

*Universidad de Matanzas*

*Sede "Camilo Cienfuegos"*

*Facultad de Ciencias Técnicas*

*Departamento de Química e Ingeniería Química*



# *Trabajo de Diploma*

*Título: Diseño del sistema de agitación de un reactor de  
producción de aditivos para morteros y hormigones.*

*Autora: Greta María Enríquez Fiallo.*

*Tutores: Ing. Medardo Domínguez Limia.*

*Ing. Diana Rosa Vega.*

*Matanzas. Cuba. 2015.*

*Pensamiento.*

*La ciencia puede divertirnos y fascinarnos, pero es la  
ingeniería la que cambia el mundo."*

*Isaac Asimov*

## *Declaración de Autoridad.*

Declaro que soy el único autor de este Trabajo de Diploma, y autorizo a la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", al Centro de Estudios Anticorrosivos y Tensoactivos y a mi tutor a hacer uso del mismo con los fines que estimen convenientes.

---

*Greta María Enríquez Fiallo.*

*Nota de Aceptación.*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

*Presidente del Tribunal.*

---

*Miembro del Tribunal.*

---

*Miembro del Tribunal.*

*Evaluación:* \_\_\_\_\_

Dado en Matanzas, el día \_\_\_\_\_ del mes de \_\_\_\_\_ del año 2015.

“Año del 57 de la Revolución”

## *Dedicatoria.*

Dedico esta tesis a mi mamá y a mi tía las dos personas más importantes que tengo en mi vida y sin las cuales no hubiese podido llegar al final de la meta, a mi prima y a mi novio dos personas que quiero muchísimo y me han dado todo el amor del mundo. Por tener siempre el apoyo de estas personas, su ayuda incondicional y un amor inmenso que me han entregado día a día les dedico este trabajo con todo el amor que pueda existir en este pequeño corazoncito, son lo mejor de mi vida.

## *Agradecimientos.*

Mis más sinceros agradecimientos a todos los que de una manera u otra dieron muestra de apoyo a que este Trabajo de Diploma fuera posible, en particular a:

- ❖ Mi mami y a toda mi familia por su apoyo incondicional en todos estos años de estudio y esfuerzo, por hacer que mis sueños se hagan realidad y por hacerme saber que todo es posible en la vida.
- ❖ Mi tía Mery por su apoyo y amor hacia mí y a mi prima Lisandra Martinez porque a pesar de estar muy lejos de mí nunca dejo de preocuparse por mis estudios y por la realización de este trabajo.
- ❖ Mi novio Luis Miguel Santana por su ayuda y apoyo absoluto en los últimos 2 años de carrera.
- ❖ Profesor Juan Enrique por su dedicación y apoyo en la realización de este trabajo a pesar de no ser mi tutor.
- ❖ Mi tutor Medardo Domínguez por su apoyo.
- ❖ Todos mis compañeros de estudio, en especial a Claudia Oquendo, Dainerys Amaro, Elaine Alfonso, Arianna Forteza, Yirela de la Mercedez, Miriam Barbara Orosco por su apoyo y por brindarme su amistad en estos 5 años de carrera .
- ❖ Todo el colectivo del Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT) por su atención y dedicación para que fuera posible el cumplimiento de este trabajo.

**A Todos muchas Gracias.**

## Resumen

La producción de aditivos químicos modificadores del fraguado y aceleradores de resistencia para hormigones y morteros (mezcla sin piedra), es una necesidad que se desarrolla principalmente basada en Los Lineamiento de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. Estos lineamientos propician la rápida introducción de los resultados mediante el proceso I + D + i (cierre de ciclo) en la práctica, específicamente aquellos que generan exportaciones y todos aquellos que sustituyen importaciones. Con este propósito se pretende el diseño de un reactor para la producción de aditivos para hormigones y morteros, que responda a la demanda actual de dichos productos y la realización de los cálculos de diseño para los principales componentes (paletas, árbol de transmisión y cojinetes de rodamiento) del dispositivo de mezclado. Se obtiene como principales resultados el diseño de un nuevo reactor y la factibilidad económica de su construcción, para sustituir las importaciones de aditivos que hoy se realizan, por los de producción nacional.

## **Abstract**

The production of chemical additives, modifiers of the force and accelerators of resistance for concrete and mortars (a mixture without stones), is a necessity which, is developed based mainly on the economic and social principles of the Party and the Revolution. These principles make the fast introduction of its result through the I+D=I (closing of cycle) in practice ,specifically those which generate exportations and those which substitute importations .That is the purpose of designing a reactor to produce additives for concrete and mortars , according to the current demand of these products . This showed as principal results, the design of a new reactor to fulfill with the established rules of designing and the economic feasibility of its construction which allows fulfilling with the demand of each client to substitute actual importations for additives from national production.



## Índice.

Contenido	Páginas
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo 1: Análisis bibliográfico</b> .....	<b>6</b>
1.1 Generalidades de los aditivos para hormigones y morteros.....	6
1.1.1 Antecedentes.....	6
1.1.2 Definición de los aditivos.....	9
1.1.3 Ventajas del empleo de los aditivos.....	9
1.1.4 Clasificación de los aditivos.....	10
1.1.4.1 Aditivos químicos que influyen sobre la consistencia de la mezcla....	13
1.1.4.2 Aditivos que influyen sobre el fraguado de la mezcla.....	14
1.1.5 Aplicaciones de los aditivos químicos.....	15
1.1.6 Producción de aditivos en el contexto actual de desarrollo.....	16
1.2 Diseño de aparatos para la industria química.....	17
1.2.1 Tipos de reactores.....	17
1.2.2 Características generales de los reactores químicos.....	19
1.2.3 Requisitos del diseño.....	19
1.2.4 Requisitos de los materiales de construcción.....	20
1.2.5 Requisitos para la fabricación.....	20
1.2.6 Requisitos a la explotación.....	22
<b>1.3 Conclusiones Parciales</b> .....	<b>23</b>

<b>Capítulo 2: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.....</b>	<b>24</b>
2.1 Materiales y Métodos.....	24
2.1.1 Materias primas para la síntesis de aditivos.....	24
2.2 Producción en la Planta Piloto.....	25
2.2.1 Descripción de la instalación.....	25
2.2.2 Proceso tecnológico en la etapa actual de la instalación.....	26
2.3 Metodología para el diseño de aparatos para la industria química.....	28
2.3.1 Principales parámetros para el cálculo.....	28
<b>2.4 Metodología de cálculo para el diseño del sistema de agitación.....</b>	<b>39</b>
2.4.1 Cálculo de la potencia consumida para el mezclado.....	39
2.4.2 Cálculo preliminar del árbol.....	40
2.4.3 Selección de cojinetes.....	40
2.4.4 Unión por chavetas.....	41
2.5 Análisis de la factibilidad económica.....	42
2.5.1 Cálculo de la ganancia.....	42
2.5.2 Valor Actual Neto.....	44
2.5.3 Tasa Interna De Retorno.....	44
2.5.4 Plazo de Recuperación de la Inversión.....	45
<b>2.6 Conclusiones Parciales.....</b>	<b>46</b>

<b>Capítulo 3: Diseño mecánico del reactor de aditivos.....</b>	<b>47</b>
3.1 Diseño del reactor de aditivos.....	47
3.1.1 Cálculo de las dimensiones del reactor.....	47
3.1.2 Principales parámetros para el cálculo del cuerpo del reactor.....	49
<b>3.2 Diseño del sistema de agitación del reactor de aditivos.....</b>	<b>66</b>
3.2.1 Cálculo de la potencia para lograr la mezcla.....	66
3.2.2 Cálculo para determinar la paleta de agitación.....	67
3.2.3 Cálculo preliminar del árbol.....	68
3.2.4 Determinación de las chavetas.....	69
3.2.5 Selección de los cojinetes.....	70
3.2.6 Diseño de la paleta y su cubo.....	70
3.2.7 Apriete máximo una vez montado.....	71
3.2.8 Comprobación de la soldadura.....	72
3.2.9 Determinación de la presilla que sujeta la paleta al árbol.....	73
3.2.10 Determinación del preñse.....	73
3.2.11 Tapa de los rodamientos.....	74
3.2.12 Determinación del acoplamiento.....	74
3.2.13 Selección del motor reductor.....	74
3.3 Valoración Económica de la Inversión.....	75
3.3.1 Cálculo del VAN.....	75
3.3.2 Tasa Interna de Retorno.....	76
3.3.3 Plazo de Recuperación de la Inversión.....	76

3.3.4 Cálculo de la Ganancia.....	77
<b>3.4 Conclusiones Parciales del Capítulo.....</b>	<b>78</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>79</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>80</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>81</b>

## **Introducción:**

En la actualidad gracias al progreso de la industria química y recientemente la nanotecnología, los aditivos han sido incorporadas al concreto, y actualmente podemos encontrar un sinnúmero de productos en el mercado que satisfacen la gran mayoría de las necesidades para los usuarios de concreto, sector de la construcción que es el principal cliente de los resultados de la presente investigación.

El éxito al usar los aditivos depende mucho de la forma de uso y de la acertada elección del producto apropiado. Se ha progresado mucho en este campo y es conveniente que se informen ya que la eficacia depende en gran parte de esto. En la actualidad los aditivos permiten la producción de concretos con características diferentes a los tradicionales, han dado un creciente impulso a la construcción y se consideran como un nuevo ingrediente, conjuntamente con el cemento, el agua y los agregados. Existen ciertas condiciones o tipos de obras que los hacen indispensables.

En la patente No. 8,366,821, (2013) definen a los aditivos como: “Un material distinto del agua, de los agregados y cemento hidráulico que se usa como componente del concreto o mortero. Las dosis en las que se utilizan los aditivos, están en relación a un pequeño porcentaje del peso de cemento, con las excepciones en las cuales se prefiere dosificar el aditivo en una proporción respecto al agua de amasado”.

Los **aditivos** son componentes de naturaleza orgánica o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsiones. Es un término muy empleado en la técnica y se refiere a diferentes productos y aplicaciones. (Cervera, 2012).

Su empleo se ha ido generalizando hasta el punto de constituir actualmente un componente habitual del hormigón y el mortero. Sin embargo su empleo debe ser considerado cuidadosamente, siendo importante verificar cuál es su influencia en otras características distintas de las que se desea modificar.

