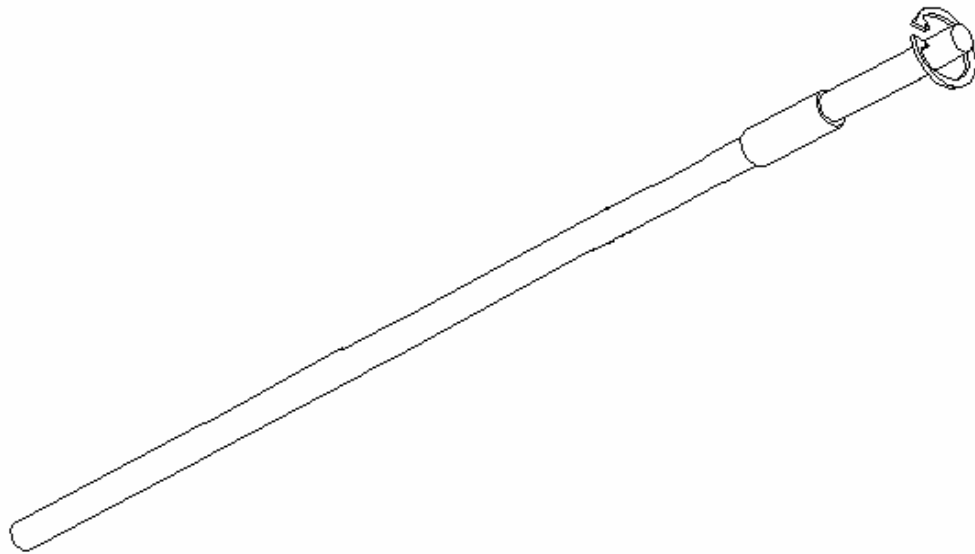
** EUGENE, A. Avallone. ; THEODORE, Braumister III. Marks Manual del Ingeniero Mecánico. México, Mc Graw Hill, novena edición, 1995.

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \times 18.25 [\text{Kg} - m] \times 2}{p \times 0.18}}$$

Se obtiene un valor de $D = 0.0084$ [m] por el método anterior como un valor referencia.

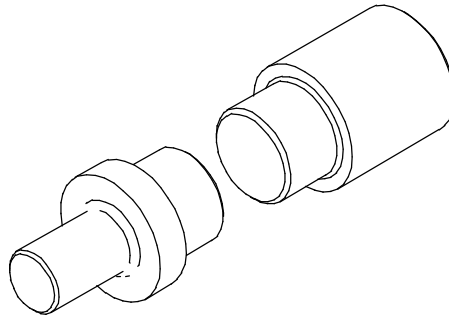
El eje seleccionado tiene un diámetro $D = \frac{1}{2}$ " , al cual se le colocó un buje para su soporte en el sistema de sellado.

Figura 41. Eje agitación Gelificación



Para el acople motor eje se diseño un sistema de acople flexible con interfaz de resorte, sus dimensiones están sujetas al espacio disponible, diámetro del eje del motor y otros parámetros encontrados en el sistema.

Figura 42. Sistema de acople



- Sello. El sello a utilizar esta compuesto de un cuerpo rígido con la presencia de un retenedor inferior, dos rodamientos sellados y un prensaestopas idóneo para las condiciones de temperatura y presión manejadas. (Ver detalles anexo planos finales).

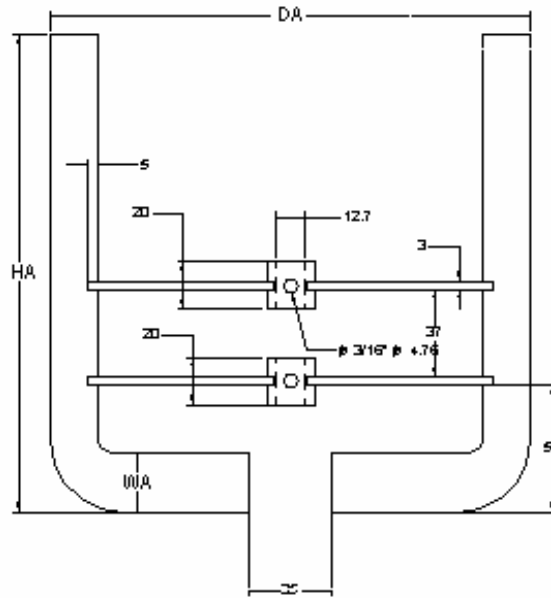
- Dimensiones anchor. Las dimensiones del agitador, reciben un cálculo preliminar por medio de las siguientes ecuaciones y se modifican de acuerdo al caso específico tratado:

$$\frac{DA}{DT} = 0.9 \quad (8) \quad DT = 0.1 \quad (9) \quad \frac{HA}{DT} = 0.9 \quad (10) \quad \frac{Z}{DT} = 0.1 \quad (11)$$

* Z altura del agitador al fondo del tanque.

* DT Diámetro del tanque.

Figura 43. Dimensiones anchor



DA = 18.9 [cm]	WA = 2.1 [cm]	HA = 18.9 [cm]	Z = 2.1 [cm]
----------------	---------------	----------------	--------------

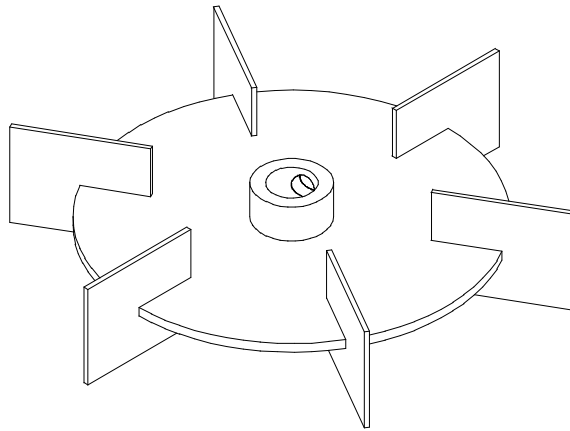
Estos son los valores referencia, los definitivos se muestran en el anexo de planos finales.

7.5. SOLUCIÓN ADOPTADA LICUEFACCIÓN Y SACARIFICACIÓN

Estas dos etapas del proceso poseen variables muy similares lo cual da la posibilidad de realizar un solo cálculo y selección para los dos casos. Como en la etapa anterior la agitación será realizada mediante un sistema mecánico, aplicando el movimiento desde la parte superior del reactor por medio de un motor eléctrico.

En este caso y por la baja viscosidad presentada y tener un régimen de agitación $Rec = 122445.46$, tenemos un agitador de tipo turbina Rushton, de doble elemento.

Figura 44. Turbina Rushton

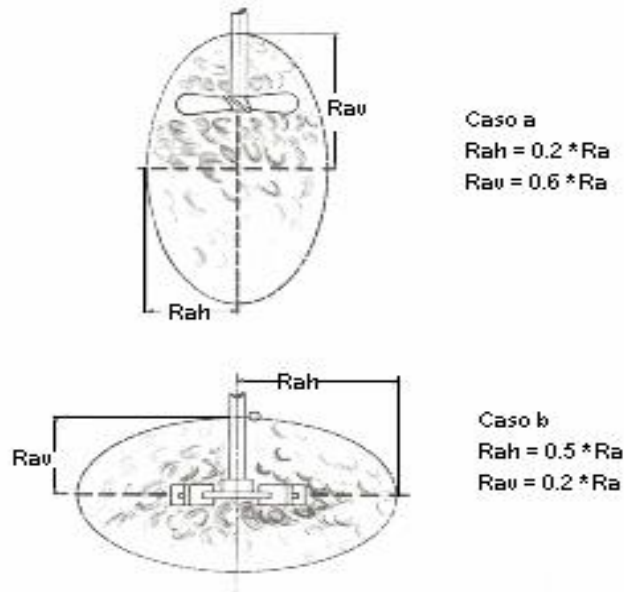


- **Material.** Por estar bajo las mismas condiciones que en la etapa anterior el material seleccionado fue el **ACERO INOXIDABLE AISI 304**.

- **Selección del agitador.** Teniendo el rango de viscosidad correspondiente a las etapas de licuefacción y sacarificación se entra a al Figura 39. Y se ubica la zona que corresponde al caso en análisis. Dando como agitador más recomendado el de tipo turbina Rushton.

Por ser el reactor de una relación diferente a la de 1:1 en cuanto a su diámetro-altura se debe introducir más de una turbina, para comprobar esto y determinar el número de turbinas, se calcula el radio de acción de la turbina en cuestión:

Figura 45. Radio de acción de un agitador



Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

Realizando los cálculos pertinentes con las ecuaciones dadas para el caso b, se obtiene que dos turbinas Rushton dan excelentes condiciones de agitación.

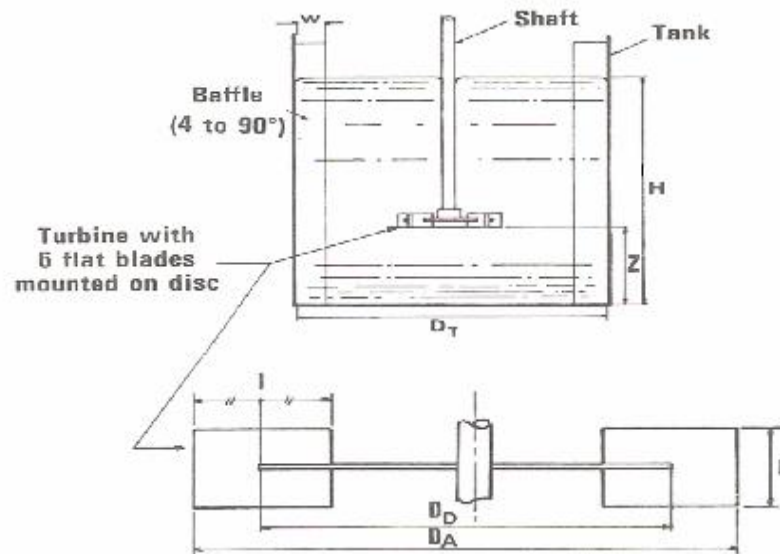
- **Dimensiones turbinas.** Las dimensiones de las turbinas reciben un cálculo preliminar por medio de las ecuaciones 12 a 17, las modificaciones que se realizan solo son pertinentes al eje en el cual van montadas de acuerdo a nuestro caso:

$$\frac{DA}{DT} = \frac{1}{3} \quad (12) \quad H = DT \quad (13) \quad H = DA \quad (14)$$

$$b = 0.2 \times DA \quad (15) \quad L = 1.25 \times b \quad (16) \quad DD = 0.75 \times DA \quad (17)$$

Para los datos específicos de medidas a cada proceso referirse al anexo G.

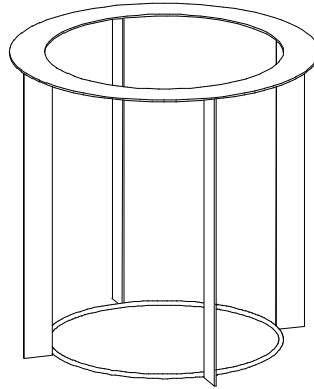
Figura 46. Dimensiones turbina



Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

- Baffles. En esta etapa si se debe colocar un sistema de ruptura de vórtice (mamparas), para garantizar unas condiciones homogéneas en el reactor esto es generado por el tipo de agitador seleccionado el cual genera un vórtice central que debe ser eliminado para la agitación esperada.

Figura 47. Baffles



- **Dimensiones Baffles.** El cálculo del número de aletas del baffle esta sujeto a las recomendaciones experimentales que se encuentran en la literatura y al número, cantidad y tipo de sensores que se involucran en el proceso. Teniendo como único valor fijo el ancho del baffle dado por la ecuación 18. :

$$W = 0.1 \times DT \quad [18]$$

De donde $W = 2$ [cm]

- **Potencia del motor.** En este caso la metodología es diferente a la anterior etapa, debido a que la turbina a utilizar si es del tipo Rushton, por lo cual no se incluye el factor Kn de corrección.

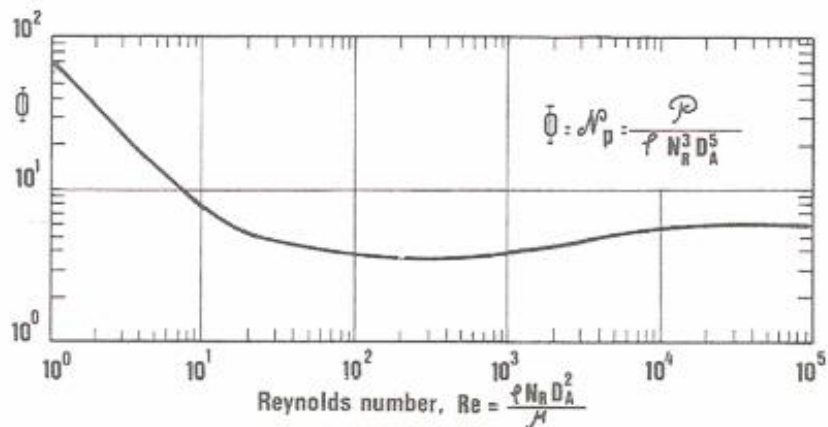
Cálculo del régimen de agitación, dado por la ecuación:

$$Re_c = \frac{(N \times Da^2 \times r)}{m}$$

Rec = 122445.46

A partir de este dato y con la ayuda de la Figura 48, se obtiene el valor Φ (factor de potencia).

Figura 48. Variación de Φ contra el numero de Reynolds



Fuente: TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988

Se obtiene un valor de $\Phi = 1.2$

Cálculo del número de potencia $N_p = \Phi$ el dato obtenido atrás, y de la ecuación 19. Se tiene:

$$N_p = \frac{P}{(\rho \times N^3 \times D_A^5)} \quad [19]$$

Se obtiene una potencia $\Rightarrow P = 0.0184$ [KW]

Corrección de la potencia de arrancada: habitualmente se tienen al arranque un valor 2 o 3 veces mayor que la de funcionamiento, aplicamos la ecuación 5. Y tenemos:

$$P_{arr} = 2 \times P \quad [5]$$

$$P_{arr} = 2 \times 0.0184 [\text{Kw}]$$

$$P_{arr} = 0.0368 [\text{Kw}]$$

Determinando la potencia de instalación: consideramos que el rendimiento del motor eléctrico junto con el acople es igual a 0.95 y la reserva de potencia es de 20%, todo esto reunido en la ecuación 6. Tenemos:

$$P_{inst} = \frac{P_{arr} \times 1.2}{0.95} \quad [6]$$

$$P_{inst} = \frac{0.0368 [\text{Kw}] \times 1.2}{0.95}$$

Dando como resultado un motor eléctrico de potencia:

$$P_{inst} = 0.046 [\text{Kw}] \quad \longrightarrow \quad P_{inst} = 0.062 [\text{HP}]$$

El motor seleccionado es de C.C. con potencia de 1/10 de caballo, y regulación de velocidad en un rango de 0 hasta 2000 [R.P.M.] a través de

un Variador de velocidad. Dentro de la selección de este elemento se añadió el diseño y construcción del sistema de pedestal para su montaje con una flexibilidad amplia, pensando en aplicaciones diferentes al Bioreactor.

- Eje y acople flexible. Para esta etapa la selección del eje se basó en la funcionalidad, debido a que el laboratorio cuenta con un gran número de elementos ya existentes, para realizar procesos de agitación, así como reactores en vidrio con sus respectivas tapas que limitan el diámetro del eje del agitador a utilizar, de donde el criterio de utilizar este elemento de agitación con todos los equipos existentes tuvo una gran influencia.

Por lo cual se seleccionó un eje de diámetro = $\frac{1}{4}$ " , el material del mismo es **ACERO INOXIDABLE AISI 316 L**, diferente al eje anterior por motivos de consecución en el mercado.

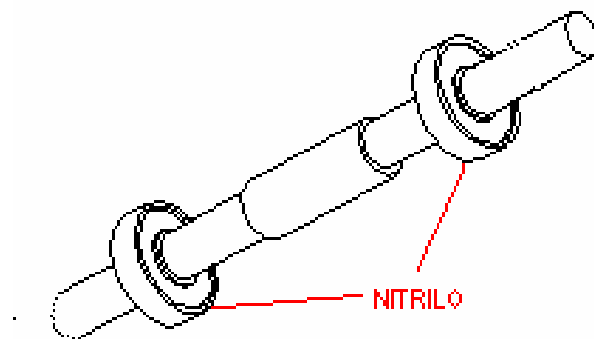
Para el acople motor eje se utiliza el mismo diseño anterior de sistema de acople flexible con interfaz de resorte, sus dimensiones están sujetas al espacio disponible, diámetro del eje del motor y otros parámetros encontrados en el sistema para esta nueva etapa.