En el sector de la construcción, aditivos es un término empleado para identificar productos que modifican en sentido favorable o confieren propiedades, para mejor

comportamiento del hormigón mediante efectos químicos y/o químico-físicos en las condiciones particulares de servicio. La misión de un aditivo es corregir posibles defectos, mejorar o incrementar las buenas cualidades y favorecer tanto al hormigón fresco como el endurecido en todos los aspectos (Téllez, 1985), agregados en menos del 5 % del peso del cemento antes, durante o después del amasado de los morteros y hormigones, mejoran algunas de sus propiedades modificando ciertas características de los mismos por acciones químicas y/o físicos-químicas. (Venuat, 2000).

El empleo de aditivos en morteros y hormigones, puede impartir ciertas características deseables que no se pueden tener por otros medios, al menos no de forma económica, y en dependencia del efecto que se persiga se utilizan con los propósitos de: Incrementar la laborabilidad sin aumentar el contenido de agua o para disminuir el contenido de agua a igual laborabilidad, acelerar o retardar el fraguado inicial, incrementar la durabilidad o resistencia a condiciones severas de exposición, disminuir la permeabilidad a los líquidos y reducir la segregación de los agregados, inhibir la corrosión en el hormigón armado y mejorar su actitud para el bombeo, producir hormigones o morteros con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas, disminuir el costo unitario del hormigón, entre otras ventajas. (Patent No. 20070181042, 2007).

Los aditivos de que trata la presente investigación, pertenecen a los condensados de Urea – Formaldehído – Sulfonado (UFS), que pertenecen al mismo grupo de los condensados de Melamina Formaldehído Sulfonato (MFS). Estos polímeros de melamina sulfonada constituyen parte de la segunda generación de aditivos superplastificantes para el hormigón y vieron la luz en la década de 1980. Están basados en Urea y Formaldehído. Como aditivo superplastificante es capaz de lograr reducciones del agua de amasado de hasta un 25 %. Como características principales hay que indicar que sus tiempos de acción también son cortos especialmente cuando se trabaja con relaciones Agua/Cemento bajas y en climas cálidos. (Hernández, 1995).

En el Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos se ha logrado, desde su creación la Patente 142/94 que reivindica precisamente una composición de Urea – Formaldehído – Sulfonado. Desde esa fecha, que coincide con la creación del Centro

de Estudio y la construcción y puesta en marcha de su Planta Piloto, se ha trabajado a ciclo cerrado (I + D + i).

Al respecto se señala: El cierre del ciclo innovativo implica procesos asociados como: identificación de la necesidad de investigación-desarrollo-innovación (IDi); obtención del resultado científico; validación en interacción con los usuarios; conversión del resultado en producto (bien y/o servicio); introducción en la producción, incluida su posible comercialización. (Díaz – Canel, 2012).

No es hasta la actualidad que con la implementación de los Lineamiento de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, se ha logrado una política orientada al cierre de ciclo y a la rápida introducción de los resultados de la investigación en la práctica. En lo que respecta a la política vinculada a las investigaciones, en particular en el campo de los aditivos químicos para morteros y hormigones, se hace énfasis en la necesidad de cerrar ciclo y sustituir importaciones, ya que el país todos los aditivos que consume, los importa en un 100% con un alto costo en divisas.

Sobre la sustitución de importaciones el Lineamiento 87 plantea: Propiciar un acelerado proceso efectivo de sustitución de importaciones, con mecanismos que estimulen y garanticen la máxima utilización posible de todas las capacidades de que dispone el país en el sector agrícola, industrial, en servicios y recursos humanos.

Al contar el CEAT con una Planta Piloto, con capacidad productiva y de producción de aditivos que se amplía en estos momentos con la cooperación Universidad – Empresa con la Unión de Construcciones Militares, se respalda lo planteado en el Lineamiento 134. Las entidades económicas en todas las formas de gestión contarán con el marco regulatorio que propicie la introducción sistemática y acelerada de los resultados de la ciencia, la innovación y la tecnología en los procesos productivos y de servicios, teniendo en cuenta las normas de responsabilidad social y medioambiental establecidas.

Al respecto de la transferencia de tecnología entre entidades cubanas, que no está legislada, se señala: Debido a que en Cuba predomina la propiedad estatal en las entidades generadoras y receptoras de las tecnologías, se impone una norma jurídica propia de Transferencia de Tecnología (TT), que la abarque en cualquier dirección,

nacional, desde el exterior y hacia el exterior, donde se fijen pautas para realizarla, en correspondencia con las políticas e intereses del país. (Hernández, 2012).

En lo que respecta a la contribución de los aditivos químicos para el incremento de la producción de materiales para la construcción, la presente investigación se orienta también a la política de responder a las necesidades de la población, con el incremento de las oferta de productos para la construcción de viviendas, los que incluyen en muchos casos la utilización de aditivos. Baste señalar al respecto, que los aditivos en Cuba, actualmente importados, no están al alcance de la población, por su alto precio. Todo ello se expresa en el Lineamiento 233: Recuperar e incrementar la producción de materiales para la construcción que aseguren los programas inversionistas priorizados del país (turismo, viviendas, industriales, entre otros), la expansión de las exportaciones y la venta a la población. Desarrollar producciones con mayor valor agregado y calidad. Lograr incrementos significativos en los niveles y diversidad de las producciones locales de materiales de construcción y divulgar sus normas de empleo.

En respuesta a estos lineamientos, el CEAT pudiera contribuir en mayor medida al cumplimiento de los mismos con el aumento de contratos y proyectos que beneficien esta rama de la industria, la construcción. La colaboración con este sector tiene en la actualidad grandes limitaciones, la producción reducida ocasionada por la capacidad de los equipos existentes en el país, necesidad inmediata de estudio de la factibilidad económica que logre aprobar las inversiones pertinentes, entre muchos otros factores que limitan las expectativas requerida en la producción de aditivos.

Por lo que se plantea el siguiente **problema científico**:

¿Cómo diseñar un sistema de agitación para un reactor que garantice disolver las materias primas y lograr una distribución uniforme de la temperatura durante el proceso de producción de aditivos para morteros y hormigones?

Para dar solución a este problema se plantea la siguiente **hipótesis**: Si se realiza el diseño de un sistema de agitación para un reactor, teniendo en consideración las recomendaciones existentes para la selección del material, con la aplicación de la metodología de cálculo establecida, se podrá lograr disolver las materias primas y alcanzar una distribución uniforme de la temperatura.



Para validar la hipótesis anterior se propone como **objetivo general**: Diseñar un sistema de agitación para un reactor que garantice disolver las materias primas y lograr una distribución uniforme de la temperatura durante el proceso de producción de aditivos para morteros y hormigones.

Para cumplir el objetivo planteado se proponen los siguientes **objetivos específicos**:

1. Analizar el estado del arte en relación con los aditivos.
2. Determinar la metodología de cálculo necesaria para el diseño del sistema de agitación para reactores cerrados herméticamente.
3. Diseñar un mezclador de materias primas para la producción de aditivos para morteros y hormigones a partir de la metodología establecida.
4. Realizar la factibilidad económica del diseño del reactor.

## **Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.**

### **1.1. Generalidades de los aditivos para hormigones y morteros.**

#### **1.1.1. Antecedentes.**

Los antecedentes más remotos de los aditivos químicos se encuentran en los concretos romanos, a los cuales se incorporaba sangre y clara de huevo. Un producto muy similar al cemento surgió desde 1824 en Inglaterra por el constructor Joseph Aspdin, conocido por cemento Portland. El nombre se debe a la semejanza en aspecto con las rocas que se encuentran en la isla de Portland, en el condado de Dorset. A diferencia de lo que muchos creen, su origen no está relacionado con Portland, Oregón y E.E.U.U. (Almusallam, 2008)

Poco tiempo después, y con el fin de obtener fraguados más regulares, se utilizó el yeso crudo producto que se agregaba al cemento al fabricarlo o al hormigón en el momento de su preparación, el yeso se añadía al agua de amasado para retardar el fraguado, podía ser utilizado como retardador o acelerador, según la dosis empleada. La incorporación de esos productos se remonta a los años 1875-1890.

El primer antecedente de los aditivos químicos modernos se encuentra en el empleo ocasional del sulfonato naftaleno formaldeído, que fue utilizado en 1930 para actuar como dispersante en concretos con adiciones negro de humo, destinados a carriles de pavimentos que por su coloración pudieran llamar la atención de los conductores de vehículos. Si bien en 1932 se registró una patente de los EE.UU. no se aplicó por su elevado costo y exceder los requerimientos de las construcciones de concreto de esa época. (Reverté, 2001).

Constituyen la primera generación de los aditivos superplastificantes que vio la luz en la década de 1930, los Lignosulfonatos Modificados (LM). La lignina es un polímero natural de elevada masa molecular y junto con la celulosa es un ingrediente principal de la madera. Es un subproducto de la producción de pulpa de papel, altamente contaminante al medio ambiente, por lo que su utilización en la producción de hormigones es uno de los importantes aportes de la Industria del hormigón al entorno medio ambiental. Como aditivo superplastificantes es capaz de lograr reducciones del agua de amasado en la mezcla de hormigón de hasta el 15%. Como una característica

## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

especial vale indicar que a dosis bajas es efectivo como reductor del agua de amasado y a altas dosis actúa también como retardador del fraguado. (Hernández, 2012).

En la década del 60, especialmente por el desarrollo del concreto premezclado, se llevaron a cabo investigaciones para una nueva generación de aditivos con elevados niveles de reducción de agua en las mezclas de concreto, que fueron denominados superplastificantes o aditivos reductores de agua de alto rango.

Los aditivos llamados de segunda generación fueron normalizados por ASTM en 1970, incluyéndolos como tipos E y G en la norma de aditivos químicos; con propiedades de actuar como reductores de agua y como retardadores de fraguado.

A diferencia de los reductores de primera generación, que permiten una reducción del contenido de agua al 95%, los reductores de alto rango llegan al 88% como mínimo. (Heyman, 2001). Cabe señalar que las normas ASTM tienen un carácter de performance mientras que las normas de la Comunidad Europea tienen además especificaciones prescriptivas, como son la homogeneidad, el color, la densidad relativa, el contenido del extracto seco, el valor del PH.

Los Naftaleno Formaldehído Sulfonato (NFS), constituyen la segunda generación de los aditivos superplastificantes, que vio la luz en la década de 1970. Su aparición causó un verdadero impacto en la industria del hormigón por su elevado poder reductor del agua de amasado. Es un derivado de la destilación en seco del carbón mineral, aunque también es posible obtener nafta como derivado de la destilación del petróleo. Como aditivo superplastificantes es capaz de lograr reducciones en el agua de amasado en la mezcla de hormigón de hasta el 25%. Como características especiales hay que indicar que si bien aporta una alta laborabilidad en la mezcla de hormigón, sus tiempos de acción son muy cortos, del orden de los 30 minutos, por lo que resultan adecuados para la producción de prefabricados, pero son muy limitados para la producción de hormigones premezclados. (Hernández, 1995).