- Sello. Los parámetros de esta etapa y el diámetro del eje, obligan a la utilización de un sello no convencional no así menos efectivo.

Los miembros de sellado entre el eje y la tapa se fabricaron de material elástico, ellos obtienen energía de manera mecánica por intermedio de una tapa roscada (detalles ver anexo planos finales)

Para tal fin se utilizó un sistema híbrido de retenedor en la parte inferior, más la acción de dos bujes hechos en nitrilo con un alma en bronce. Con el cual se obtuvieron óptimos resultados de estanqueidad.

Figura 49. Esquema sello



8. CONSTRUCCIÓN Y EMSAMBLE

8.1 MECANIZACIÓN

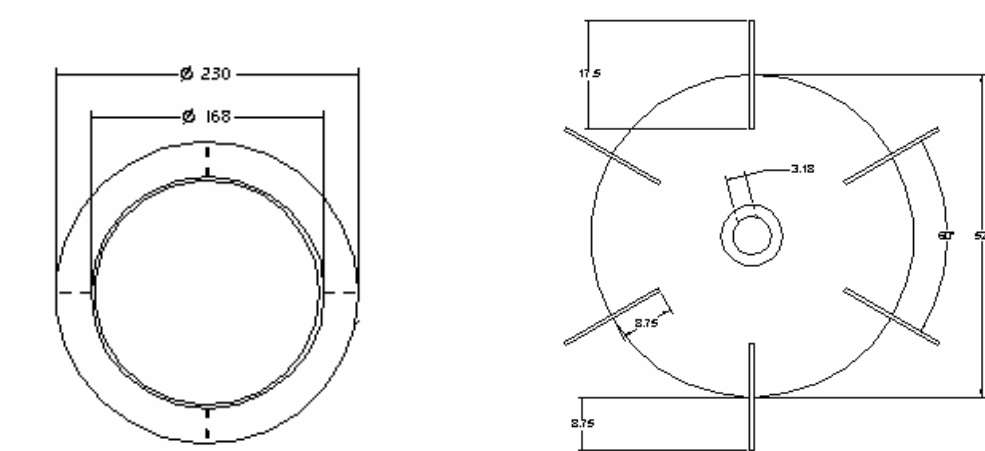
La realización del proyecto tiene como una de sus fases terminales la construcción de los dos Bioreactores. Para tal fin se realizo un proceso de recolección de cotizaciones lo cual implico cuatro talleres metal-mecánicos de la ciudad de Bucaramanga.

Luego de la evaluación de las propuestas, costos y garantías presentadas por los talleres en cuestión, se tomo la decisión de trabajar con el Centro de Mecanización Agrícola de Bucaramanga; ubicado en la zona de guatiguara. Por ser esta institución de carácter publico y tener nexos con la Universidad Industrial de Santander se acordó la entrega de los equipos y la forma de pago respectiva.

Los procesos utilizados que intervinieron en esta fase de construcción se describen a continuación, con detalle en la pieza o elemento que se aplicaron.

- Oxicorte. El corte con llama se utilizo para la obtención de los redondos que conformaban la base del cilindro principal del reactor y el de la chaqueta, bridas, tapas, flanges de las bases, además del corte de los aros correspondientes a la chaqueta y los baffles de cada Bioreactor, esto por tener un procedimiento rápido y acorde con los espesores manejados.

Figura 50. Elementos varios cortados por oxicorte



- **Doblado.** Este proceso fue necesario para la conformación del cuerpo de los Bioreactores, ya que se considero la consecución de tubo con las dimensiones que se dieron en la etapa de diseño, pero comercialmente no se pudo obtener, debido al calibre y material específico.

- **Soldadura.** No existen reglas sencillas y precisas que determinen el tipo de soldadura a utilizar para cada trabajo en particular. En general, los factores determinantes en la elección son:

- ◆ Tipo de metal a soldar.
- ◆ El costo.
- ◆ La naturaleza de los productos a fabricar.
- ◆ Técnicas utilizadas en el mercado.

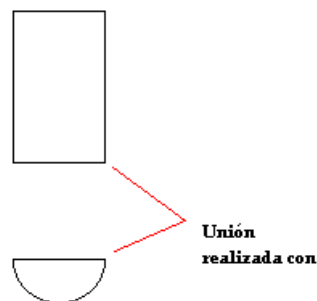
En este proceso se utilizaron dos tipos de procedimientos de soldadura, decisión tomada por los costos generados y por los productos a manejar en los equipos a fabricar, estos son:

- ü Arco con electrodo revestido
- ü TIG (arco con protección gaseosa)

El porque de esta selección esta sujeto a la presencia de dos componentes básicos en el Bioreactor (Tanque principal y Chaqueta de calentamiento). Se tiene primordialmente la necesidad de un acabado interior optimo, ya que las enzimas con las que se trabaja son muy susceptibles a los residuos de mezcla en las paredes internas del recipiente, y a la presencia de agitación y temperatura permanentes, lo que nos da como resultado la utilización de soldadura TIG en el interior del reactor, en la unión cuerpo con el fondo. La escasez de humos en este tipo de soldadura garantiza una soldadura mas limpia.

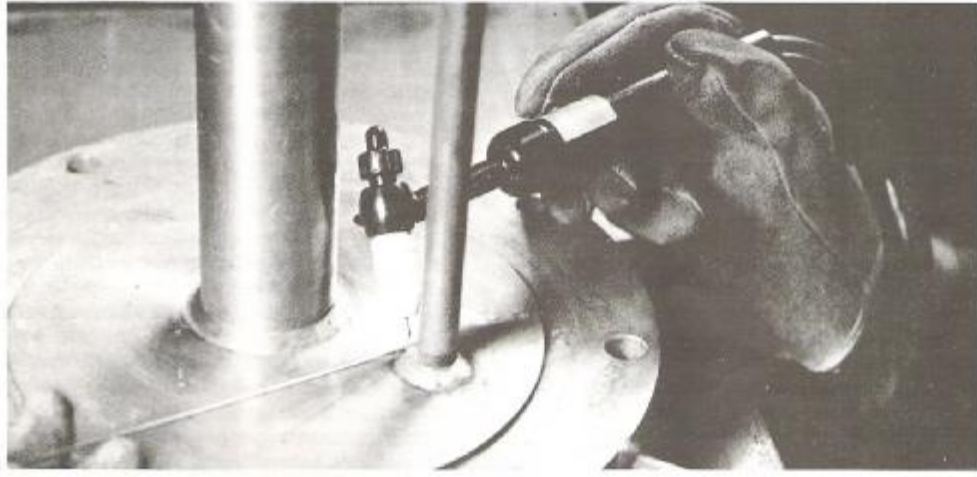
Se acataron todas las recomendaciones que se presentan en lo referente al gas de protección dadas por la AWS*, solo argon para espesores finos puesto que permite un buen control de la penetración.

Figura 51. Unión cuerpo fondo



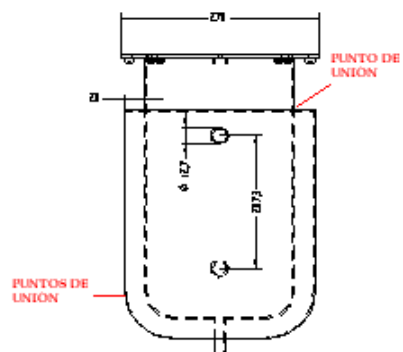
* American Welding Society

Figura 52. Procedimiento TIG



La unión referente a la chaqueta con el cilindro del reactor si se realizo con soldadura de arco eléctrico con electrodo ya que por el interior solo tenemos el flujo del fluido de calentamiento, para este caso agua.

Figura 53. Soldadura chaqueta



- Torno. Este proceso fue crucial para el acabado y rectificación de las piezas que salían del oxicorte, así como para la creación de nuevas piezas como lo fueron las válvulas de descarga y los bujes de las turbinas.

Figura 54. Válvula de descarga



- Fresadora. El visor del Bioreactor de sacarificación fue fabricado en su totalidad por medio de fresadora, además de las rectificaciones necesarias de las tapas y el conjunto de reducciones de las válvulas de descarga.

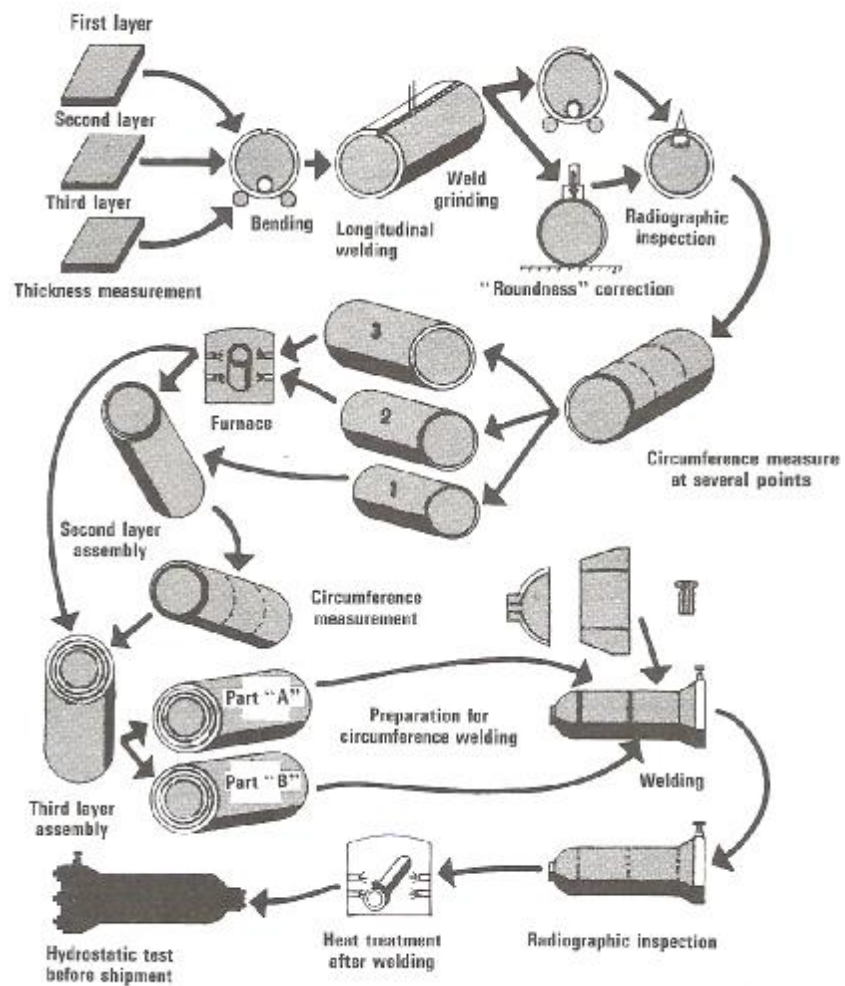
Figura 55. Visor



- Otros. La gran cantidad de procesos utilizados abarcan la mayoría de los procesos de conformado conocidos, entre ellos se pueden nombrar:

Taladrado, pulido manual, pulido con Moto Tool, roscado, corte con segueta (mecánica y manual), pulido con pulidora, realización de utilajes para la construcción, prensado, etc....

Figura 56. Procesos varios



8.2 MONTAJE

La realización del montaje total de la planta piloto se realizó durante los meses de diciembre 2003 y enero 2004, tiempo durante el cual se realizaron repetidas corridas del proceso total. Esta experimentación generó datos satisfactorios en cuanto a la producción de glucosa, comportamiento de las enzimas y los equipos utilizados (Bioreactores), al igual que sus accesorios respectivos. Los ajustes necesarios de los equipos y solución de necesidades generadas estuvieron a cargo de los autores del proyecto incluso en campos que no atañan los equipos construidos si no también equipos ya existentes (reparación, adecuación y mantenimiento)

El motivo por el cual se dio el desmonte posterior de la planta, obedece a que el uso de ciertos componentes de la misma, es compartido con otros procesos que actualmente se dan en el laboratorio de biotecnología y la escuela de ingeniería química, además por motivos de cambio de variables debido a la utilización de un almidón con características diferentes y cambios propuestos por los estudiantes de ingeniería química, también participantes de dicho proyecto, lo cual obligó a volver a la fase de laboratorio para verificación de algunos parámetros del proceso.

Otro factor importante es el redireccionamiento que se dio a la investigación, ya que en las corridas del mes de diciembre con el manejo de volúmenes mayores de la mezcla (10 [lt]) se consiguieron subproductos importantes y en cantidades considerables, teniendo como el más importante las DEXTRINAS*. A continuación y en el ANEXO F, se tiene

* Base necesaria para la producción de pegantes

una visualización detallada del montaje total y ubicación de todos los componentes.

Figura 57. Montaje total planta piloto vista 1



Figura 58. Montaje total planta piloto vista 2



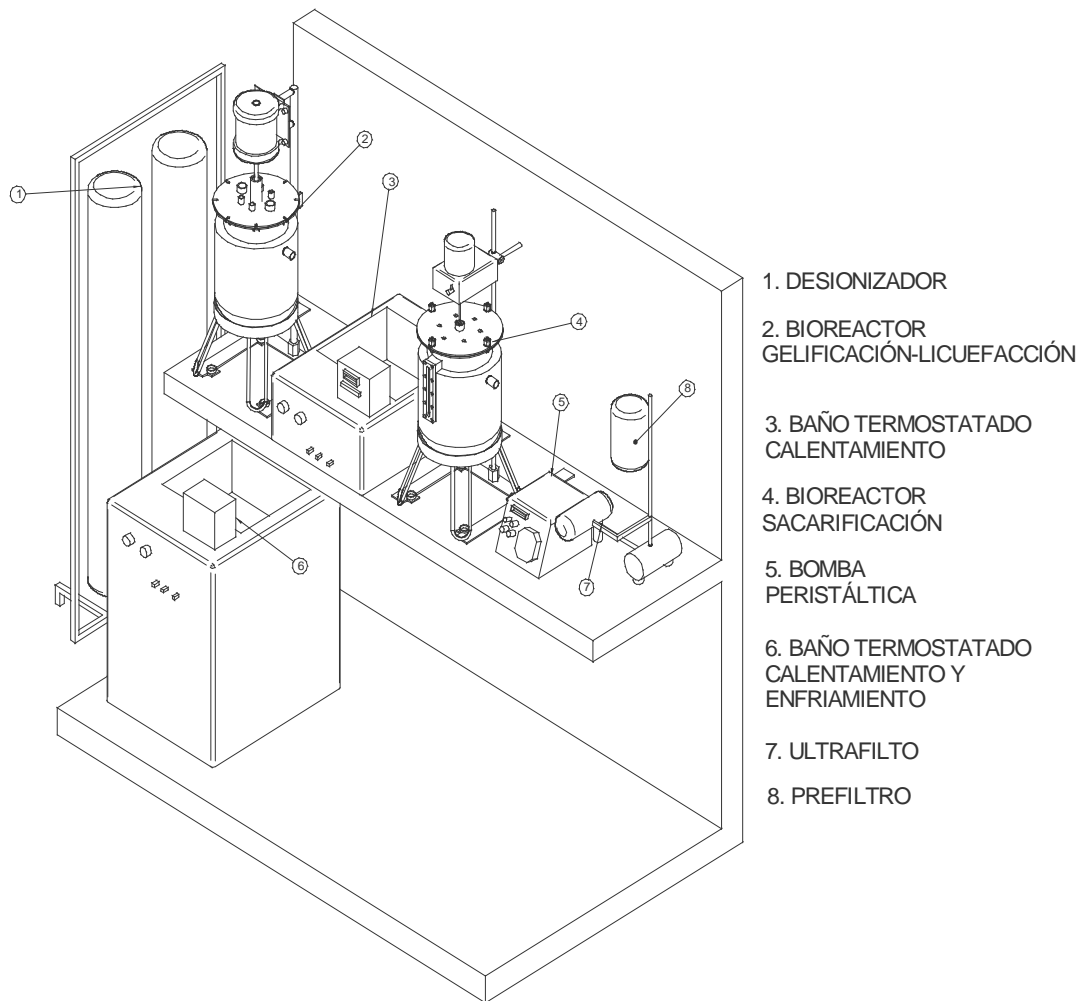
Figura 59. Bioreactor sacarificación



Figura 60. Bioreactor sacarificación en continuo con el prefiltro y el ultrafiltro



Figura 61. Isométrica de la planta piloto



CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Se continuó con la investigación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (código 201681143), debidamente registrado en la oficina general de investigaciones de la UIS (código 7118), obteniendo los resultados necesarios y conclusiones, para la sustentación de dicho proyecto ante los delegados de PRONATTA, el Ministerio de Agricultura y el SEPAS.
- Se trabajó con un grupo interdisciplinario para el desarrollo de la planta piloto, compuesto de 4 estudiantes de Ingeniería Química, y dos estudiantes de Química Pura; además de los autores del anterior proyecto de grado (estudiantes de Ingeniería Mecánica). Experiencia que semeja de manera muy real las condiciones encontradas en la industria hoy.
- Se logró una importante contribución al sector Biotecnológico de la UIS, específicamente para la investigación de la industria de alimentos, al diseñar y construir los dos Bioreactores de una forma económica y funcional desarrollada a base de herramientas de diseño y recursos disponibles en nuestro entorno.
- Se construyeron los accesorios necesarios para el montaje y funcionamiento de los Bioreactores dentro de la instalación y se repararon equipos preexistentes en el laboratorio y el depósito de equipos de ingeniería química (bombas, baños termostatados).