La Melamina Formaldehído Sulfonato (MFS), los polímeros de melamina sulfonada constituye también parte de la segunda generación de aditivos superplastificantes para el hormigón y vieron la luz en la década de 1980. Están basados en Urea y Formaldehído. Como aditivo superplastificantes es capaz de lograr reducciones del

## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

agua de amasado de hasta un 25 %. Como características principales hay que indicar que sus tiempos de acción también son cortos especialmente cuando se trabaja con relaciones Agua/Cemento bajas y en climas cálidos. (Hernández, 1995).

Los Copolímeros Vinílicos, junto a los Poliácridatos constituyen una segunda generación avanzada de los aditivos superplastificantes, que surgieron en la década de 1990. Se trata de Copolímeros vinílicos o acrílicos sulfonados que son subproductos de la destilación del petróleo crudo. Su tecnología de producción requiere de una Industria química más desarrollada. Como aditivos superplastificantes son capaces de lograr reducciones del agua de masado de hasta un 30%. Como características principales hay que indicar que son capaces (en dependencia de su diseño) de asegurar el mantenimiento de la laborabilidad de la mezcla durante tiempos prolongados y que tienen una compatibilidad mejorada con los cementos mezclados, en comparación con el resto de los superplastificantes de la segunda generación. (Hernández, 1995).

En la actualidad una tercera generación de aditivos se introduce rápidamente, solucionando el problema de la pérdida de asentamiento con el tiempo, que afectaba al concreto premezclado, en especial en regiones cálidas.

Los Policarboxilatos, constituyen la tercera y hasta el momento última generación de los aditivos superplastificantes para el hormigón. Los éteres de Policarboxilato son copolímeros sintéticos diseñados en los laboratorios a la medida de las necesidades de los usuarios. Su tecnología de producción industrial es sofisticada y requiere de una industria química desarrollada. Como aditivos superplastificantes son capaces de lograr reducciones en el agua de masado de hasta un 40%. (Hernández, 1995).

Como características especiales hay que indicar que las moléculas pueden ser diseñadas para responder a requerimientos y prestaciones en los hormigones muy específicas. Garantizan entre otros aspectos un mantenimiento de la laborabilidad de la mezcla muy prolongada y muy elevadas resistencias mecánicas y durabilidad, logradas con relaciones Agua/Cemento muy bajas. Estos aditivos han permitido obtener los Hormigones Autocompactantes, que constituyen el mayor impacto técnico en la Industria del Hormigón de los últimos años. (Hernández, 1995).

## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

### **1.1.2. Definición de los aditivos.**

Según Palacios, (2006) los aditivos son productos que, introducidos en pequeña porción en el hormigón, modifican algunas de sus propiedades originales, se presentan en forma de polvo, líquido o pasta y la dosis varía según el producto y el efecto deseado entre un 0.1 % y 5 % del peso del cemento.

Aditivo es el producto que modifica en sentido favorable o confiere propiedades para mejor comportamiento del hormigón mediante efectos químicos y/o químico-físicos en las condiciones particulares de servicio. La misión de un aditivo es corregir posibles defectos, mejorar o incrementar las buenas cualidades y fortalecer al hormigón fresco como el endurecido en todos los aspectos. (Téllez, 1985).

Los aditivos según la Norma Cubana NC 228-1:2005 “Aditivos para hormigones, morteros y pastas -parte 1: aditivos para hormigón- requisitos”, se define como una sustancia química que añadida en una proporción menor del 5% del peso del cemento, modifica las propiedades del hormigón en estado fresco y/o endurecido para el mejor comportamiento en las condiciones particulares de servicio.

### **1.1.3. Ventajas del empleo de los aditivos.**

Los aditivos se emplean para aportarle propiedades especiales al concreto fresco o endurecido, estos pueden mejorar las características de durabilidad de una mezcla dada de concreto. Son utilizados para vencer difíciles situaciones de construcción como son los vaciados (colados) en clima caliente y frío, los requerimientos de bombeado, los requerimientos de resistencia temprana o las especificaciones de una relación agua/cemento muy baja.

El comportamiento y las propiedades del hormigón en el estado fresco o endurecido, suelen estar influidas y modificadas por diversos factores intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos se relacionan esencialmente con las características de los componentes y sus proporciones en la elaboración del hormigón, mientras que los extrínsecos se refieren principalmente a las condiciones ambientales presentes durante su elaboración y colocación, las prácticas constructivas que se emplean en el proceso de su elaboración hasta el curado, y las condiciones de servicio de la estructura de hormigón. Algunos de estos factores pueden ser objeto de modificación por parte del usuario,

## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

pero otros no, pues los aditivos no salvan una mezcla mal preparada o diseñada. (Hernández, 1995).

Sobre la base de este planteamiento, para influir en las propiedades del hormigón, con vista a adaptarlos en las condiciones externas, se disponen principalmente de dos recursos: (Hernández, 1995).

1) Selección y uso de componentes idóneos y combinados en las proporciones adecuadas para la elaboración de hormigones.

2) Empleo de equipos, procedimientos y prácticas constructivas en general, de eficacia comprobada acorde con la obra que se construye.

El empleo de los aditivos corresponde esencialmente al primer recurso mencionado anteriormente. Estos pueden impartir ciertas características deseables que no se pueden tener por otros medios, y en dependencia del efecto que se persiga se utilizan con los propósitos de:

- Incrementar la laborabilidad sin aumentar el contenido de agua o para disminuir el contenido de agua a igual laborabilidad.
- Para acelerar o retardar el fraguado inicial.
- Para acelerar o retardar la evolución de calor durante el endurecimiento inicial.
- Para incrementar la durabilidad o resistencia a condiciones severas de exposición.
- Para disminuir la permeabilidad a los líquidos y reducir la segregación de los agregados.
- Para inhibir la corrosión en el hormigón armado y mejorar su actitud para el bombeo.
- Para producir hormigones o morteros con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.
- Para disminuir el costo unitario del hormigón. (ACI212. 2R, 1986).

### **1.1.4. Clasificación de los aditivos.**

Muchas son las clasificaciones internacionales que existen sobre los aditivos. De acuerdo a las propiedades que confieren al hormigón fresco o endurecido, según la clasificación de la RILEM (Vázquez, 1985), se clasifican en:

## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

1) Aquellos que su efecto principal se basa en influir sobre la consistencia de la mezcla y pueden ser:

- Plastificantes (fluidificantes ó reductores del agua de amasado).
- Superplastificantes (superfluidificantes o reductores del agua de amasado de alto rango).

2) Los que su efecto principal está dirigido a influir sobre los tiempos de fraguado de la mezcla (esencialmente el fraguado inicial), siendo los:

- Aceleradores del fraguado.
- Retardadores del fraguado.

3) Aquellos que su efecto principal tiene otros objetivos, que pueden ser muy variados, de aquí que este grupo contemple una amplia miscelánea de productos entre los que se encuentran:

- Incorporadores de aire (oclusores de aire).
- Impermeabilizantes en masa.
- Inhibidores de la corrosión.
- Cohesionantes.
- Expansivos.
- Espumantes.

Otras de las clasificaciones a nivel internacional, una de las más empleadas en el mundo, especialmente en las más importantes empresas productoras de aditivos, es la establecida en la Norma Norteamericana ASTM C 494-M , dividiendo los aditivos en 7 tipos:

- Tipo A: Plastificantes (reductores del agua de amasado).
- Tipo B: Retardadores del fraguado.
- Tipo C: Aceleradores del fraguado.
- Tipo D: Plastificantes – Retardadores del fraguado.

## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

- Tipo E: Plastificantes – Aceleradores del fraguado.
- Tipo F: Superplastificantes (reductores del agua de amasado de alto rango).
- Tipo G: Superplastificantes – Retardadores del fraguado.

Según la Norma de la Comunidad Europea EN 934, en su clasificación para los aditivos de hormigón, estos son divididos en 9 tipos:

- Aditivo plastificante (reductor del agua de amasado)
- Aditivo superplastificante (reductor del agua de amasado de alto rango)
- Aditivo retenedor de agua
- Aditivo incorporador (oclusor) de aire
- Aditivo acelerador del fraguado
- Aditivo acelerador del endurecimiento
- Aditivo retardador del fraguado
- Aditivo resistente al agua (cohesionante)
- Aditivo multifuncional

La Norma Cubana NC 228-1:2005 “Aditivos para hormigones, morteros y pastas -parte 1: aditivos para hormigón- requisitos” presenta la siguiente clasificación:

- Aditivo plastificantes/reductor de agua.
- Aditivo superplastificantes/reductores de agua de alto rango.
- Aditivo acelerador del fraguado.
- Aditivo acelerador del endurecimiento.
- Aditivo retardador del fraguado.
- Aditivo introductor de aire.
- Aditivo retenedor de agua.
- Aditivo hidrófugo de masa.
- Aditivo anticorrosivo.



➤ Aditivo multifuncional.

### **1.1.4.1. Aditivos químicos que influyen sobre la consistencia de la mezcla.**

Según Téllez, (1989) los aditivos que influyen sobre la consistencia de la mezcla tienen una acción eminentemente física, pudiendo tener algunas reacciones químicas. Su acción física básica se basa en ser selectivamente adsorbidos por las partículas de cemento, neutralizando su carga eléctrica molecular, lo que tiene un efecto dispersante y con ello logra que las partículas se hidraten mejor. Esto a su vez mejora la laborabilidad de la mezcla y además se incrementan las resistencias mecánicas de los hormigones.

**Aditivos plastificantes** (reductores del agua de amasado) son capaces de reducir el agua de amasado necesaria en un 10 a un 12% para lograr la misma consistencia de la mezcla de hormigón y se adicionan frecuentemente en dosis del 0,2 al 0,5% en peso del cemento de la mezcla. (Téllez, 1989).

Estos aditivos mejoran el trabajo de los hormigones, morteros o pastas para una determinada relación agua/cemento o permitir la reducción de la cantidad de agua de amasado para un trabajo dado; generalmente, estos aditivos son sólidos finamente divididos. (Arredondo, 1972)

**Aditivos superplastificantes** (reductores de agua de amasado de alto rango) son capaces de reducir el agua necesaria entre un 12 a un 40% o más, para lograr la misma consistencia de la mezcla de hormigón y se adicionan frecuentemente en dosis del 0,5 al 2% en peso del cemento de la mezcla. (Téllez, 1989).