- Se realizaron las pruebas funcionales de control de temperatura y respuesta de los equipos a cambios de variables de operación, dando como resultado un comportamiento flexible y con rangos de error bajos y cercanos a los esperados y encontrados en los cálculos.

- Los modelos matemáticos de las situaciones reales, son un apoyo imprescindible en el diseño de elementos de equipos, pero no se puede dejar de lado las contribuciones por parte de los técnicos y demás personas que intervienen en todo el proceso, que en algunos casos distan de los datos obtenidos en el diseño y aplican de mejor manera a los casos que deben resolver.

- El desarrollo del presente trabajo de grado da la oportunidad de plasmar a los integrantes del mismo, los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y enfrentarse a una gran variedad de problemáticas que se generan de los procesos de construcción y manejo de materiales del mercado local y nacional.

- Se fabricaron los asientos de los bioreactores en un calibre mayor al resto de componentes del equipo para lograr acabados mejores y suplementar los procesos de conformado realizados a los mismos..

- Se debe considerar el aislamiento exterior del bioreactor, puesto que al realizar procesos de esterilización, esto no se realizó en el presente proyecto por razones que pertenecen al área de financiamiento.

- Se recomienda la continuidad de este proyecto en lo referente al área de Ingeniería Mecánica, ya que algunos de los equipos de calefacción y bombeo, fueron cedidos provisionalmente y esto entorpece las corridas de los Bioreactores, cuando se reintegran dichos equipos a su lugar de asignación original.

- La culminación de este proyecto de grado arroja como conclusión final y más importante, la reorientación de la investigación hacia el horizonte de la producción de dextrinas, y utilización de otras enzimas para la producción de los jarabes de glucosa. Estos estudios se realizan en la actualidad a escala laboratorio y se tiene a la espera el montaje de los Bioreactores en modo planta piloto.

BIBLIOGRAFIA

A. AVALLONE, Eugene.; BRAUMISTER, Theodore III. Marks Manual del Ingeniero Mecánico. México, Mc Graw Hill, novena edición, 1995.

BADOS, José, M.; ESTRADA, Alejandro. Transmisión del Calor, Argentina, Editorial Alsina, 1956.

BU'LOCK, Jhon. ; BJORN, Kristiansen. Basic Biotechnology, London, Academic Press, 1998.

FAIRES, Virgil. Moring. Diseño de Elementos de Máquinas. México, Limusa, 1983.

FARR, James R.; JAWAD, Maan. H. Guide Book For The Design Of ASME Section VIII Pressure Vessels. ASME Press. 1998.

GIACHINO, W. Joseph. ; WEEKS, William. Técnica y práctica de la soldadura. España, Editorial Reverté, 1998.

GREENE, Richard. Válvulas: Selección, Uso y Mantenimiento. Mc. Graw Hill. 1992.

KERN, Donald Q, Procesos de transferencia de Calor, 26 edición, Compañía editorial continental México 1995.

PALLUZI, Richard P. Pilot Plant Design, Construction, And Operation. Mc Graw Hill Inc. 1992.

PAVLOV, K. F.; ROMANKOV, P. G.; NOSKOV, A.A. Problemas Y Ejemplos Para El Curso De Operaciones Básicas Y Aparatos En Tecnología Química. Moscú, Mir. 1981.

PERRY, H. Robert. ; DON, W. Green. ; JAMES, O. Maloney. Manual del Ingeniero Químico. España, Mc Graw Hill, séptima edición, 2001.

TRAMBOUZE, Pierre. Chemical Reactor Design, Engineering and Operation. Imprimerie Nouvelle, 1988.

W. UHL. Vincent,; B. GRAY, Joshep. Mixing Theory an Practice, New York, Academic Press, 1967.

ANEXO A Tabla UCS 23

WB3

TABLE UCS-23
MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR CARBON AND LOW ALLOY STEEL
(Caution: See UW-12 for vessels constructed under Part UW)

Spec. No.	Grade	Nominal Composition	P. No.	Group No.	Notes	Specified Min. Yield, ksi	Specified Min. Tensile, ksi	
Boiling — All Carbon and Low Alloy Steels								
S83 WB3	SA-193	B5	5Cr-1/2Mo	...	...	(7)	99	100
		B7	1Cr-1/2Mo ≤ 2 1/2 in. 1Cr-1/2Mo > 2 1/2 in. and ≤ 4 in. 1Cr-1/2Mo > 4 in.	...	...	(7)	105	125
	B7M	...	...	...	...	(7)	75	100
		B16	1Cr-1/2Mo ≤ 2 1/2 in. 1Cr-1/2Mo-V > 2 1/2 in. and ≤ 4 in. 1Cr-1/2Mo-V > 4 in.	...	...	(7)	105	125
	SA-307	B	C	...	...	(8)	...	55
		SA-320	L43	1 1/2Ni-1/2Cr-1/2Mo	(7)(C1)	105	125
	L7		1Cr-1/2Mo	...	...	(7)(C2)	105	125
	L7A for 2 1/2 in. dia. and under L7M		1Cr-1/2Mo ≤ 2 1/2 in.	...	...	(7)(C3)	105	125
	SA-325	Types 1 and 2	C; 1/2 in.-1 in., incl.	...	...	(7)	92	120
		Types 1 and 2	C; 1 1/2 in.-1 1/2 in., incl.	...	...	(7)	81	105
S83	SA-354	BC	C	...	...	(7)	99	115
		BD	C	...	...	(7)	125	150
S84	SA-420	WPL-6	C-Mn-Si	1	1	(18)(C8)	35	60
		WPL-9	2Ni-1Cu	9A	1	(10)(C8)	46	63
		WPL-3	3 1/2Ni	9B	1	(38)	35	65
SA-449	1 in. & under	C	...	...	(7)	92	120	
	> 1 in. and ≤ 1 1/2 in.	C	...	...	(7)	81	105	
	> 1 1/2 in. and ≤ 3 in.	C	...	...	(7)	58	90	
SA-574	≤ 1/2 in.	...	...	...	(7)(34)(C5)	...	180	
	> 1/2 in.	...	...	...	(7)(34)(C5)	...	170	
S85 Fittings — All Carbon and Low Alloy Steels								
S84	SA-234	WP1	C-1/2Mo	3	1	(19)(C8)	30	55
		WP12	1Cr-1/2Mo	4	1	(38)	30	60
		WP11	1 1/2Cr-1/2Mo-Si	4	1	(38)	30	60
		WP22	2 1/2Cr-Mo	5	1	(38)	30	60
S84 S85	SA-234	WPS	5Cr-1/2Mo	5	2	(10)(C8)	30	60
		WP7	7Cr-1/2Mo	5	2	(10)(C8)	30	60
		WP8	C-Si	1	1	(18)(C8)	35	60
		WP9	9Cr-1Mo	5	2	(10)(C8)	30	60
		WPC	C-Si	1	2	(18)(C8)	40	70
		WPR	2Ni-1Cu	9A	1	(10)(C8)	40	63

I

1983 Edition

TABLES

Table UCS-23

TABLE UCS-23
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR CARBON AND LOW ALLOY STEEL
 (Caution: See UW-12 for vessels constructed under Part UW)

W8

Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temp., °F, Not Exceeding													Spec. No.	Ext. Press. Chart Fig. No.
-20 to -50	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200			
Bolting — All Carbon and Low Alloy Steels														
20.0	20.0	20.0	18.5	14.5	10.4	7.5	5.5	4.2	3.1	2.0	1.3	SA-193	NA	
25.0	25.0	23.6	21.0	17.0	12.9	9.5	6.9	5.2	3.9	2.5	1.6			
27.0	27.0	25.2	22.0	17.3	12.9	9.3	6.7	5.0	3.7	2.4	1.5			
18.8	18.8	18.8	18.0	16.3	12.3	8.5	6.3	4.8	3.6	2.3	1.5	SA-193	NA	
20.0	20.0	20.0	18.5	14.2	12.5	8.5	6.3	4.8	3.6	2.3	1.5			
25.0	25.0	23.0	20.0	16.5	12.5	9.0	6.7	5.0	3.7	2.4	1.5			
22.0	22.0	22.0	22.0	21.0	18.5	13.3	11.0	8.3	6.3	4.2	2.8			
20.0	20.0	20.0	20.0	18.8	16.7	14.3	11.0	8.3	6.3	4.2	2.8	SA-193	NA	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-307	NA
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-320	NA
25.0	25.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-320	NA
20.0	20.0	20.0	18.5	14.2	12.5	8.5	6.3	4.8	3.6	2.3	1.5	SA-325	NA	
23.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
20.2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-325	NA
23.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-354	NA
30.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	...	...	...	...	...	...	...	SA-340	S-UCS-28.3
16.3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
23.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-419	NA
20.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14.5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-574	NA
...			
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-574	NA
Fittings — All Carbon and Low Alloy Steels														
13.8	13.8	13.8	13.0	13.2	12.7	8.7	6.8	5.1	3.9	2.6	1.7	SA-734	S-UCS-28.2	
15.0	15.0	15.0	14.8	14.2	13.1	11.0	7.5	5.0	3.8	2.5	1.6			
15.0	15.0	15.0	15.0	14.4	13.1	11.0	7.8	5.5	4.0	2.5	1.2			
15.0	15.0	15.0	15.0	14.4	13.2	11.0	7.8	5.8	4.2	3.0	2.0			
...	13.7	13.2	12.8	12.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3	SA-234	S-UCS-28.2	
...	13.7	13.2	12.3	11.1	10.9	8.0	5.8	4.2	2.9	2.0	1.3			
5.0	14.4	13.8	10.8	8.7	6.6	4.6	2.5	...	...	...	...	SA-234	S-UCS-28.2
...	13.7	13.2	12.8	12.1	11.4	10.6	7.4	6.0	3.3	2.2	1.3			
7.5	16.6	14.8	12.0	...	...	...	...	...	...	...	...	SA-234	S-UCS-28.2

S83
W83

S83

S84

S85

S84

S84
S85

ANEXO B Datos tornillos

DATOS DE APERNADO

Tamaño del perno a [pulg]	Serie de hilos ordinarios		Serie de 8 hilos	Dimensiones de la tuerca		Mínimo			Radio máximo del filete r [pulg]	Diámetro de la llave [pulg]
	Hilos por pulgada	Área de raíz [pulg ²]	Área de raíz [pulg ²]	Sobre planos [pulg]	Sobre esquinas [pulg]	Espacio entre pernos [pulg]	Distancia radial R [pulg]	Distancia de borde E [pulg]		
1/2	13	0.126	-	7/8	0.969	1 1/4	13/16	5/8	1/4	1 1/2
5/8	11	0.202	-	1 1/16	1.175	1 1/2	15/16	3/4	5/16	1 3/4
3/4	10	0.302	-	1 1/4	1.383	1 3/4	1 1/8	13/16	3/8	2 1/16
7/8	9	0.419	-	1 7/16	1.589	2 1/16	1 1/4	15/16	3/8	2 3/8
1	8	0.551	0.551	1 5/8	1.796	2 1/4	1 3/8	1 1/16	7/16	2 5/8
1 1/8	7	0.693	0.728	1 13/16	2.002	2 1/2	1 1/2	1 1/8	7/16	2 7/8
1 1/4	7	0.89	0.929	2	2.209	2 13/16	1 3/4	1 1/4	9/16	3 1/4
1 3/8	6	1.054	1.155	2 1/6	2.416	3 1/16	1 7/8	1 3/8	9/16	3 1/2
1 1/2	6	1.294	1.405	2 3/8	2.622	3 1/4	2	1 1/2	5/8	3 3/4
1 5/8	5 1/2	1.515	1.68	2 9/16	2.828	3 1/2	2 1/8	1 5/8	5/8	4
1 3/4	5	1.744	1.98	2 3/4	3.035	3 3/4	2 1/4	1 3/4	5/8	4 1/4
1 7/8	5	2.049	2.304	2 15/16	3.242	4	2 3/8	1 7/8	5/8	4 1/2
2	4 1/2	2.3	2.652	3 1/8	3.449	4 1/4	2 1/2	2	11/16	4 3/4
2 1/4	4 1/2	3.02	3.423	3 1/2	3.862	4 3/4	2 3/8	2 1/4	11/16	5 1/4
2 1/2	4	3.715	4.292	3 7/8	4.275	5 1/4	3 1/16	2 3/8	13/16	5 7/8
2 3/4	4	4.618	5.259	4 1/4	4.688	5 3/4	3 3/8	2 5/8	7/8	6 1/2
3	4	5.621	6.324	4 5/8	5.102	6 1/4	3 5/8	2 7/8	15/16	7

ANEXO C Datos de empaques

TABLA UA-49.1
MATERIALES DE EMPAQUE Y CUBIERTAS DE CONTACTO

Factores de Empaque (m) para condiciones de operación y esfuerzo de asentamiento de diseño mínimo (y). NOTA: Esta tabla da una lista de muchos materiales de empaque y cubiertas de contacto comúnmente usados con valores de diseño sugeridos de m y que han resultado generalmente satisfactorios al usar el ancho de asentamiento efectivo del empaque dado en la Tabla UA-49.2. Los valores de diseño y otros detalles dados en esta tabla son solo sugeridos y no son obligatorios				Hace referencia a la Tabla UA-49.2	
Material de empaque	Factor de empaque	Esfuerzo de asentamiento de diseño mínimo	Bocetos y notas	Use boceto de cubierta	Use column
De tipo autoenergizante: Anillos O, metálicos, elastómero y otros tipos considerados como autoenergizantes	0	0	-	-	-
Elastómeros sin tejido o alto porcentaje de fibra de asbestos: Debajo de 75 de dureza Shore 75 o superior de dureza Shore	0.5 1	0 200		I(a,b,c,d) 4,5	II
Asbesto con un conveniente atador para las condiciones de operación	Espesor: 1/8 1/16 1/32	2 2.75 3.5	1600 3700 6500		
Elastómeros con inserción tejida de algodón	1.25	400			
Elastómeros con inserción tejida de asbesto con o sin alambre de refuerzo	3 capas	2.25	2200		
	2 capas	2.5	2900		
	1 capa	2.75	3700		
Fibra vegetal	1.75	1100			
Metal en espiral doblada relleno de asbesto	Carbón	2.5	2900	I(a,b)	
	Inoxidable o Monel	3	4500		
Metal corrugado con asbesto insertado ó metal corrugado de cubierta y relleno de asbesto	Aluminio suave	2.5	2900		
	Cobre suave o Latón	2.75	3700		
	Hierro o acero suave	3	4500		
	Monel ó 4-6% cromo	3.25	5500		
	Aceros inoxidables	3.5	6500		

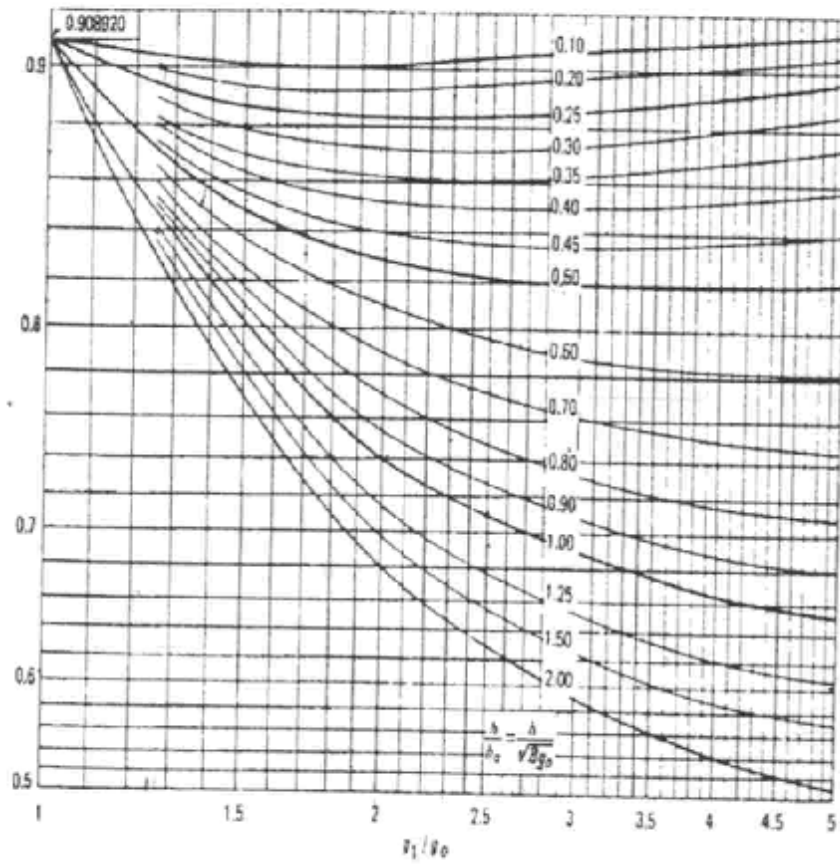
ANEXO D Tablas propiedades materiales

Denomination				Composition per cent weight						
France	West Germany	USA	United Kingdom	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Other
Z2.CN.18.10	X2.Cr-Ni 18.09	304 L	304 S 12	max 0.03	max 2	max 1	8-12	17-20	-	-
Z6.CN.18.09	X5.Cr-Ni 18.09	304	304 S 15	max 0.08	max 2	max 1	8-12	17-20	-	-
Z6.CNT.18.11	X10.Cr-Ni-Ti 18.09	321	321 S 12	max 0.08	max 2	max 1	8-12	17-20	-	Ti > 5% max 0.6
Z2.CND.17.12	X2.Cr-Ni-Mo 18.10	316 L	316 S 12	max 0.03	max 2	max 1	10-14	16-18.5	2-3	-
Z6.CND.17.11	X5.Cr-Ni-Mo 18.10	316	316 S 16	max 0.08	max 2	max 1	10-14	16-18.5	2-3	-
Z8.CND.T.17.12	X10.Cr-Ni-Mo-Ti 18.10	316 Ti	320 S 17	max 0.10	max 2	max 1	10-14	16-18.5	2-3	Ti > 5% Ti max 0.6

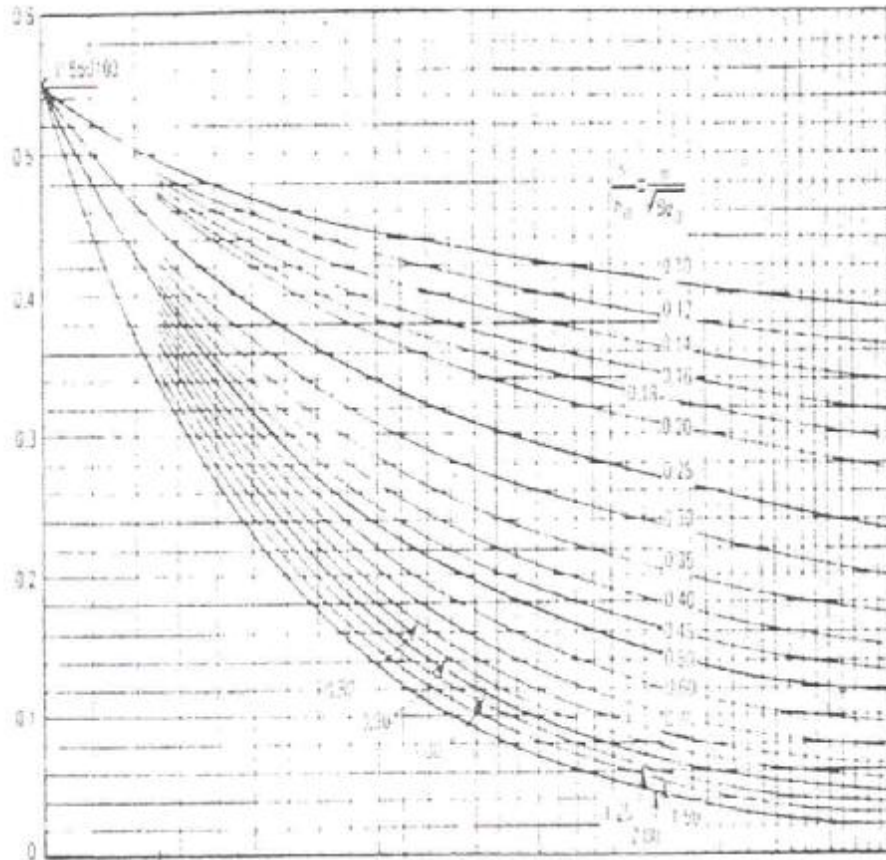
ANEXO E Nomogramas

NOMOGRAMA 1

VALORES DE F

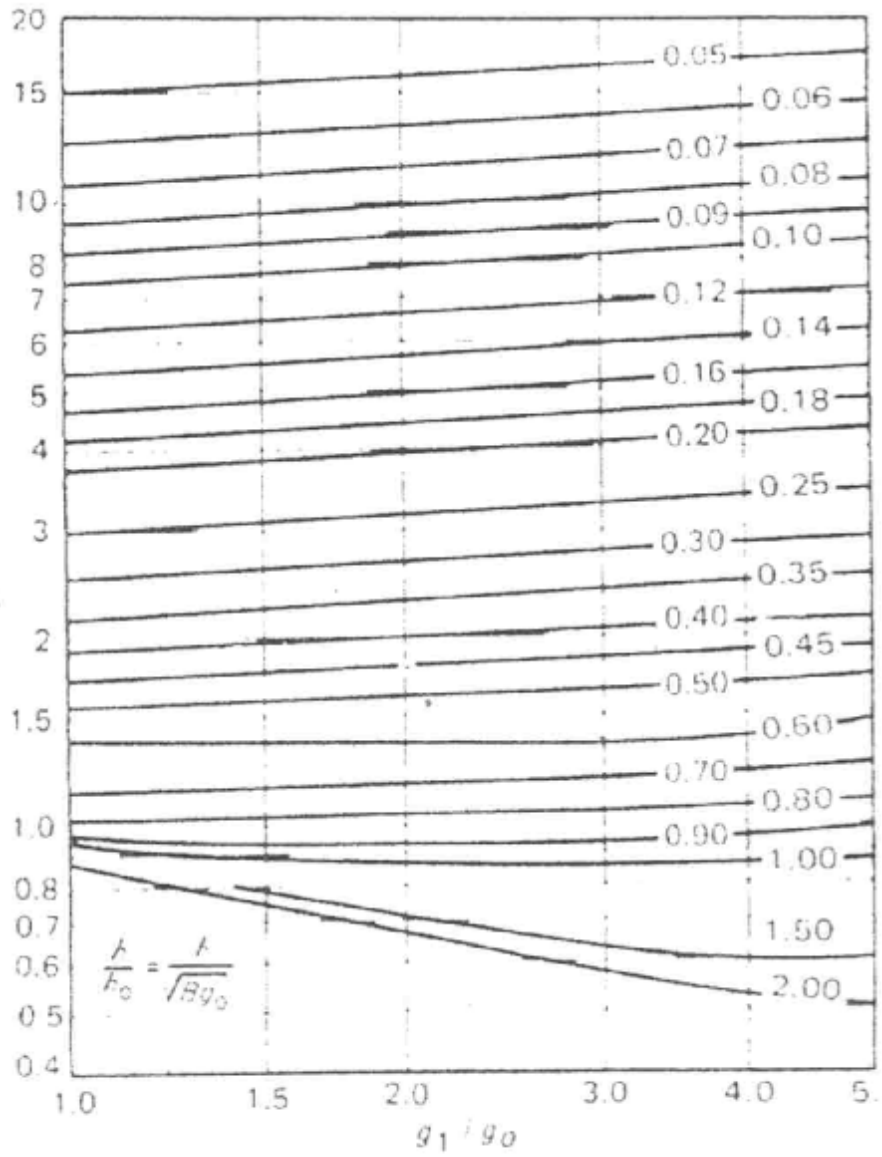


NOMOGRAMA 2 VALORES DE V



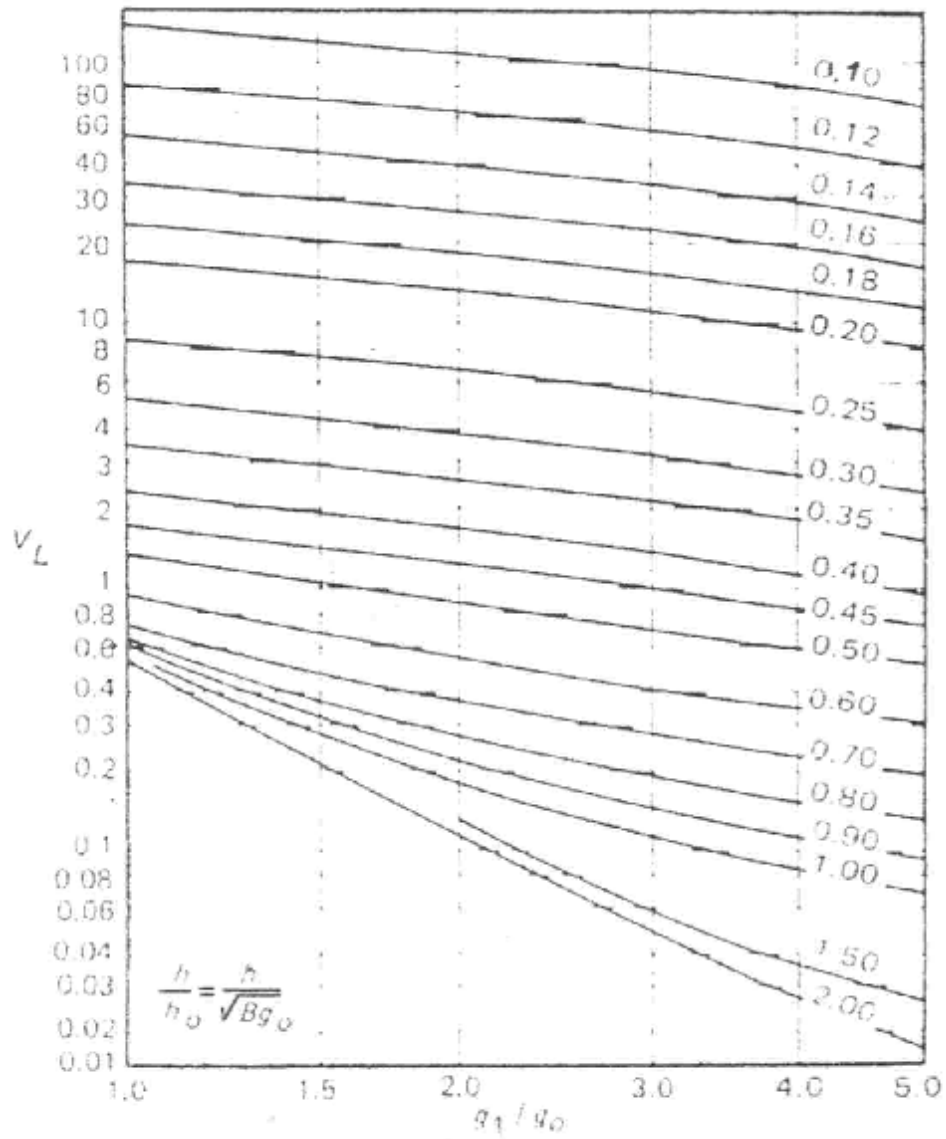
NOMOGRAMA 3

VALORES DE F_L



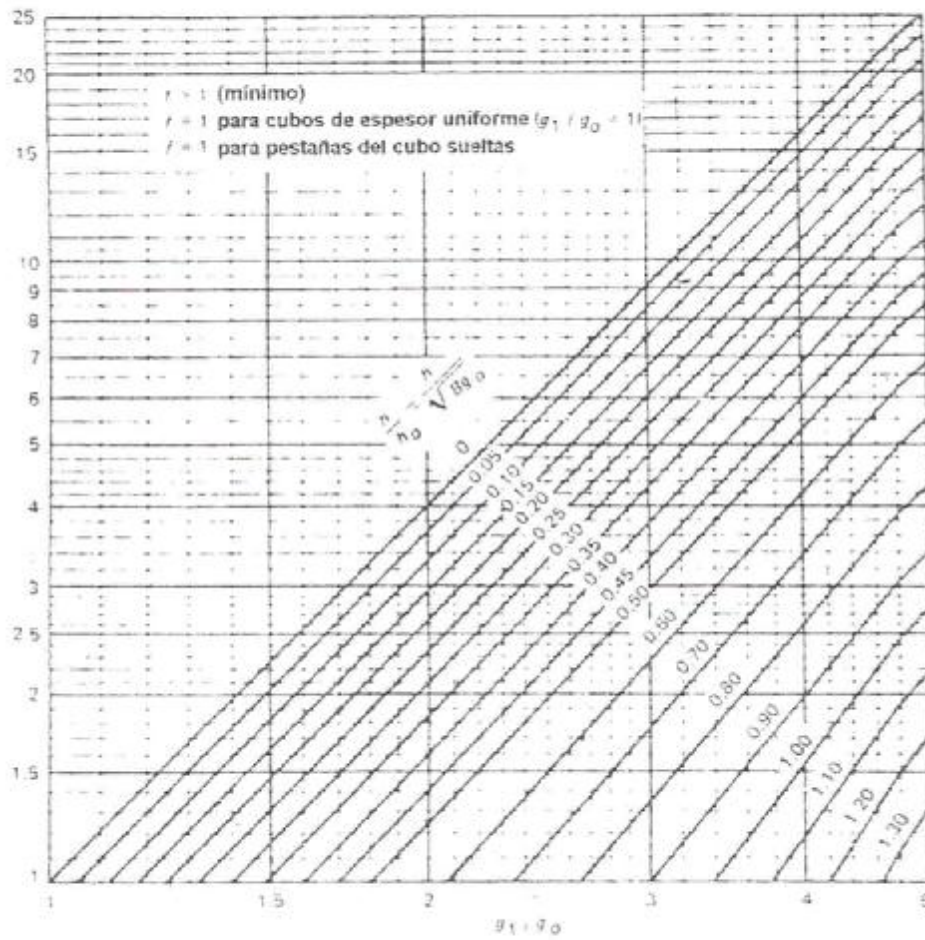
NOMOGRAMA 4

VALORES DE V_L



NOMOGRAMA 5

VALORES DE f



VALORES DE f (UA51.6)
 (Factor de corrección por esfuerzo en el cubo)
 (Reproducido de la Sección VII CÓDIGO ASME, Div. 1)

ANEXO F Fotos de equipos

**FOTOS DE LOS ACCESORIOS CONSTRUIDOS Y OTROS OBTENIDOS
PARA EL MONTAJE**

ACCESORIO	ETAPA DE GELIFICACIÓN LICUEFACCIÓN	ETAPA DE SACARIFICACIÓN
<p align="center">BIOREACTOR</p>		
<p align="center">AGITADORES</p>		