Pueden utilizarse también como reductores de agua, siendo posible en este caso, dado su apreciable efecto, alcanzar disminuciones en la cantidad de agua entre 20% y 30%. Ello permite obtener un fuerte incremento en las resistencias, especialmente en las primeras edades, por lo que pueden utilizarse como aceleradores de endurecimiento o aditivos para hormigones de alta resistencia. Consiguiéndose hormigones de mediana resistencia (entre 350 Kg/cm<sup>2</sup> y 420 Kg/cm<sup>2</sup>) y hormigones de alta resistencia (mayores a 420 Kg/cm<sup>2</sup>). Esos aditivos de carácter marcadamente humectante, son productos orgánicos constituidos por tensoactivos de carácter aniónico y elevada masa molecular extremadamente complejos. (Sánchez, 2002).

### **1.1.4.2. Aditivos que influyen sobre el fraguado de la mezcla.**

Entre estos productos se cuentan los aceleradores y retardadores de fraguado. Estos son productos solubles en agua, que actúan químicamente modificando las velocidades de disolución de los diversos constituyentes del cemento. Su acción es compleja y con frecuencia difícil de explicar puesto que de por sí son también las reacciones de hidratación de los distintos tipos de cemento. (Telles, 1989).

Strike, (2004) apunta: “A partir del momento en que el cemento se mezcla con agua, ésta se satura, principalmente de cal y de sulfatos procedentes del yeso y de los álcalis. El aluminato tricálcico se hidrata rápidamente produciendo un aluminato cálcico hidratado y un sulfoaluminato, posteriormente se hidratan los silicatos tricálcico y bicálcico, dando lugar a diversos compuestos hidratados. Estos fenómenos que son de gran complejidad en el cemento, lo son aún más cuando el cemento contiene alguna adición o cuando se ha agregado algún aditivo químico”.

#### ➤ **Aditivos aceleradores del fraguado:**

Son productos que adelantan el inicio de fraguado y aceleran el endurecimiento, permitiendo la obtención de resistencias más altas a edades tempranas. Los aceleradores producen un aumento de la resistencia inicial del hormigón, principalmente en los primeros días, acortando, además, los tiempos inicial y final de fraguado. Pueden llegar a reducir el tiempo de fraguado de la mezcla de hormigón hasta unos 30 s. Se emplean en dosis altas, del 2 al 5% en peso del cemento. Es de gran importancia conocer que el tiempo de fraguado de la mezcla de hormigón se considera el tiempo que ésta demora en pasar de su fase plástica a su fase endurecida. (Téllez, 1989).

Téllez, (1989) plantea: “El más conocido de los aditivos aceleradores del fraguado es el Cloruro de Calcio ( $\text{Ca Cl}_2$ ), pero este acelerador no puede ser empleado en hormigones armados y pretensados por incluir los cloruros en la masa del hormigón. Existen también otras formulaciones de aditivos aceleradores del fraguado sin cloruros”.

### ➤ **Aditivos retardadores del fraguado:**

Su función principal es retardar el principio de fraguado de la pasta de cemento, manteniendo constante, en lo que sea posible, el tiempo de fraguado y las resistencias en las distintas edades. También influyen sobre el proceso de endurecimiento de la misma, haciéndolo más lento al menos en los primeros 7 días. Se emplean por lo general en dosis bajas del orden de 0,15 a 0,5% en peso del cemento. (Téllez, 1989).

Estos aditivos permiten un proceso de fraguado más lento, por lo que hacen que las partículas y los productos de hidratación del cemento se acomoden más cuidadosamente en la masa del hormigón, teniendo como resultado hormigones de resistencias mecánicas finales más elevadas, si estos son comparados con el mismo hormigón sin aditivos. De un 10 a un 15% aproximadamente son los incrementos en las resistencias a compresión finales. En general los retardadores tienen un efecto plastificante sobre el hormigón fresco, mejorando la docilidad o permitiendo una reducción del agua de amasado. (Téllez, 1989).

#### **1.1.5. Aplicaciones de los aditivos químicos.**

##### **1.1.5.1. Aditivos plastificantes y superplastificantes.**

Los aditivos plastificantes y superplastificantes son utilizados principalmente en hormigones con gran densidad de armaduras de refuerzo, hormigones que hayan de someterse a duras pruebas (hormigón armado y pretensado), en ciertos trabajos especiales como la inyección y hormigonado con moldes deslizantes. En dependencia del medio donde se requiera su aplicación, también se utilizan en hormigones manufacturados (piedra artificial, por y para la prefabricación) y en la construcción de grandes edificios u obras públicas (autopistas, obras marítimas, etc.). (Neville, 2000).

##### **1.1.5.2. Aditivos aceleradores de fraguado.**

Carvajal, (2005) señala que los aditivos aceleradores de fraguado tienen una amplia aplicación especialmente en la construcción de pavimentos rígidos de hormigón por la técnica de "fast track", lo que es muy útil en la reparación o ampliación de autopistas y otras vías del tráfico ya que ocurre en plazos de tiempo muy cortos, en la tecnología del hormigón proyectado (gunita o torcretado), pues el fraguado rápido impide o reduce

## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

notablemente el rebote de la mezcla sobre la superficie, también se aplica en gran medida en morteros especiales empleados para sellar fisuras o aberturas accidentales en depósitos de líquidos que presenten salideros.

### **1.1.5.3. Aditivos retardadores de fraguado:**

Al usar estos aditivos se pueden producir hormigones de alta calidad sobre todo si hay que transportarlos hasta lugares distantes pues retrasan el proceso de fraguado normal ajustándolo a las necesidades de cada empleo. Se emplean fundamentalmente en el hormigón premezclado para garantizar la transportación de la mezcla a grandes distancias y también en climas cálidos, constituyen también una vía para reducir los ritmos de hormigonado en grandes elementos y en el hormigonado de estructuras con la tecnología de moldes deslizantes. (Kozeliski, 1989)

### **1.1.6. Producción de aditivos en el contexto actual de desarrollo.**

Los aditivos que son producidos en el CEAT de la UMCC, responden a una línea de productos de tensoactivos para el retardo y la aceleración del fraguado, esta línea es aplicada desde hace varios años pero aún se encuentra en una fase de innovación tecnológica. Los aditivos producidos son una respuesta a la política aprobada en los Lineamiento de Política Económica y Social del Partido y la Revolución, cuando se expresa:

Lineamiento 87: Propiciar un acelerado proceso efectivo de sustitución de importaciones, con mecanismos que estimulen y garanticen la máxima utilización posible de todas las capacidades de que dispone el país en el sector agrícola, industrial, en servicios y recursos humanos (contenidos en los Lineamientos de Política Económica y Social del Partido y la Revolución 2011- 2015).

Como respuesta a este lineamiento se logra un gran aporte al país, ya que los aditivos producidos son los únicos reportados con posibilidades de fabricación con patente y tecnología nacional.

Actualmente en el país no existen producciones de aditivos plastificantes y superplastificantes aceleradores y retardadores del fraguado; esto conlleva a importar los productos por lo que las sustancias elaboradas por el CEAT tienen como objetivo

## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

disminuir importaciones obteniendo aditivos de calidad similares a los de importación. Estos aditivos se producen para ser empleados fundamentalmente en mezclas de hormigón, morteros y bloques de hormigón

Al contar con una Planta Piloto con capacidad productiva la cual facilita el proceso de innovación tecnológica los aditivos del Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT), cierra el ciclo. Se poseen además contratos y proyectos que aseguran la colaboración Universidad – Empresa.

### **1.2. Diseño de aparatos para la industria química.**

Como todos conocemos un reactor químico es un equipo en cuyo interior tiene lugar una reacción química, estando éste diseñado para maximizar la conversión y selectividad de la misma con el menor coste posible. Dicha unidad procesadora está constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida para sustancias químicas, y está gobernado por un algoritmo de control. (Mijalev, 1987).

Las sustancias contenidas o elaboradas en los aparatos pueden ser en diferentes estados de la materia (con más frecuencia líquidas o gaseosa, rara vez sólidas); pueden tener diversa actividad química (de inertes hasta muy agresivas referente a los materiales de construcción); puede ser desde no peligrosos hasta tóxicas para el personal de servicios, y de inocuas hasta peligrosas en la explotación (inflamable y explosivas).

#### **1.2.1. Tipos de reactores.**

a) REACTOR DISCONTINUO: Es aquel en donde no entra ni sale material durante la reacción, sino más bien, al inicio del proceso se introducen los materiales, se lleva a las condiciones de presión y temperatura requeridas, y se deja reaccionar por un tiempo preestablecido, luego se descargan los productos de la reacción y los reactantes no convertidos. También es conocido como reactor tipo Batch.

b) REACTOR CONTINUO: Mientras tiene lugar la reacción química al interior del reactor, éste se alimenta constantemente de material reactante, y también se retira ininterrumpidamente los productos de la reacción.

## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

c) REACTOR SEMICONTINUO: Es aquel en el cual inicialmente se carga de material todo el reactor, y a medida que tiene lugar la reacción, se van retirando productos y también incorporando más material de manera casi continua.

d) REACTOR TUBULAR: En general, es cualquier reactor de operación continua, con movimiento constante de uno o todos los reactivos en una dirección espacial seleccionada, y en el cual no se hace ningún intento por inducir al mezclado. Tienen forma de tubos, los reactivos entran por un extremo y salen por el otro.

e) TANQUE CON AGITACIÓN CONTINUA: Este reactor consiste en un tanque donde hay un flujo continuo de material reaccionante y desde el cual sale continuamente el material que ha reaccionado. La agitación del contenido es esencial, debido a que el flujo interior debe estar en constante circulación y así producir una mezcla uniforme.

f) REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO: Se utiliza para reacciones donde intervengan un sólido y un fluido (generalmente un gas). En estos reactores la corriente de gas se hace pasar a través de las partículas sólidas, a una velocidad suficiente para suspenderlas, con el movimiento rápido de partículas se obtiene un alto grado de uniformidad en la temperatura, evitando la formación de zonas calientes.

g) REACTOR DE LECHO FIJO: Los reactores de lecho fijo consisten en uno o más tubos empacados con partículas de catalizador, que operan en posición vertical. Las partículas catalíticas pueden variar de tamaño y forma: granulares, cilíndricas, esféricas, etc. En algunos casos, especialmente con catalizadores metálicos como el platino, no se emplean partículas de metal, sino que éste se presenta en forma de mallas de alambre. El lecho está constituido por un conjunto de capas de este material. Estas mallas catalíticas se emplean en procesos comerciales como por ejemplo para la oxidación de amoníaco y para la oxidación del acetaldehídico a ácido acético.

h) REACTOR DE LECHO CON ESCURRIMIENTO: En estos reactores el catalizador sólido está presente como en el lecho fijo. Los reactivos se hacen pasar en corrientes paralelas o a contracorriente a través del lecho.

## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

### **1.2.2. Características generales de los reactores químicos.**

La industria química contemporánea con sus condiciones específicas para el trabajo de sus equipos, que se caracterizan frecuentemente por altos parámetros de servicio (temperatura y presión), especialmente cuando el medio que interviene en el proceso es agresivo, tóxico, explosivo e inflamable y también por su alta productividad, exige que se fabriquen solamente los aparatos de alto grado de calidad. ( Mijalev, 1987).

La alta calidad de los aparatos se expresa en alta eficacia que depende del proceso tecnológico que se realiza en el aparato y del rendimiento de éste; en larga vida de servicio (no menos de 15 años); en economía (coste mínimo de la proyección, de los materiales de construcción, de su fabricación, así como de los gastos de explotación); en seguridad, solidez comodidad y sencillez del mantenimiento durante la explotación que depende tanto de la calidad de construcción, como de la de fabricación; en forma constructiva del aparato que debe satisfacer los requisitos de la estética (forma recomendada, falta de partes salientes agudas, etc.).

Los requisitos técnicos a la construcción, fabricación, recepción y suministro de los aparatos soldados de aceros están establecidos por St CAME 800-77 y OST 26-291-79, [16].

### **1.2.3. Requisitos del diseño.**

El diseño de los equipos debe prever la posibilidad de efectuar la revisión interior, la limpieza, el lavado y la purga. Deben ser desmontables los dispositivos interiores que dificulten la inspección. Las camisas (para calefacción exterior o enfriamiento) pueden hacerse por soldadura. (Laschinski, 1988).

Los aparatos deben estar dotados de aberturas de entrada, escotillas redondas que faciliten la revisión interior, ubicadas en sitios cómodos para el servicio. En los aparatos que tienen tapas o fondos desmontable y boquillas de brida, que dan posibilidad de inspeccionarlos de adentro, no son necesarias aberturas de entrada y escotilla. (Laschinski, 1988).

Los pernos móviles de charnela o empotrables, las abrazaderas y los dispositivos de apriete con que están dotados las tapas, las aberturas de entrada y los empalmes

## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

embridados deben estar protegidos contra el desplazamiento o aflojamiento. (Laschinski, 1988).

El equipo, para que pueda ser levantado e instalado, debe disponer de dispositivos de amarre. Así se permite utilizar tales elementos del aparato como gargantas y boquillas tecnológicas, escalones, etc. Que sean sin duda alguna, firmes, lo que debe ser comprobado por medio del cálculo. (Laschinski, 1988).

Como regla general, todas las uniones principales de los aparatos deben ser soldadas a tope, a los dos lados o con soldadura ulterior, y dar acceso para la revisión y el control. (Laschinski, 1988).

### **1.2.4. Requisitos de los materiales de construcción.**

Los aparatos se construyen de semiproductos suministrados por la industria metalúrgica en forma de chapas y perfiles laminados, tubos, piezas forjadas y fundidas especiales. (Laschinski, 1988).

Los materiales deben ser resistentes a la corrosión y a los agentes químicos en un medio dado con sus parámetros de servicio, tener una buena soldabilidad y características correspondientes de resistencia y plasticidad en las condiciones de trabajo, admitir el mecanizado en frío y caliente, ser de bajo coste y estar disponibles. (Laschinski, 1988).

### **1.2.5. Requisitos para la fabricación.**

Los equipos, sus conjuntos y piezas deben manufacturarse por las empresas, cuyos medios técnico disponibles garanticen la calidad de su producción con arreglo a los requisitos del proyecto, de GOST (Standard de Estado), OST (Standard de rama), de las normas y de otra documentación técnica. (Laschinski, 1988).

El proyecto del equipo y las normas para su fabricación deben estar coordinados y aprobados correspondientemente por el organismo proyector y el fabricante. Estos aparatos han de manufacturarse según la tecnología elaborada de antemano por la fábrica productora. (Laschinski, 1988).

Se admite cortar las chapas, los tubos y otros semiproductos por cualquier procedimiento que asegure la forma y dimensiones requeridas de los bordes que se



## *Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.*

labran para soldarlos o excluya grietas u otros defectos que empeoren su calidad. (Laschinski, 1988).

La fabricación de los aparatos admite todos los géneros de la rodadura dominados por la industria. Los tambores y los fondos pueden hacerse sin costura de las piezas forjadas o chapas soldadas. Su laminado y estampado han de efectuarse por máquinas. (Laschinski, 1988).

Los equipos y sus elementos han de soldarse con arreglo a las normas e instrucciones de producción de la fábrica productora correspondientes a OST 26- 291-79. Se someterán al tratamiento térmico los aparatos, en cuyas paredes pueden aparecer en el proceso de fabricación (laminado, estampado, soldadura, etc.) las tensiones inadmisibles. La necesidad y el régimen del tratamiento se establecen por las normas. (Laschinski, 1988).

La fábrica productora debe controlar la calidad de las uniones soldadas (a simple vista de afuera, mediante la defectoscopia ultrasónicas, control con rayos X o gamma, ensayos mecánicos, investigaciones metalográficas, pruebas hidráulicas, etc.) con arreglo a las normas. (Laschinski, 1988).

Al ensamblar distintas piezas y conjuntos del aparato no se tolera el ajuste que ocasione la aparición de tensiones adicionales en el metal o de deterioraciones en las partes que se unen. Los métodos a que se recurre al trazar las piezas brutas de los elementos de acero austenítico no han permitido que se deteriore la superficie de trabajo de los últimos. (Laschinski, 1988).

No se admiten en la superficie de trabajo de los tambores y de los fondos rayas, mellas, arañazos ni otros defectos que superen por su profundidad los valores negativos de las desviaciones límites por el espesor de la chapa, previstos por los estándares y normas correspondientes. En todas las piezas han de eliminarse las rebabas embotándose sus bordes agudos. (Laschinski, 1988).

En el proceso actual del reactor químico existente en la Planta Piloto, se requiere del empleo de materiales especiales, dado que la síntesis se realiza con ácido sulfúrico concentrado y caliente, con temperaturas próximas a los 100 °C.

**1.2.6. Requisitos a la explotación.**

Para poder regular el funcionamiento de los aparatos y asegurar las condiciones normales de su explotación, éstos han de dotarse de instrumentos medidores de presión y temperatura del medio, de órganos de seguridad para evitar que se supere la presión admisible, de accesorios de cierre para las tuberías de admisión y evacuación, de indicadores de nivel del líquido en caso de que el aparato contenga o pueda contenerlo. (Laschinski, 1988).

**1.3. Conclusiones parciales.**

**1.3.1.** Los aditivos se clasifican generalmente según su función y para la producción de hormigón los más empleados son los aceleradores y retardadores que actúan sobre el tiempo de fraguado del hormigón y los aditivos plastificantes que actúan sobre la consistencia del hormigón.

**1.3.2.** Como respuesta a la sustitución de importaciones (Lineamiento 87), se está en posibilidades de hacer aportes al país, con los aditivos que se producen, con posibilidades de fabricación con patente y tecnología nacional.

**1.3.3.** La aprobación del dictamen técnico por entidad acreditada, es un requisito para la introducción y cierre de ciclo del producto.

**1.3.4.** El diseño de equipos para la industria química debe proveer al usuario de las condiciones necesarias para su posterior construcción y explotación.

# *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

## **Capítulo II: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.**

En el capítulo anterior se expusieron las características generales de los aditivos así como los tipos de reactores. Teniendo en cuenta estas consideraciones, el siguiente capítulo se propone como objetivo:

Dar a conocer las materias primas que se utilizan en la producción de los aditivos así como el proceso que se realiza en el CEAT para obtener dicho producto en planta piloto, además de elaborar y analizar la metodología para calcular el diseño del sistema de agitación del reactor en la producción de los aditivos DISTIN 202, 202A y 204, que abarcará las siguientes temáticas:

Selección del motor reductor del reactor y de la paleta mezcladora, cálculo de resistencia y diseño del árbol, cálculo de las chavetas, selección de los rodamientos y la selección de arandelas de fijación de los rodamientos en el árbol y el cuerpo, partiendo del diseño del tanque del reactor, del tambor cilíndrico, del fondo y de la tapa en forma cónica sometidos a presión atmosférica calculado en el Trabajo de Diploma del Ingeniero Adel Ortega Echeverría.

### **2.1. Materiales y métodos.**

#### **2.1.1. Materias primas para la síntesis de aditivos.**

Las materias primas que se utilizan para la producción de aditivos DISTIN se relacionan a continuación:

##### **2.1.1.1. Sulfito de sodio.**

Cristales o polvo de color blanco, soluble en agua, muy poco soluble en alcohol. Puede presentarse hidratado,  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  o anhidro,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .

##### **2.1.1.2. Formaldehido.**

Sustancia gaseosa que corresponde a la fórmula  $\text{CH}_2\text{O}$  que se emplea en solución acuosa al 37%, siendo esta un líquido claro, incoloro, de olor penetrante, sofocante y venenoso.

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

Calidad: Comercial.

Especificaciones:

Densidad: 1.75-1.08 g/cm<sup>3</sup>

Punto de ebullición de la solución al 37%: 98°C.

Precauciones: Evítese la inhalación de sus vapores y el contacto con la piel, causa irritación.

### **2.1.1.3. Urea.**

Cristales o polvo blanco, casi inodoro, sabor salino fresco que corresponde a la fórmula  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , soluble en agua, alcohol y benceno, ligeramente soluble en éter.

Calidad: Comercial.