<p>FUENTE DE CALEFACCIÓN</p>		
<p>VARIADORES DE VALOCIDAD PARA LA AGITACIÓN</p>		
<p>SISTEMA DE BOMBEO</p>		

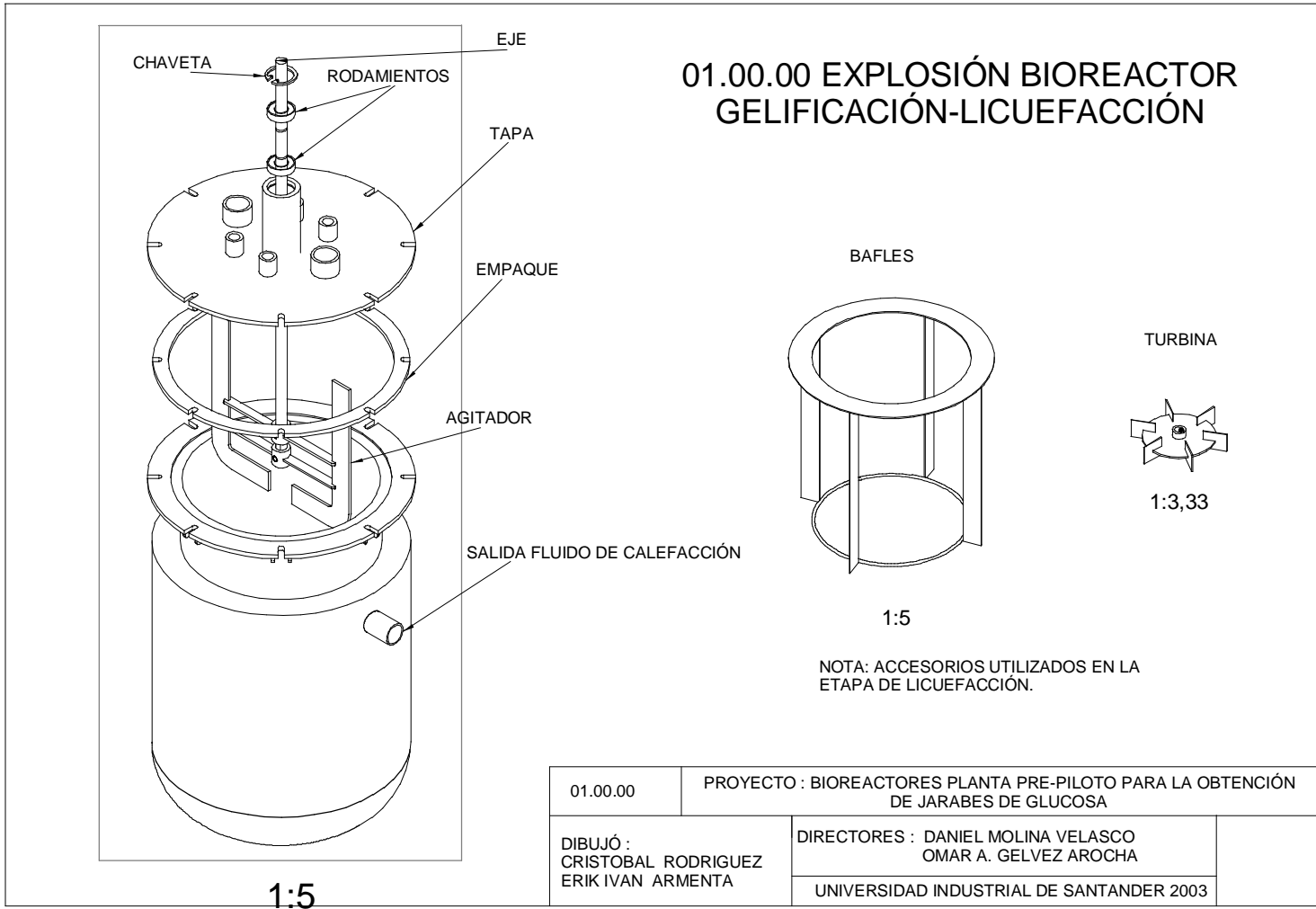
VÁLVULA DE
DESCARGA

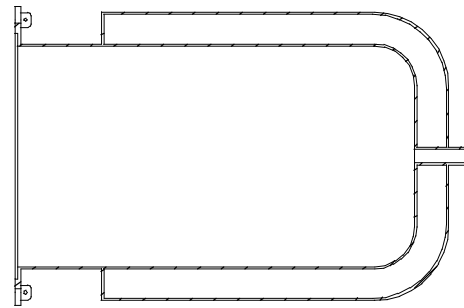
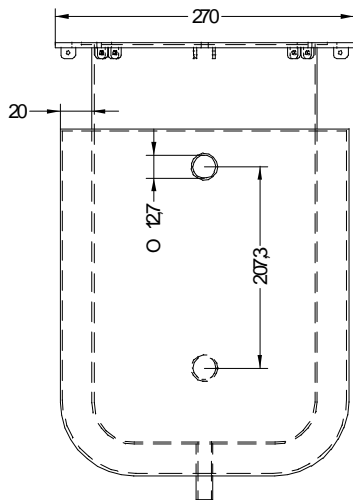
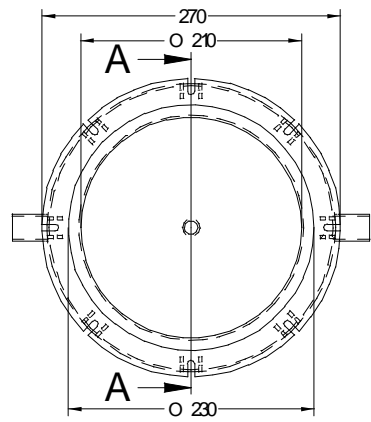


BAFLES

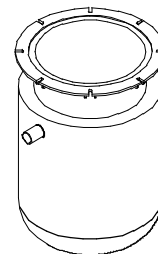


**ANEXO G Planos Bioreactor Gelificación y
Licuefacción**



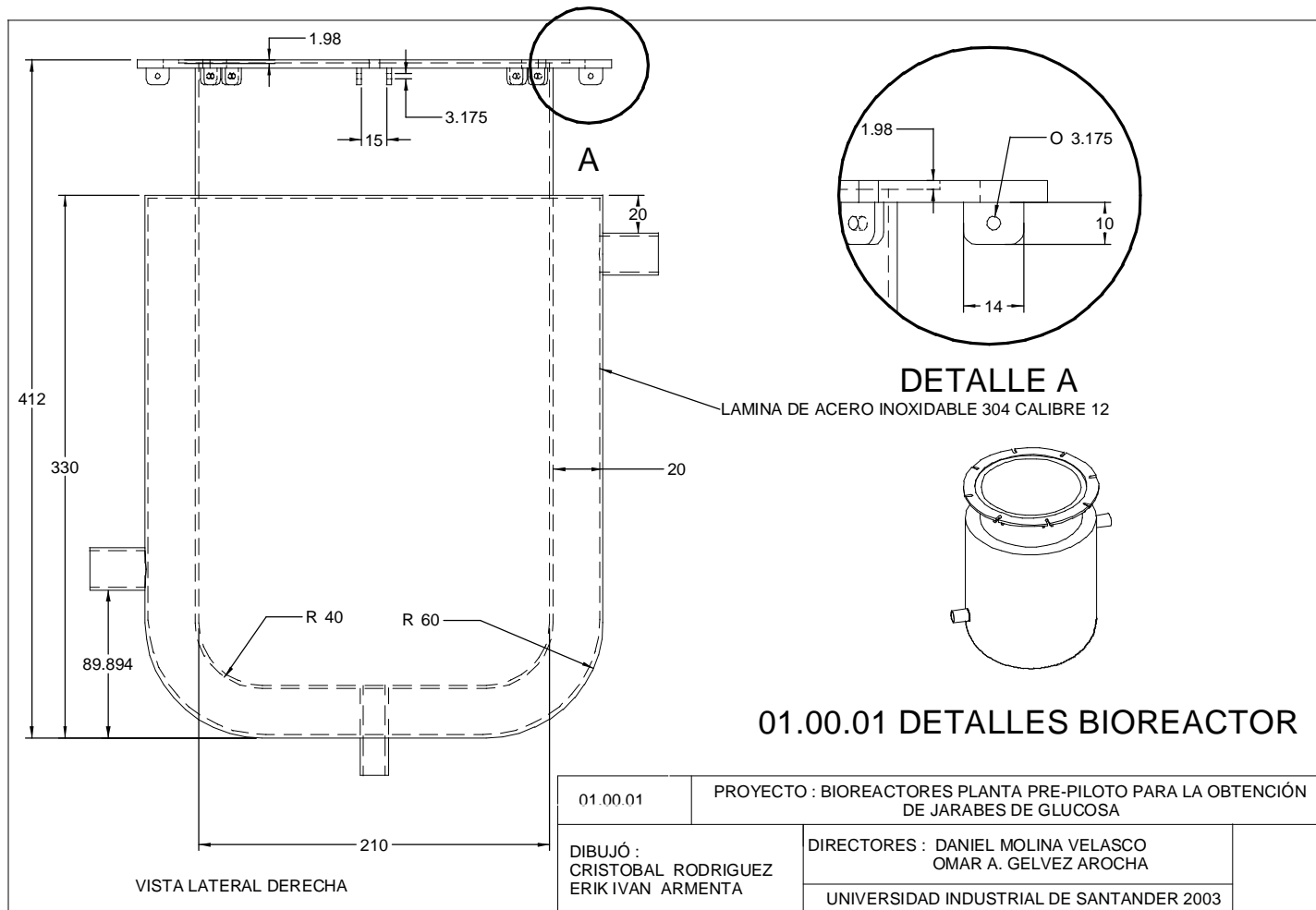


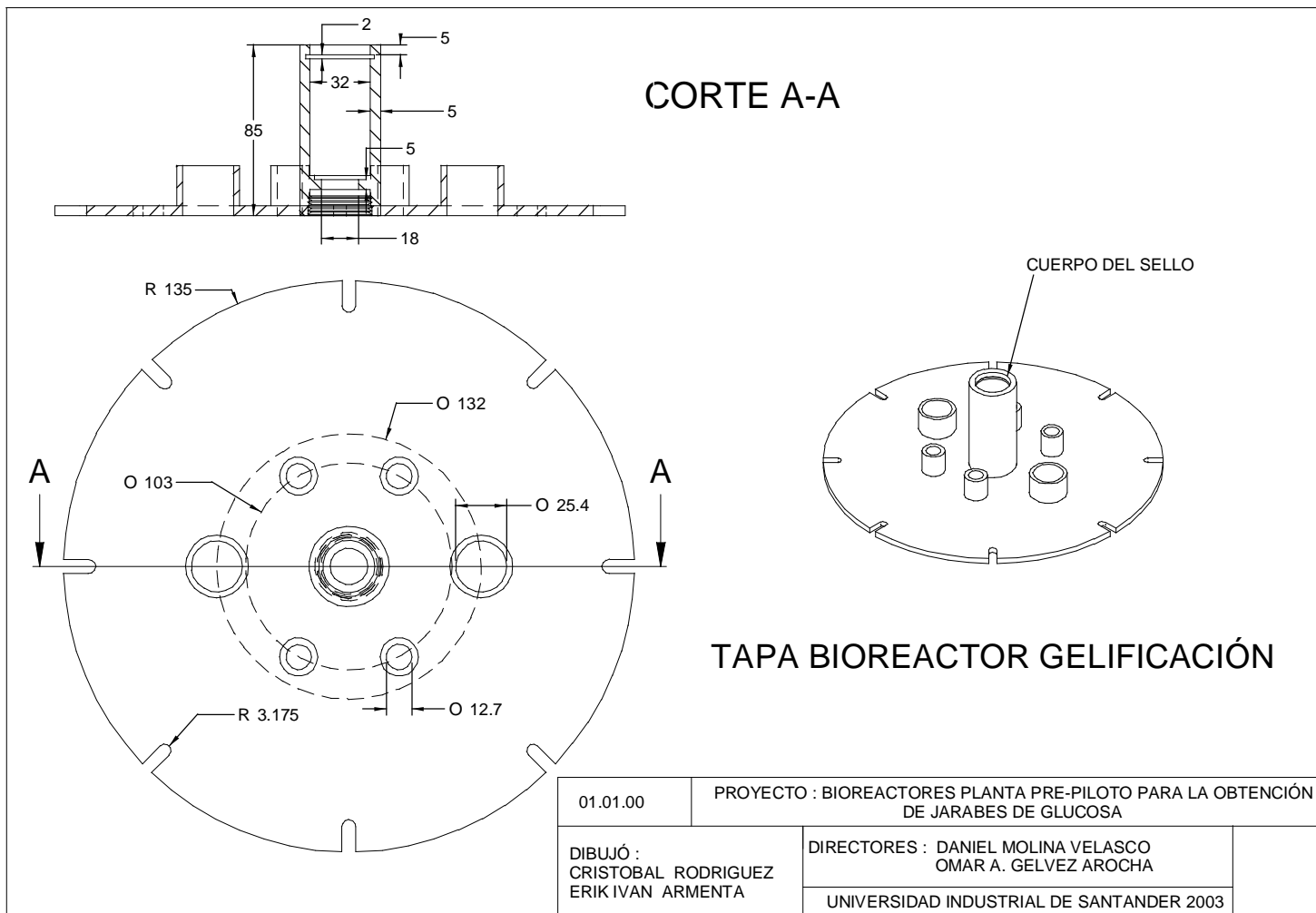
CORTE A-A



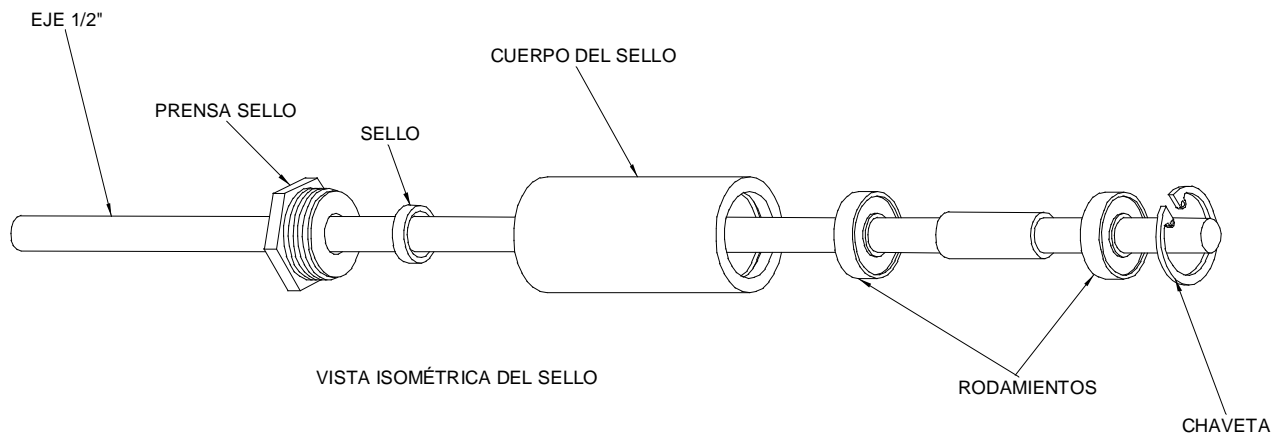
01.00.02 VISTAS BIOREACTOR

01.00.02	PROYECTO : BIOREACTORES PLANTA PRE-PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE JARABES DE GLUCOSA	
DIBUJÓ : CRISTOBAL RODRIGUEZ ERIK IVAN ARMENTA	DIRECTORES : DANIEL MOLINA VELASCO OMAR A. GELVEZ AROCHA	
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER 2003	