Especificaciones:

Peso específico: 1.335 g/cm<sup>3</sup>

## **2.2. Producción en Planta Piloto.**

### **2.2.1. Descripción de la instalación.**

Los aditivos forman parte de una línea de producción en la Planta Piloto del CEAT, ya que no son los únicos productos que ahí se elaboran. Para la producción de estos se cuenta, con un sistema de generación de vapor que es común para todas las líneas de producción que requieran vapor, por dicha razón la administración de la planta asignó por cientos de producciones anuales para los diferentes productos en dependencia de la demanda que se tenga de estos, la línea posee un sistema de bombeo de algunas materias primas y de producto terminado, cuenta además con un reactor de acero aleado al cromo - níquel de 0.8 m<sup>3</sup>, que como problema principal se encuentra que no cuenta en su diseño de una tapa de cierre hermético lo que trae consigo que se escapen los vapores producto de las reacciones al ambiente laboral de la planta, estos vapores son tóxicos y no deben ser inhalados, además una característica de las reacciones que tienen lugar es una fuerte ebullición espontánea la que genera gran

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

volumen de espuma, que no permite utilizar a totalidad la capacidad del reactor para evitar así derramamiento del producto, posibles quemadura a los obreros y contaminación al medio. Ello exige de un reactor hermético. Ver Fig. 2.1 Reactor de aditivos.



Fig. 2.1 Reactor de aditivos



Fig. 2.2 Vista superior.

### **2.2.2. Proceso tecnológico en la etapa actual de la instalación.**

La tecnología de producción de aditivos se sustenta en la Patente 142/94, esta incluye la composición y procedimientos de obtención.

El proceso de producción de los aditivos se realiza en la situación actual en un reactor diseñado para la producción de estos.

Los pasos a seguir y las etapas principales del procedimiento se describen a continuación:

Antes de poner el reactor en funcionamiento es necesario revisar y crear las condiciones para el proceso:

- Las válvulas de salida del producto, entrada del vapor y entrada de agua al reactor deben estar cerradas.

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

➤ Revisar el agitador mecánico, que este se encuentre en buenas condiciones técnicas lo que incluye el giro libre.

Estando creadas las condiciones para el proceso se pone en funcionamiento la caldera, se adiciona agua tratada al reactor arrancando la bomba y abriendo la válvula de entrada del agua.

Seguidamente se pone a funcionar el agitador, la urea requerida en el proceso previamente pesada en la báscula, se le introduce al reactor por la tapa del registro para la disolución de la misma con agitación de 60 rpm. (Esta agitación se mantiene durante todo el proceso).

Cuando la caldera alcanza la presión de trabajo, se abre la válvula de vapor para comenzar el calentamiento de la disolución de urea hasta una temperatura de  $\pm 60$  °C.

Cuando se alcanza la temperatura establecida de la disolución, se procede a abrir la tapa del registro por donde se introduce otra materia prima sólida ya pesada previamente en la báscula y se cierra la tapa del registro. Se mantiene esta temperatura esperando el tiempo establecido para lograr la total disolución del sulfito de sodio. Después se adiciona la cantidad de formaldehído necesaria para la condensación y por último se dosifica la sosa cáustica requerida.

Una vez que están todas las materias primas dosificadas en el interior del reactor, se procede al calentamiento del mismo, accionando la válvula del vapor al equipo hasta alcanzar una temperatura de 100 °C (Este proceso ocurre a presión atmosférica ya que no existe un cierre hermético en la tapa de registro del reactor). Estas condiciones de trabajo se mantienen durante un tiempo de 1 hora controlando rigurosamente el pH y la temperatura para que, en este tiempo ocurra la sulfonación del producto.

Concluido este tiempo se procede a una disminución de la temperatura cerrando la válvula de vapor y recirculando agua de la cisterna por la camisa del reactor. Descendida la temperatura lo suficiente se procede a la toma de muestras para realizar los ensayos que garanticen la calidad de la producción, el aditivo se envasa si autoriza la técnica de control de calidad y se traslada hacia el área de almacenes.

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

### **2.3. Metodología para el diseño de aparatos para la industria química.**

#### **2.3.1. Principales parámetros para el cálculo.**

Los parámetros de cálculo principales que se usan para elegir el material de construcción y calcular la resistencia de los elementos del aparato son la temperatura y la presión durante el proceso de servicio. (Laschinski, 1988).

##### **2.3.1.1. Temperatura.**

La temperatura se divide en la de servicio y la de cálculo. La temperatura de servicio  $T$  es la del medio contenido o labrado dentro del aparato, cuando el proceso tecnológico se desarrolla normalmente. (Laschinski, 1988).

La temperatura de cálculo  $T_{cal}$  es la que sirve para determinar las características físico-químicas del material de construcción y sus tensiones admisibles. (Laschinski, 1988).

La temperatura calculada de pared  $T_{cal}$  se determina, basándose en los cálculos de temperatura o resultado de las pruebas realizadas. Si es imposible efectuar los cálculos y pruebas: a temperaturas positivas  $T_{cal} = \text{máx. } (T_m; 20 \text{ } ^\circ\text{C})$ , donde  $T_m$  es la máxima temperatura del medio; y a temperaturas negativas  $T = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ . (Mijalev, 1987).

$$T_{cal} = \text{máx. } (T_m; 20 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (2.1)$$

##### **2.3.1.2. Presión.**

La presión de trabajo  $P$  es la máxima presión excesiva interior o exterior que surge produciéndose normalmente el proceso de trabajo, sin tener en cuenta la presión hidrostática del medio y un aumento admisible de corto plazo de la presión durante la acción de la válvula de seguridad u otro dispositivo de seguridad. (Mijalev, 1987).

La presión calculada  $P_{cal}$  se determina por la ecuación.

$$P_{cal} = P + P_h \quad (2.2)$$

Donde  $P_h$  es la presión hidrostática del medio. Si  $(P_h / P) \cdot 100\% \leq 5\%$  entonces

$$P_{cal} = P.$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \quad (2.3)$$



## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

Donde:

$\rho$ : Densidad del fluido;

$g$ : Aceleración de la gravedad;

$h$ : Altura de la columna de fluido.

La presión de prueba  $P_{pr}$  es la excesiva, para la cual se ensaya el aparato al calcular su resistencia y estanqueidad después de su fabricación y periódicamente, en el proceso de su explotación.

Según tabla 1.2 (Laschinski, 1988): para presiones de cálculo mayores que 0.07 hasta 0,5 MPa.

$$P_{pr} = \text{máx.} \{ 1.5 * P_{cal} * [\sigma]_{20} / [\sigma]; 0.2 \text{ MPa} \} \quad (2.4)$$

### **2.3.1.3. Selección de material**

La selección de los materiales de construcción debe realizarse teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Presión y temperatura de cálculo.
- Características físico-químicas requeridas de resistencia y plasticidad.
- Buena soldabilidad.
- Admitir mecanizado en frío y en caliente.
- Disponibilidad de materiales.
- Resistencia a la corrosión.

A todos estos se les suman las recomendaciones para seleccionar chapas de acero según GOST 26- 291-79, las cuales se encuentran tabuladas en la tabla 3.2. (Laschinski, 1988).

### **2.3.1.4. Tensiones admisibles de los aceros.**

La tensión admisible para el estado de trabajo es:  $[\sigma]$

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

$$[\sigma] = n \cdot \sigma^* \quad (2.5)$$

Donde:

$\sigma^*$ : Tensión normativa admisible con la Temperatura calculada.

n: Coeficiente de corrección que tiene en cuenta la forma de una pieza bruta.

Por ejemplo, para piezas brutas como chapas laminadas  $n = 1.04$

La tensión admisible para las condiciones de prueba es:  $[\sigma]_{pr}$

Pruebas hidráulicas:

$$[\sigma]_{pr} = \sigma_{fl.20} / 1.1 \quad (2.6)$$

Donde:

$\sigma_{fl.20}$ : Es el valor mínimo del límite de fluidez a la temperatura de +20 °C. (Mijalev, 1987)

### **2.3.1.5. Módulo de elasticidad longitudinal.**

Los valores de cálculo del módulo de elasticidad longitudinal E en función de la temperatura para los aceros aleados y al carbono según la norma GOST 14249-80 se encuentran en la tabla 1.5 citado por (Laschinski, 1981).

### **2.3.1.6. Coeficiente de resistencia de las uniones soldadas.**

El coeficiente de resistencia de las uniones soldadas ( $\varphi$ ) caracteriza la resistencia de unión en comparación con la resistencia del metal base. Los valores de  $\varphi$  se seleccionan en función de la estructura y procedimientos de unión, para los aparatos fabricados de acero, aluminio, cobre y titanio. (Mijalev, 1987)

### **2.3.1.7. Determinación de los coeficientes de adición para los espesores calculados.**

Se debe prestar atención a la adición de los sobreespesores para los espesores calculados, ya que es necesario que el reactor sea un equipo confiable durante un

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

período de 10 años, período este que estará sometido a la influencia de un medio altamente agresivo, si de corrosión se trata.

Este espesor se adiciona por la ecuación que se muestra a continuación. (Mijalev, 1987)

$$C = C1 + C2 + C3 \quad (2.7)$$

Donde:

C1: Es la adición para compensar la corrosión y erosión.

C2: Es la adición para compensar la tolerancia negativa.

C3: Es la adición tecnológica que para equipos laminados es igual a 0.

Nota: C2 no se considerará debido a su valor tan pequeño.

$$C1 = V_{corr} * t_{ser} + C_{er} \quad (2.8)$$

Donde:

$V_{corr}$ : Velocidad de corrosión.

$t_{ser}$ : Plazo de servicio del aparato.

$C_{er}$ : Adición para compensar la erosión. Que por no haber flujo es igual a 0.

Para fabricar el equipo químico se emplean los materiales cuya velocidad de corrosión se  $c_{vc} \leq 0,1 \text{ mm/año}$  Se recomienda tener en cuenta la adición  $C_{er}$  solamente en los casos siguientes:

Moviéndose el medio en el aparato con velocidades considerables (para medios líquidos, superior a 20 m/s)

En caso de la acción de choque del medio sobre la pieza.

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

### **2.3.1.8. Envoltente cilíndrica cargada con la presión excesiva exterior.**

#### **2.3.1.8.1. Determinación del espesor de pared.**

El espesor de la pared se determina con aproximación por las siguientes ecuaciones: (Laschinski, 1988).

$$S_{cal} = \text{máx.} \{K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; 1.1P_{cal} \cdot D / 2 [\sigma]\} \quad (2.9)$$

$$S \geq S_{cal} + C \quad (2.10)$$

Donde:

$S_{cal}$ : Espesor calculado.

S: Espesor de la pared.

D: Diámetro del tambor.

Una vez calculado el espesor S ha de ser normalizado en todos los casos.

El coeficiente  $K_2 = f(K_1; K_3)$  se determina conforme a la fig. 6.3 según los valores de  $K_1$  y  $K_3$ . (Laschinski, 1988).

$$K_1 = N_{est} \cdot P_{cal} / 2.4 \cdot 10^{-6} E \quad (2.11)$$

$$K_3 = L_{cal} / D \quad (2.12)$$

Donde:

$N_{est}$ : Coeficiente de estabilidad.