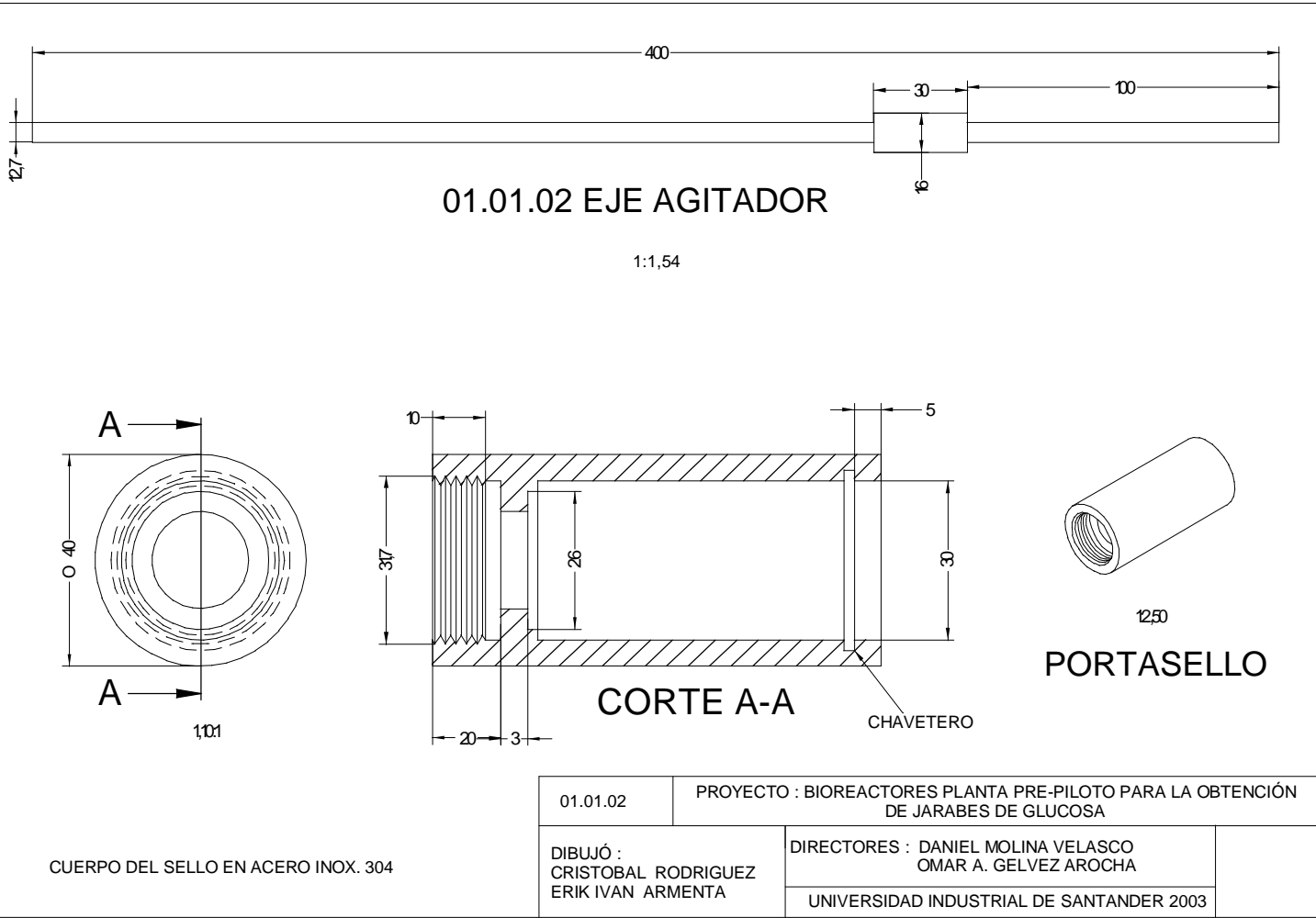


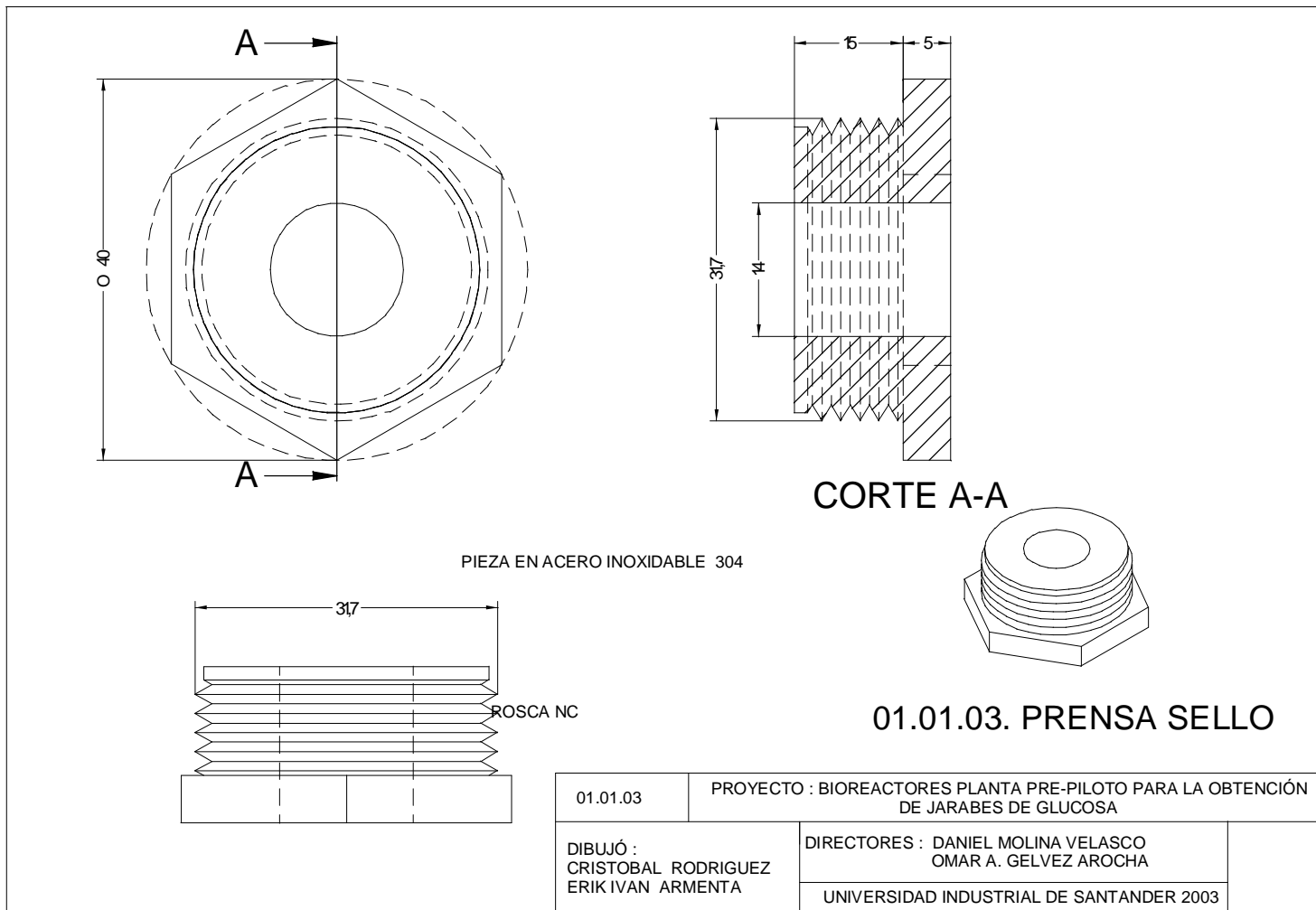
01.01.01 DESPIECE SELLO BIOREACTOR GELIFICACIÓN-LICUEFACCIÓN

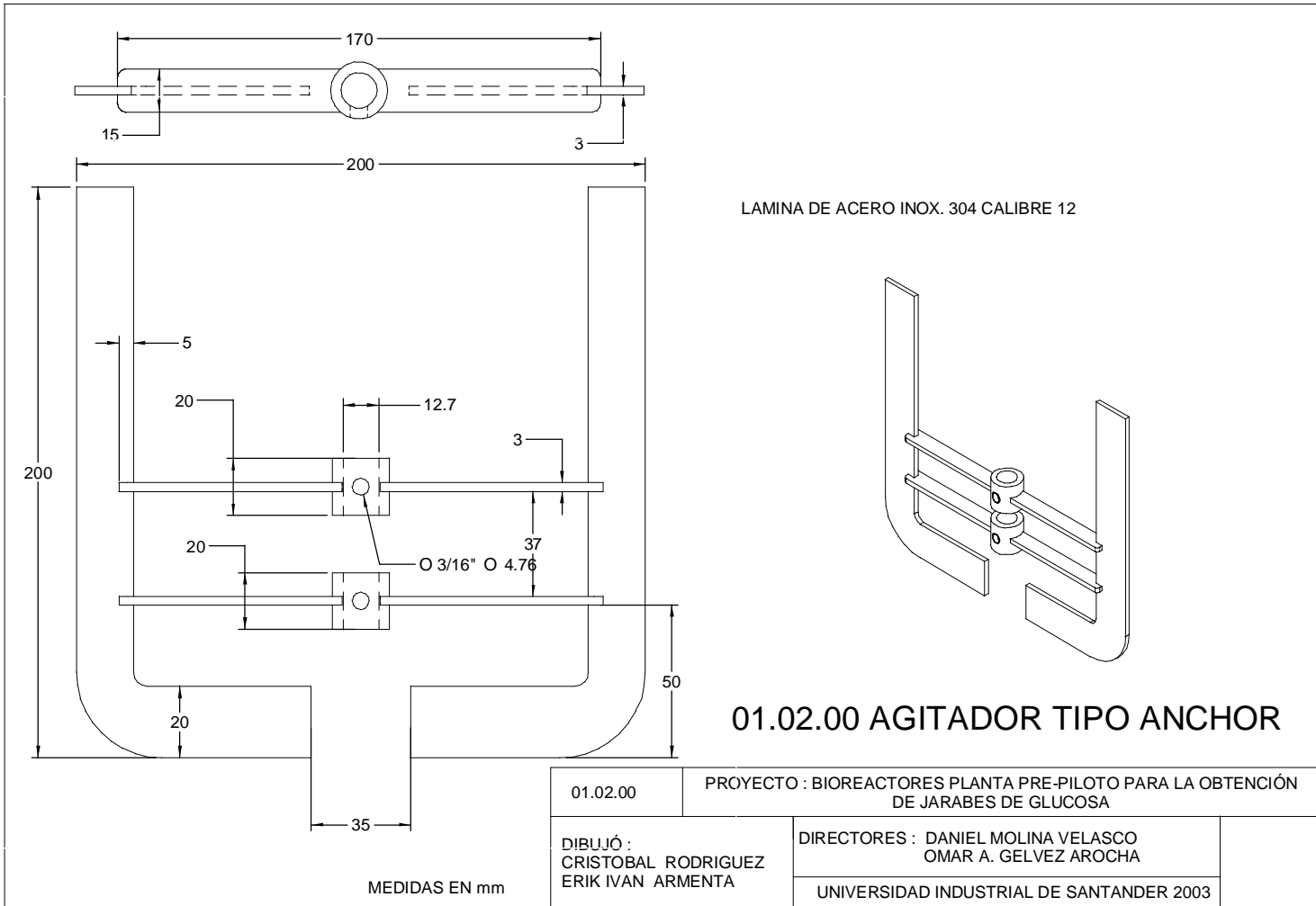


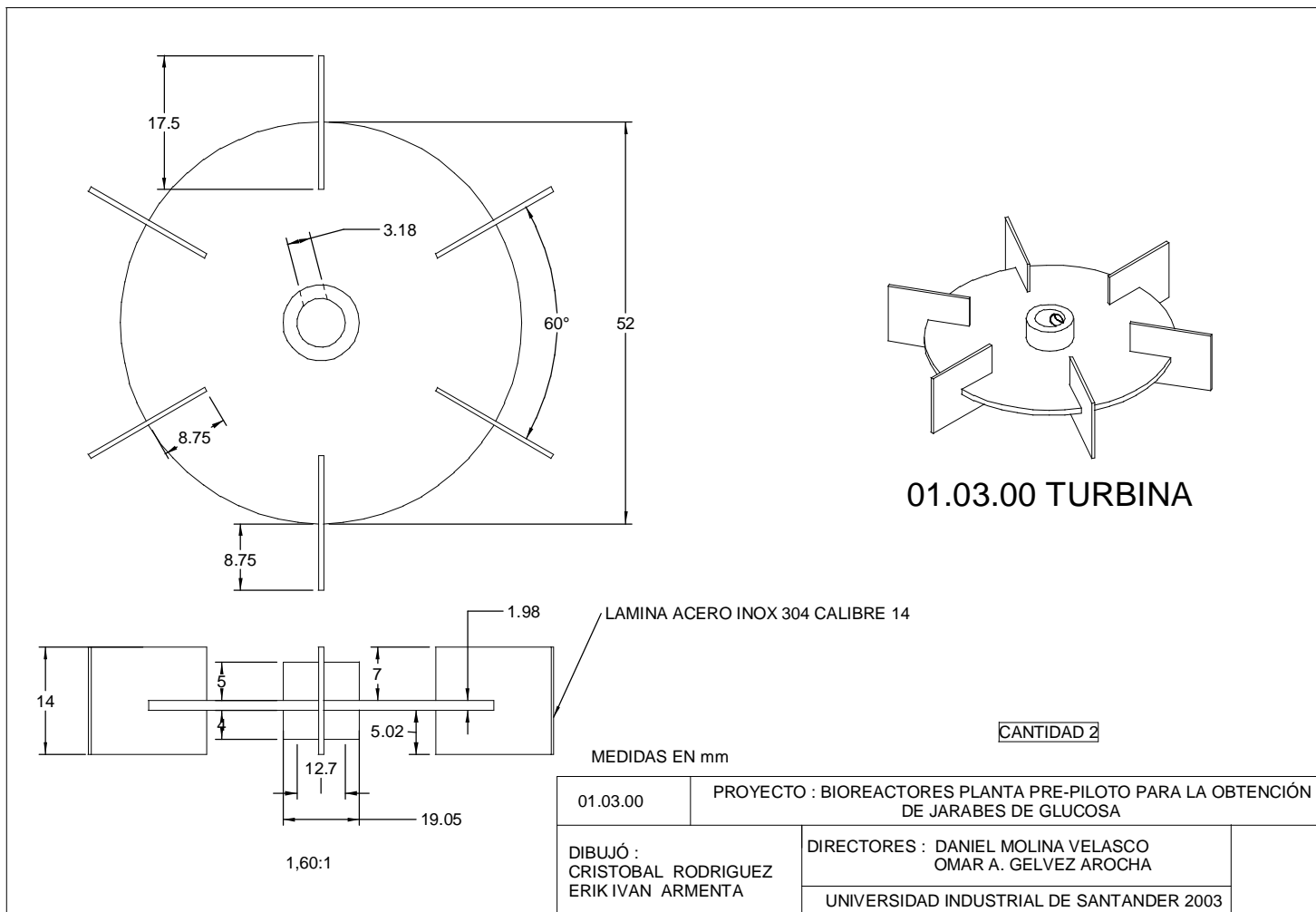
PIEZAS EN ACERO INOX 304

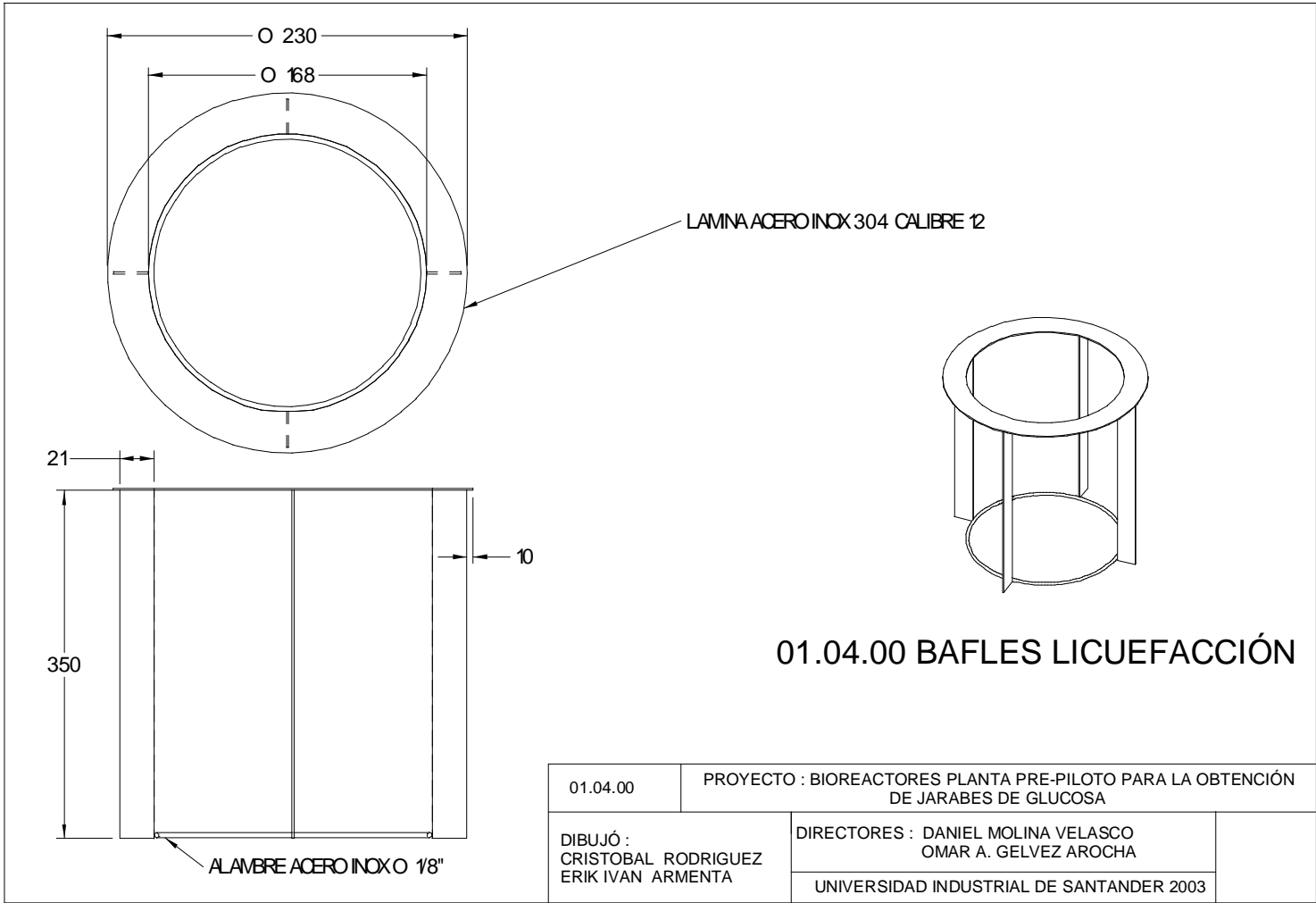
01.01.01	PROYECTO : BIOREACTORES PLANTA PRE-PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE JARABES DE GLUCOSA	
DIBUJÓ : CRISTOBAL RODRIGUEZ ERIK IVAN ARMENTA	DIRECTORES : DANIEL MOLINA VELASCO OMAR A. GELVEZ AROCHA	
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER 2003	