$N_{est}$  se tomará 2.4 para condiciones de trabajo y 1.8 para las de prueba.

$L_{cal}$ : Longitud de cálculo del tambor. Se halla como se muestra en la figura 2.3.

*Capítulo 2.3: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

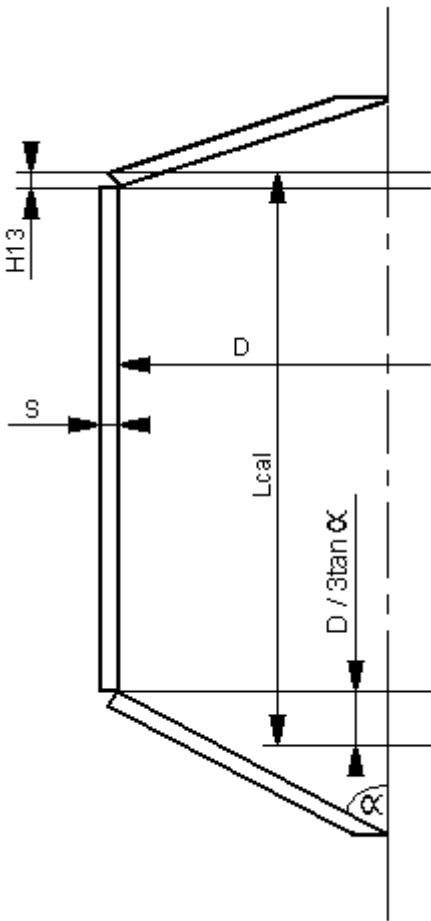


Figura 2.1: Esquema de construcción de tambor

*cilíndrico liso con fondo cónico no rebordeado.*

$$L_{cal} = L_c + H13 + D / 3 \tan \alpha \quad (2.13)$$

**2.3.1.8.2. Determinación de las presiones admisibles para las condiciones de trabajo y de prueba.**

- Sobre la base de la resistencia mecánica.

$$[P]_{\sigma} = 2[\sigma] \cdot (S-C) / D + S - C \quad (2.14)$$

$$[P]_{\sigma pr} = 2[\sigma]_{pr} \cdot (S-C) / D + S - C \quad (2.15)$$

- Sobre la base de la estabilidad geométrica del cuerpo. Hay que tener en cuenta si es una envolvente larga o corta, a partir de la longitud crítica ( $L_0$ ).

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

$$L_0 = 8.15 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{D}{100(S-C)}} \quad (2.16)$$

Si:  $L > L_0$  C. largo;  $L \leq L_0$  C. corto

La presión admisible partiendo de la condición de estabilidad se calcula por la siguiente ecuación, tanto para las condiciones de trabajo como las de prueba.

$$[P]_E = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot E}{Nest} \cdot \frac{D}{L} \cdot \left[ \frac{100(S-C)}{D} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100(S-C)}{D}} \quad \text{C. Cortos} \quad (2.17)$$

$$[P]_E = \frac{2.21 \cdot 10^{-6} \cdot E}{Nest} \cdot \frac{D}{L} \cdot \left[ \frac{100(S-C)}{D} \right]^3 \quad \text{C. Largos} \quad (2.18)$$

Para las condiciones de trabajo y condiciones de prueba la presión admisible partiendo de la condición de resistencia se calcula:

$$[P] = \frac{[P]\sigma}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P]\sigma}{[P]_E} \right)^2}} \quad (2.19)$$

Para validar los resultados se comprueban con la condición de resistencia mecánica del tambor, que tiene que cumplir con la siguiente condición. (Laschinski, 1988).

$$P_{cal} \leq [P] ; P_{pr} \leq [P]_{pr}$$

### **2.3.1.9. Envoltente cilíndrica cargada con la presión excesiva interior.**

#### **2.3.1.9.1. Determinación del espesor de pared.**

$$S_{cal} = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_{cal} \cdot D}{2\varphi \cdot [\sigma] - P_{cal}} \\ \frac{P_{pr} \cdot D}{2\varphi \cdot [\sigma]_{pr} - P_{pr}} \end{array} \right. \quad (2.20)$$

#### **2.3.1.9.2. Determinación de las presiones admisibles para las condiciones de trabajo y de prueba.**

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi(S-C)}{D+S-C} \quad (2.21)$$

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

$$[P]_{pr} = \frac{2[\sigma]_{pr} \cdot \varphi(S-C)}{D+S-C} \quad (2.22)$$

Para comprobar la resistencia mecánica del tambor, se tiene que cumplir la siguiente condición. (Laschinski, 1988).

$$P_{cal} \leq [P] ; P_{pr} \leq [P]_{pr}$$

### **2.3.1.10. Fondo cónico cargado con la presión excesiva exterior.**

Los fondos cónicos cuentan con amplia aplicación en la parte inferior de los aparatos verticales, en los cuales es necesario evacuar por completo el producto líquido, movedizo o en forma de pedazos.

Uno de los conjuntos más importantes de los aparatos es la unión de los fondos con el cuerpo. Los fondos cónicos se unen con los tambores cilíndricos solamente a tope. (Laschinski, 1988).

#### **2.3.1.10.1. Determinación del espesor de la pared.**

Los espesores calculado y ejecutivo de la pared se determinan por las ecuaciones:

$$S_{cal} = \text{máx.} \{K_2 \cdot D_E \cdot 10^{-2}; 1.1P_{cal} \cdot D_E / 2 [\sigma]\} \quad (2.23)$$

Donde:

El coeficiente  $K_2 = f(K_1; K_3)$  se determina conforme a la fig. 6.3 según los valores de  $K_1$  y  $K_3$ . (Laschinski, 1988).

$K_1$  se determina por la ecuación (2.11).

$$K_3 = L_E / D_E \quad (2.24)$$

*Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

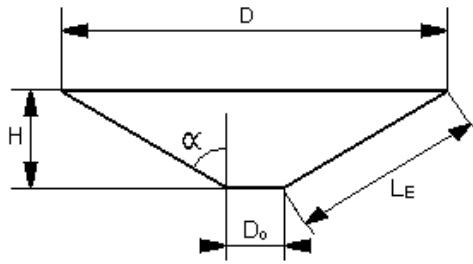


Figura 2.2: Dimensiones para el cálculo del fondo del aparato.

Donde:

$$L_E = D - D_0 / 2 \operatorname{sen} \alpha \quad (2.25)$$

$$D_E = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} \frac{D+D_0}{2 \cos \alpha} \\ \frac{D}{\cos \alpha} - 0.31(D + D_0) \cdot \sqrt{\frac{D+D_0}{100(S-C)}} \cdot \tan \alpha \end{array} \right. \quad (2.26)$$

**2.3.1.10.2. Determinación de la presión admisible para las condiciones de trabajo y de prueba.**

En este caso, el método de cálculo es el mismo que en la envolvente cilíndrica, para calcular la presión admisible partiendo de las condiciones de resistencia se utilizó la ecuación (2.19).

$$[P] = \frac{[P]\sigma}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]\sigma}{[P]_E}\right)^2}}$$

Para comprobar la resistencia mecánica del tambor, se tiene que cumplir la siguiente condición. (Laschinski, 1988).

$$P_{\text{cal}} \leq [P] ; P_{\text{pr}} \leq [P]_{\text{pr}}$$



## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

Donde:

Se calculará  $[P]_{\sigma}$  para las condiciones de trabajo y condiciones de prueba por esta ecuación:

$$[P]_{\sigma} = \frac{2[\sigma] \cdot (S-C)}{\frac{D}{\cos \alpha} + (S-C)} \quad (2.27)$$

Si:  $L_E \leq 8.15 \cdot D_E \sqrt{\frac{DE}{100(S-C)}}$  se haya  $[P]_E$  por la ecuación (2.28), sino por la (2.29) tanto para las condiciones de trabajo como las de prueba.

$$[P]_E = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot E}{Nest} \cdot \frac{DE}{L} \cdot \left[ \frac{100(S-C)}{DE} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100(S-C)}{DE}} \quad (2.28)$$

$$[P]_E = \frac{2.21 \cdot 10^{-6} \cdot E}{Nest} \cdot \frac{DE}{L} \cdot \left[ \frac{100(S-C)}{DE} \right]^3 \quad (2.29)$$

### **2.3.1.11. Fondo cónico cargado con la presión excesiva interior.**

#### **2.3.1.11.1. Determinación del espesor de la pared.**

El espesor de la pared se determina mediante las siguientes expresiones:

$$S_{cal} = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_{cal} \cdot D}{(2\phi \cdot [\sigma] - P_{cal}) \cdot \cos \alpha} \\ \frac{P_{pr} \cdot D}{(2\phi \cdot [\sigma]_{pr} - P_{pr}) \cdot \cos \alpha} \end{array} \right. \quad (2.30)$$

$$S = S_{cal} + C$$

#### **2.3.1.11.2. Determinación de la presión admisible para las condiciones de trabajo y de prueba.**

$$[P]_{\sigma} = \frac{2[\sigma] \cdot \phi(S-C) \cdot \cos \alpha}{D + (S-C) \cdot \cos \alpha} \quad (2.31)$$

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

$$[P]_{pr} = \frac{2[\sigma]_{pr} \cdot \varphi(S-C) \cdot \cos \alpha}{D+(S-C) \cdot \cos \alpha} \quad (2.32)$$

Para comprobar la resistencia mecánica:

$$P_{cal} \leq [P] ; P_{pr} \leq [P]_{pr}$$

### **2.3.1.12. Selección de bridas.**

En los aparatos químicos para las conexiones desmontables de sus cuerpos combinados y de sus partes aisladas se usan las uniones de brida preponderantemente de forma redonda. Con bridas se acoplan a los aparatos los tubos, sus accesorios, etc. Las uniones embridadas han de ser sólidas, rígidas, herméticas y accesibles para armar, desarmar e inspeccionarlas. Ellas están estandarizadas para los tubos y sus accesorios y aparte para los aparatos. Su construcción se admite según los parámetros de servicio del aparato. (Laschinski, 1988).

1 - Selección del tipo de brida.

2 - Determinación de las dimensiones de la brida.

➤ Para tubos.

➤ Para aparatos.

3 - Selección de materiales para las bridas, pernos y tuercas.

➤ Para tubos.

➤ Para aparatos.

4 - Selección de las juntas.

### **2.3.1.13. Selección de las boquillas.**

Las boquillas, así como las tuberías tecnológicas, son accesorios que se empalman en el aparato con el fin de llenar o evacuar diversos fluidos o productos. Estas pueden ser fijas (soldadas) o desmontables (boquillas de bridas). (Laschinski, 1988).