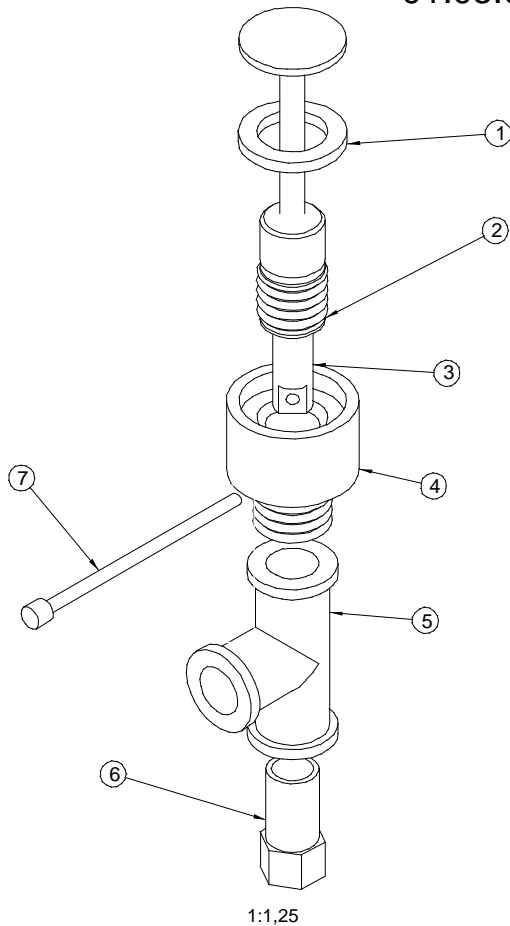






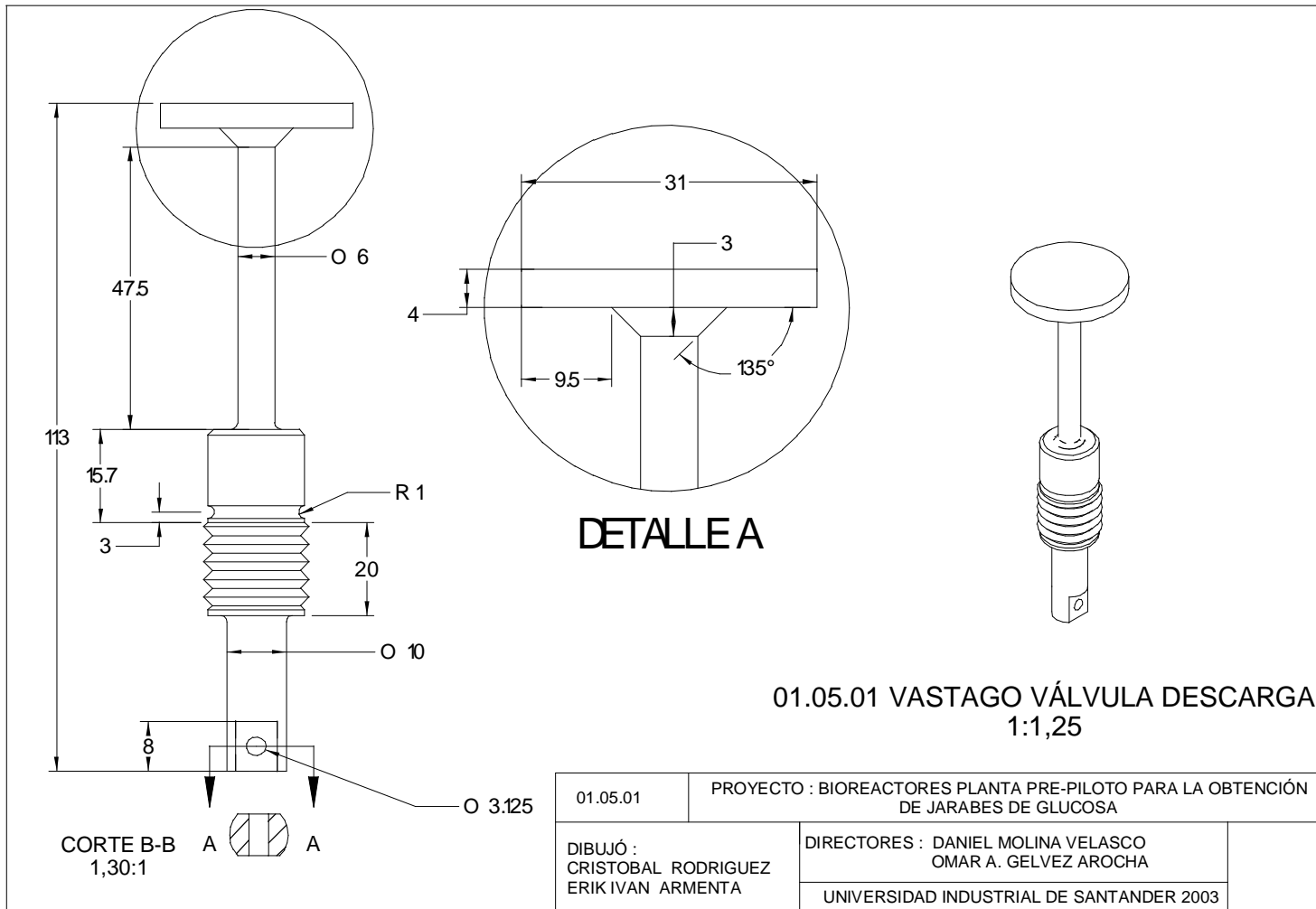


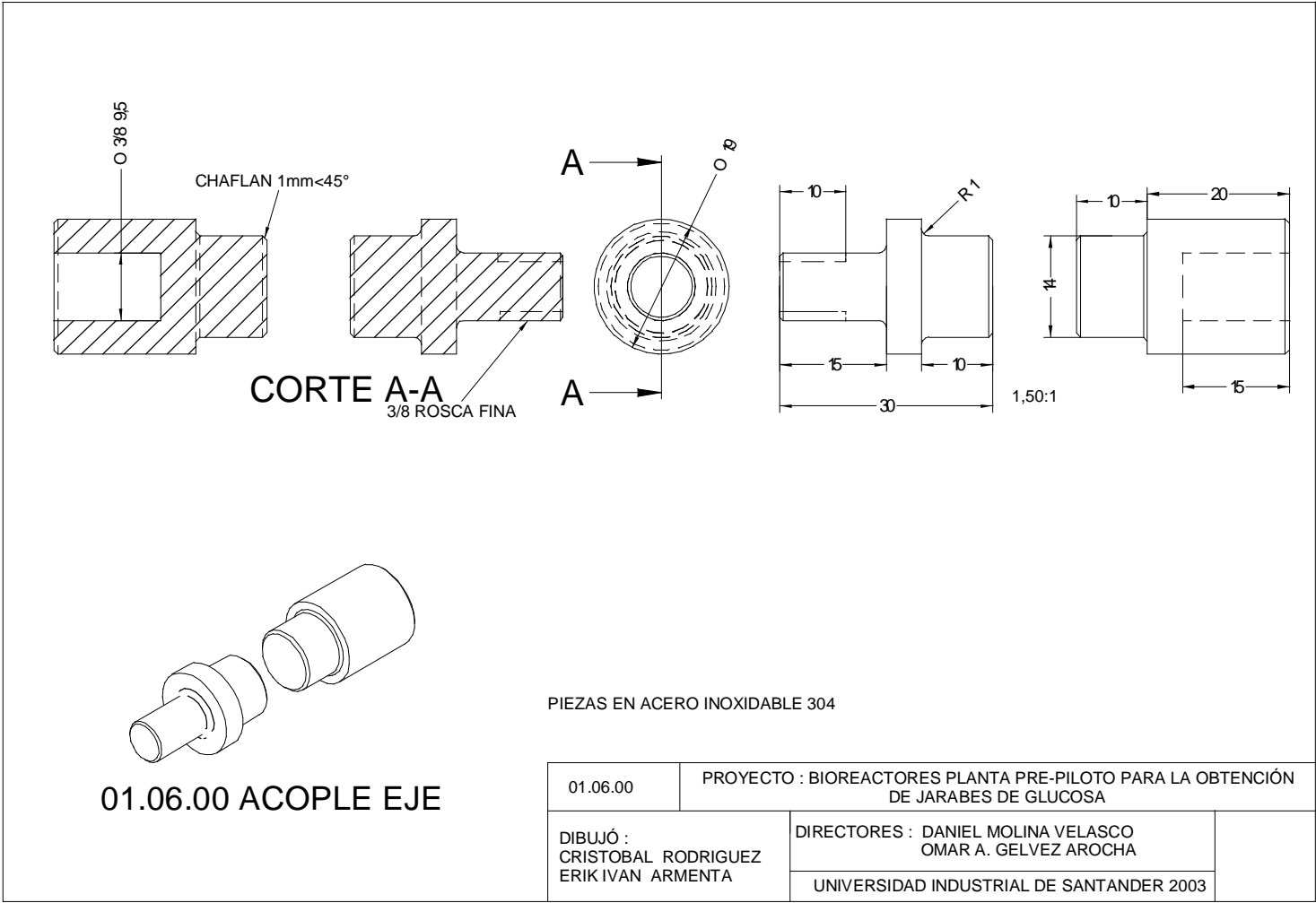
01.05.00 VÁLVULA DE DESCARGA BIOREACTOR GELIFICACIÓN-LICUEFACCIÓN



7	PALANCA DE APERTURA Y CERRADO	AISI 304
6	REDUCCIÓN	AISI 304
5	T 1/2" INOX	AISI 304
4	ASIENTO VÁLVULA	AISI 304
3	VÁSTAGO	AISI 304
2	O RING	NITRILO
1	EMPAQUE	NITRILO SANITARIO
NÚMERO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL

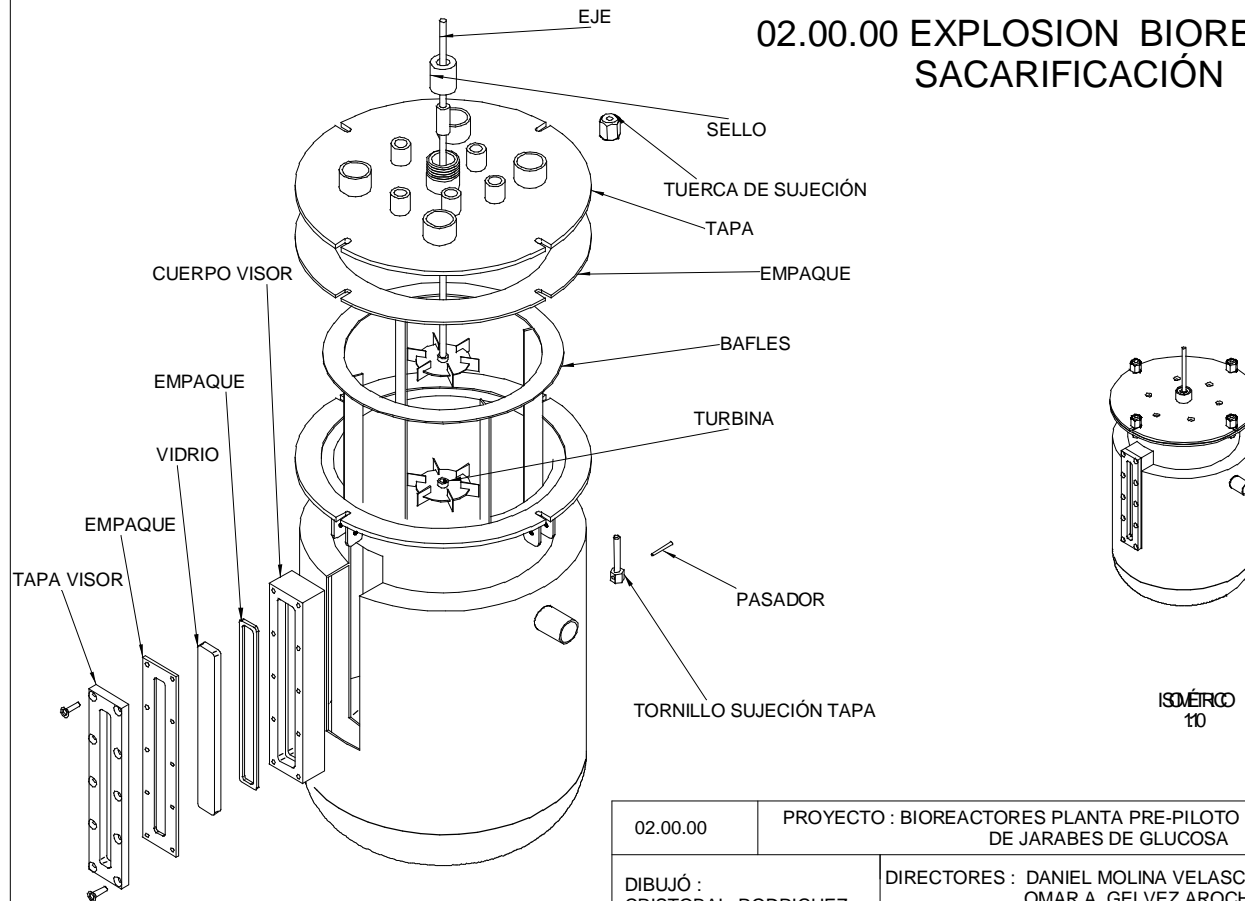
01.05.00	PROYECTO : BIOREACTORES PLANTA PRE-PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE JARABES DE GLUCOSA	
DIBUJÓ : CRISTOBAL RODRIGUEZ ERIK IVAN ARMENTA	DIRECTORES : DANIEL MOLINA VELASCO OMAR A. GELVEZ AROCHA	
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER 2003	