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

Las boquillas de bridas de acero están normalizadas y representan en sí las tubuladuras que llevan las bridas soldadas o se forjan formando una sola pieza con las últimas. Según el espesor de la pared del aparato las paredes de las boquillas pueden ser finas o gruesas, lo que se debe a la necesidad de reforzar los agujeros en la pared del aparato por cuenta de la tubuladura con diferente espesor de su pared. (Laschinski, 1988).

- Selección.
- Comprobación de su aplicación según la presión y la temperatura.
- Determinación de las dimensiones principales.
- Determinación del voladizo.

### **2.3.1.14. Selección de los soportes de los aparatos.**

Los aparatos químicos se instalan sobre cimientos o construcciones sustentadoras especiales en la mayoría de los casos con ayuda de soportes. Estos últimos se dividen según la posición de servicio en los de aparatos verticales y los horizontales. (Laschinski, 1988).

Los aparatos verticales suelen instalarse en montantes, si los disponen en la parte inferior del local; en patas suspendidas, si el aparato se ubica entre los pisos del edificio o en construcciones de aceros especiales. (Laschinski, 1988).

Los soportes propiamente dichos no se comprueban por el cálculo, sino que se eligen normales para una carga requerida. Debe calcularse el tambor del aparato cilíndrico que experimenta las cargas locales provocadas por las patas de apoyo. (Laschinski, 1988).

## **2.4. Metodología de cálculo para el diseño del sistema de agitación.**

### **2.4.1. Cálculo de la potencia consumida para el mezclado**

La  $(Ne) = f$  de  $\{Kn$  (criterio de carga);  $Rem$  (Reynolds de la mezcla) $\}$  y se busca en el diagrama de la figura VI-2:

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

$$\text{Tenemos que: } \text{Rem} = \frac{nd^2 \mathcal{P}_m}{\mu} \quad (2.33)$$

$$\text{Kn} = \frac{N}{\mathcal{P} n^3 d^3} \quad (2.34)$$

Con esta potencia consumida en el mezclado se puede calcular las paletas del agitador, el árbol, chaveta y la selección del motor reductor. Se toman las ecuaciones siguientes:

Para el agitador, según las características de la mezcla, se selecciona un agitador de 2 paletas rectas, ángulo de 90 grados y tabiques de reflexión

Según Tabla VI-1 A.G. Kasatkin, sus dimensiones son:

$$\frac{d}{D} = 0.66 \quad n=2 \quad \text{tr} = 4$$

$$\frac{b}{d} = 0.1 \alpha = 90^\circ \quad \text{Btr} = 0.1 D$$

Para el árbol

$$(\text{MT}) = \frac{N}{W} = N * M \quad (2.35)$$

$$p = \frac{\mu T}{d} = N \quad (2.36)$$

$$[\sigma] = \frac{M_t}{W_x} \leq [\sigma] \quad (2.37)$$

### **2.4.2. Cálculo preliminar del árbol:**

$$\tau = \frac{M_t}{W_0} \leq [\tau]$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_t}{0.2 * [\tau]}} = \text{mm} \quad (2.38)$$

### **2.4.3. Selección de cojinetes**

Como en el árbol no hay carga axial se selecciona cojinetes rígidos de bolas,

A partir de la capacidad de carga dinámica, ya que  $n > 10 \text{ rev/min}$

## *Capítulo 3.3: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

Para garantizar que la carga aplicada sobre el rodamiento no afecte su funcionamiento

se debe verificar que el factor de seguridad:  $f_s > f_{s_{recomendado}}$

$$f_s = \frac{C_o}{P_0} \quad (2.39)$$

Datos iniciales para la selección del cojinete:

$$F_R, F_a, n, L_{h,d}$$

$L_{nec}$  - Duración necesaria. [Millones de ciclos]

$L_h$  - Duración necesaria en horas.

n - Frecuencia de rotación nominal (rev/min)

C- Capacidad de carga dinámica. [N]

p - Exponente de duración.  $p = 3$  (Rodamientos de bolas)

Para calcular la capacidad dinámica necesaria

$$C_{nec} = L^p * P \quad \text{Asumimos que } P = F_r \text{ debido a que las paletas son rectas}$$

Seleccionar un rodamiento a partir del valor del diámetro de montaje (d) con:  $C \geq C_{nec}$

$$L_n = \frac{L_n * n * 60}{10^6} \quad (2.40)$$

### **2.4.4. Unión por Chavetas:**

Tienen como ventajas que son sencillas, cómodas de montar, fiables y de bajo precio. Los Inconvenientes que poseen están asociados con la reducción de la resistencia de los elementos acoplados por los rebajos y ranuras de los chaveteros, así como la dificultad en algunos tipos para alcanzar la coaxialidad de los elementos unidos.

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

Las uniones por chavetas pueden ser de tres tipos básicos: uniones por chavetas prismáticas, uniones por chavetas de media luna y uniones por chavetas tensionadas (cuñas, fricción y tangenciales). Las chavetas prismáticas y las de media luna, a diferencia de las chavetas tensionadas que trabajan por fricción, realizan la transmisión de la carga por el contacto de las caras laterales de la chaveta con las ranuras (chavetero) en el árbol y en el cubo del elemento que se acopla.

$$M_t = F \frac{d}{2} \quad F = \frac{2M_t}{d} \quad M_t \text{ (Momento torsor en el árbol)} \quad (2.41)$$

a) Criterio de Resistencia al cortante.

$$\tau_{ciz} \leq [\tau_{ciz}] \quad , \quad [\tau_{ciz}] = \frac{\sigma_{ft}}{n_{ciz}}$$
$$\frac{2M_t}{b \cdot d \cdot l_{trab}} \leq [\tau_{ciz}] \quad (2.42)$$

b) Criterio de resistencia al aplastamiento

$$\sigma_{apl} \leq [\sigma_{apl}] \quad , \quad [\sigma_{apl}] = \frac{\sigma_{ft}}{n_{apl}}$$
$$\frac{4M_t}{dhl_c} \leq [\sigma_{apl}] \quad (2.43)$$

### **2.5 Análisis de la Factibilidad Económica.**

#### **2.5.1. Cálculo de la ganancia en la etapa futura de producción con el nuevo reactor instalado.**

Se calcula la ganancia para ver su comportamiento, que ésta se rige por la Resolución Conjunta 1 del 2005 del Ministerio de Economía y Planificación y el Ministerio de Finanzas y Precios. La cual establece que la ganancia es igual al 20% del costo de producción en Moneda Nacional (MN) y el 10% del costo de producción en pesos convertibles (CUC) y el valor total sería la suma de estas dos monedas.

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

Se utilizan para el cálculo las ecuaciones y los datos siguientes:

$$C_P = C_F + C_V \quad (2.44)$$

$$G_{(MN)} = 0.2 \cdot C_P \quad (2.45)$$

$$G_{(CUC)} = 0.1 \cdot C_P \quad (2.46)$$

$$G_U = G_{(MN)} + G_{(CUC)} \quad (2.47)$$

$$G_T = G_U \cdot N \quad (2.48)$$

Donde:

$C_F$ : Costos Fijos.

$C_V$ : Costo Variable.

$C_P$ : Costo de producción.

$G$ : Ganancia.

$N$ : Volumen de producción.

Para determinar la capacidad de producción de aditivo en este proceso se cuenta con los siguientes datos facilitados por el Área de Producción y Servicio del CEAT, además de la Ficha de Costo del producto.

Porcentaje anual de producción destinado a este producto 10%.

Semanas laborables al año 42.

Días laborables por semanas 5.

Capacidad útil del reactor 600 L/día.

Calculando tenemos:

$$0.1 \cdot 42 \text{ semanas/año} = 4.2 \text{ semanas/año}$$

$$4.2 \text{ semanas/año} \cdot 5 \text{ días/semana} = 21 \text{ días/año}$$

Para la producción de aditivos, la planta designa 21 días al año ya que no es el único que se produce en la instalación.

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

### **2.5.2. Valor Actual Neto (VAN).**

Es el valor presente de los rendimientos futuros descontados al costo de capital aportado al costo de la inversión, no es más que la diferencia del valor actualizado de todos los flujos de efectivos que genera la inversión y el desembolso inicial. El VAN refleja la rentabilidad de la inversión en términos absolutos, expresa cuánto dinero se gana o se pierde con la consecuencia de la ejecución del proyecto. Un proyecto de inversión será viable si el VAN es mayor que cero, es decir, tiene que ser positivo y entre varias alternativas se escoge el mayor posible. (Gitman. L, 1993).

$$VAN = -I + \sum_{i=0}^n \frac{Si}{(1+k)^t} \quad (2.49)$$

Donde:

*I*: Inversión inicial

*S*: Movimiento de fondo

*k*: Costo de capital de la inversión

*t*: Vida útil del producto

### **Criterios de aceptación**

Si el VAN es mucho mayor que 0 se acepta el proyecto de inversión.

Si el VAN es menor que 0 se rechaza el proyecto de inversión.

### **2.5.3. Tasa Interna de Retorno (TIR).**

Se define como la tasa de descuento o tipo de interés que iguala el VAN a cero, es decir, se efectúan tanteos con diferentes tasas de descuento consecutivas hasta que el VAN sea cercano o igual a cero y obtengamos un VAN positivo y uno negativo. (Gitman. L, 1993).

Si  $TIR >$  tasa de descuento (interés vigente): El proyecto es aceptable.

Si  $TIR =$  tasa de descuento (interés vigente): El proyecto es postergado.

Si  $TIR <$  tasa de descuento (interés vigente): El proyecto no es aceptable.



## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

$$TIR = kp - \frac{VANp \cdot (kp - kn)}{VANp - VANn} \quad (2.50)$$

Donde:

$Kp$ : Tasa de costo de capital en que el VAN es positivo.

$VANp$ : VAN positivo.

$Kn$ : Tasa de costo de capital en que el VAN es negativo.

$VANn$ : VAN negativo.

### **2.5.4. Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI).**

Es el tiempo que la empresa tarda en recuperar la inversión. Este método selecciona aquellos proyectos cuyos beneficios permiten recuperar más rápidamente la inversión, es decir, cuanto más corto sea el período de recuperación de la inversión mejor será el proyecto. (Brealey, 1995).

$$PRI = 2 - \frac{So}{S} \quad (2.51)$$

Donde:

2: Año donde se empieza a ganar (aparece el signo +) en el movimiento de fondo (acumulado).

$So$