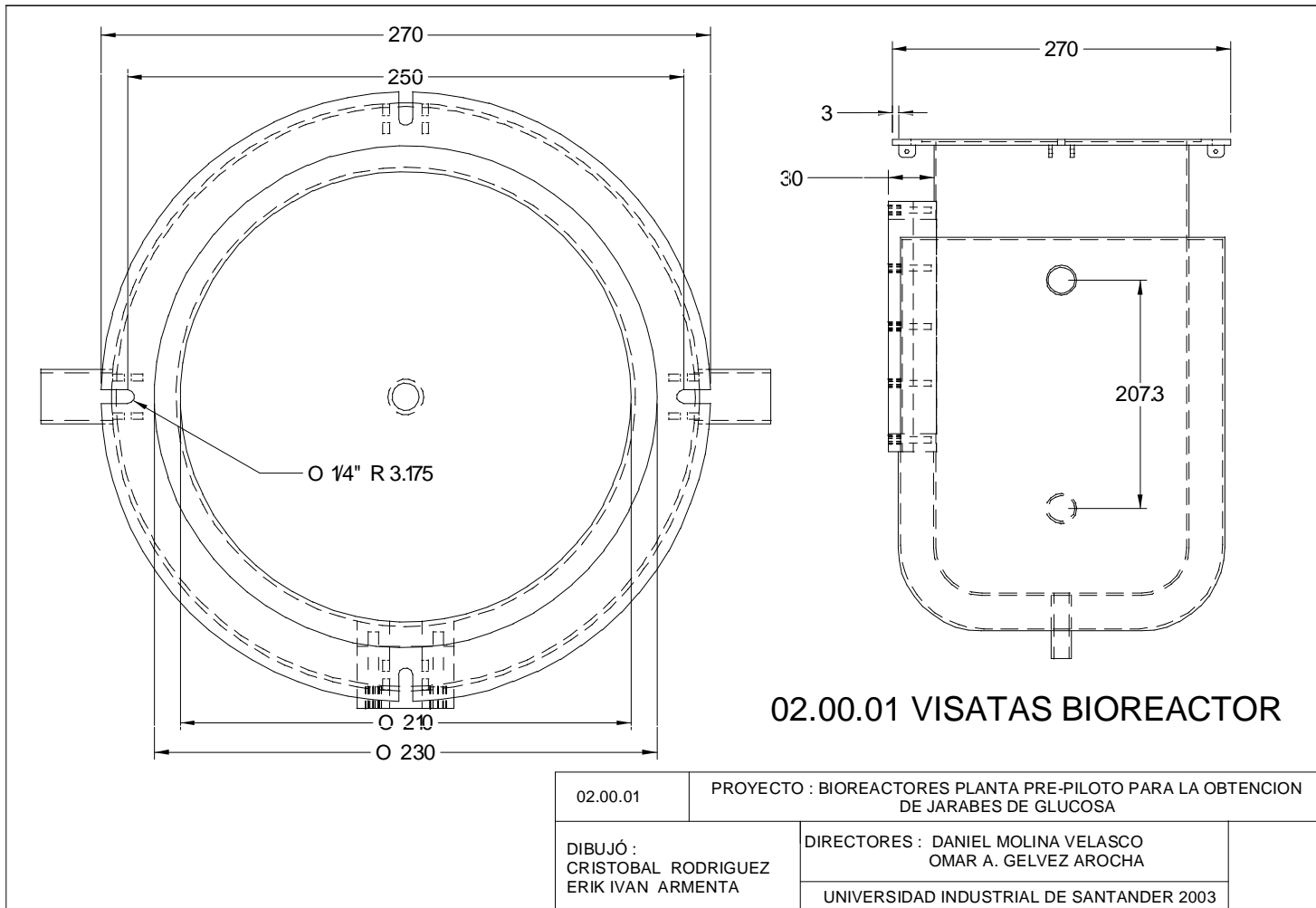
ANEXO H Planos Bioreactor Sacarificación

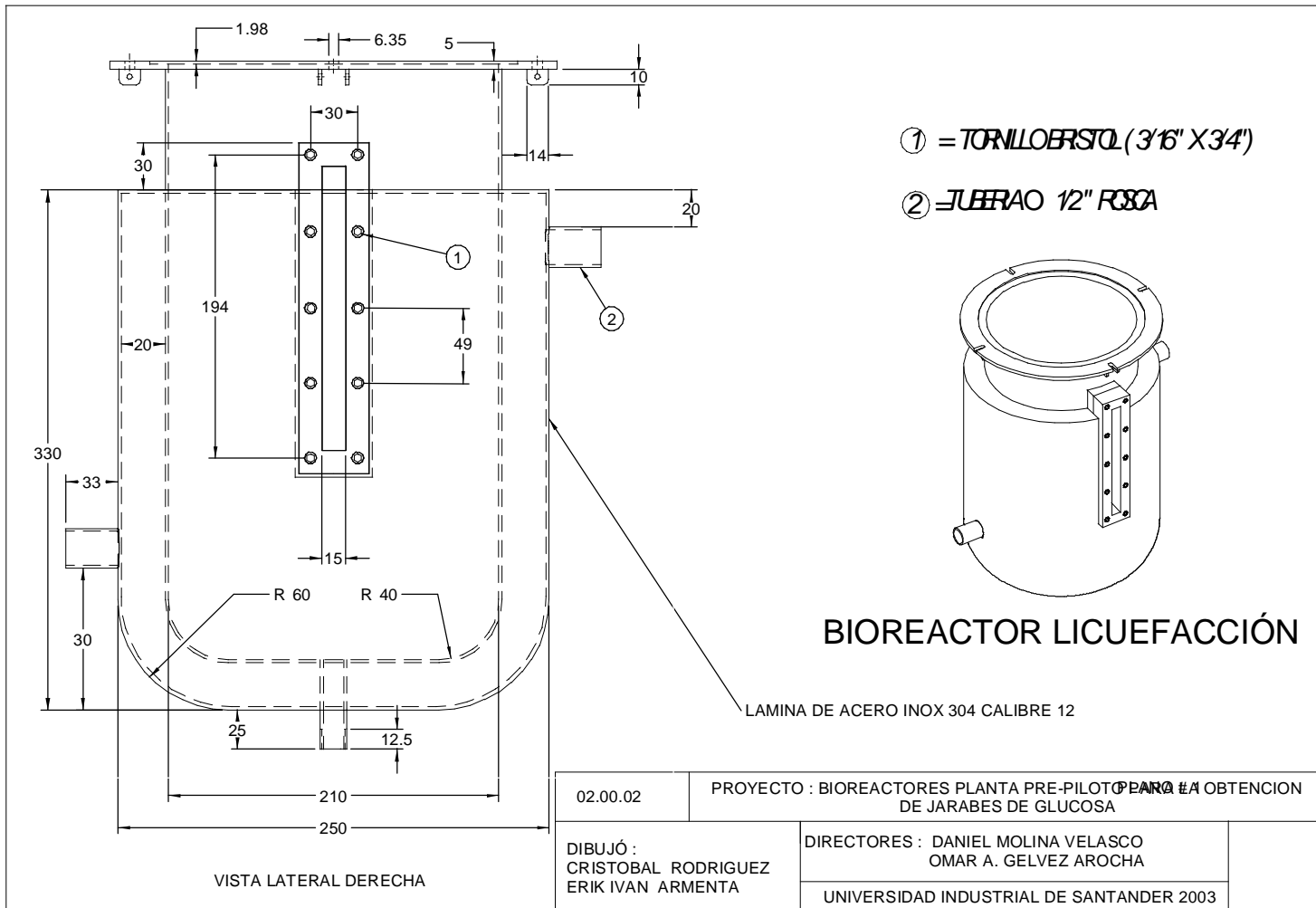
02.00.00 EXPLOSION BIOREACTOR SACARIFICACIÓN



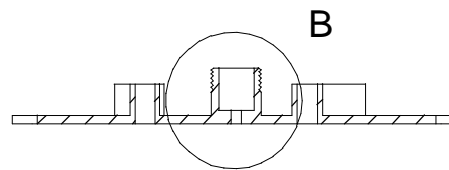
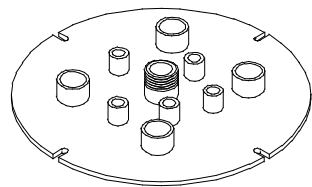
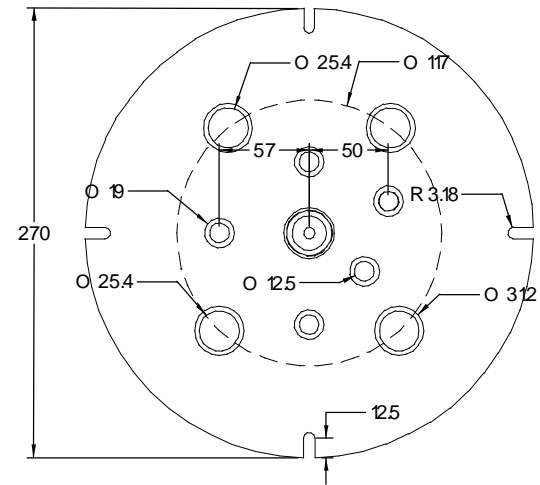
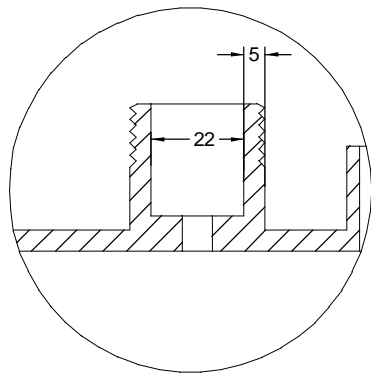
ISOMÉTRICO
10

02.00.00	PROYECTO : BIOREACTORES PLANTA PRE-PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE JARABES DE GLUCOSA	
DIBUJÓ : CRISTOBAL RODRIGUEZ ERIK IVAN ARMENTA	DIRECTORES : DANIEL MOLINA VELASCO OMAR A. GELVEZ AROCHA	
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER 2003	

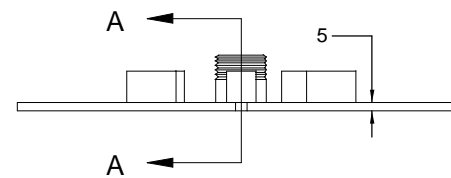




DETALLE B



CORTE A-A



02.01.00 TAPA BIOREACTOR

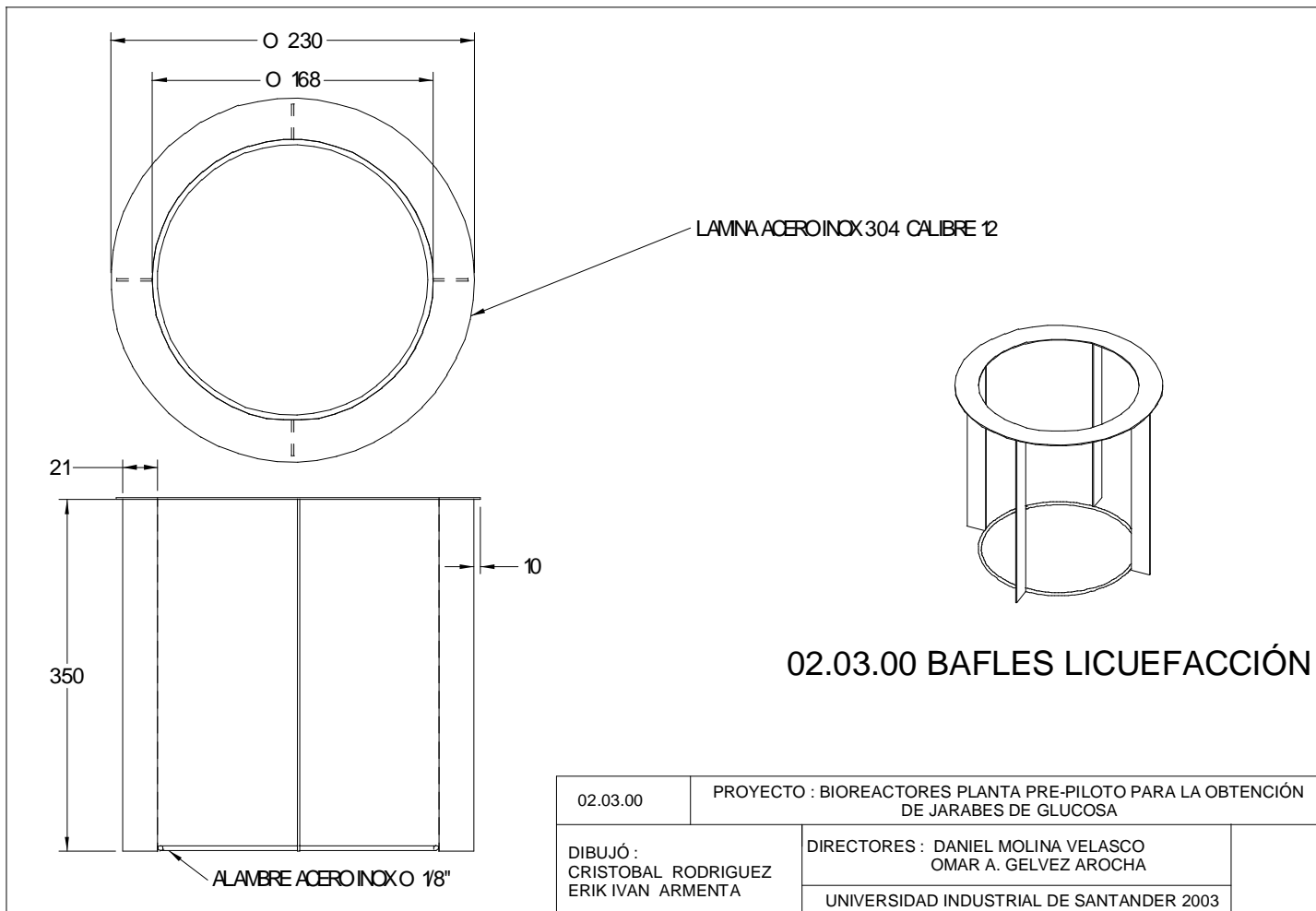
02.01.00

PROYECTO : BIOREACTORES PLANTA PRE-PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE JARABES DE GLUCOSA

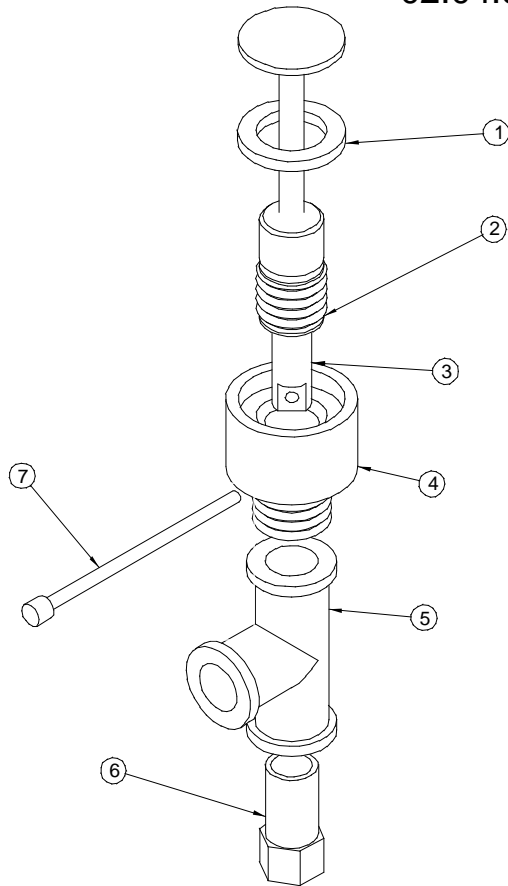
DIBUJÓ :
CRISTOBAL RODRIGUEZ
ERIK IVAN ARMENTA

DIRECTORES : DANIEL MOLINA VELASCO
OMAR A. GELVEZ AROCHA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER 2003



02.04.00 VÁLVULA DE DESCARGA BIOREACTOR GELIFICACIÓN-LICUEFACCIÓN



1:1,25

7	PALANCA DE APERTURA Y CERRADO	AISI 304
6	REDUCCIÓN	AISI 304
5	T 1/2" INOX	AISI 304
4	ASIENTO VÁLVULA	AISI 304
3	VÁSTAGO	AISI 304
2	O RING	NITRILO
1	EMPAQUE	NITRILO SANITARIO
NÚMERO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL

02.04.00	PROYECTO : BIOREACTORES PLANTA PRE-PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE JARABES DE GLUCOSA
----------	---

DIBUJÓ : CRISTOBAL RODRIGUEZ ERIK IVAN ARMENTA	DIRECTORES : DANIEL MOLINA VELASCO OMAR A. GELVEZ AROCHA	
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER 2003		

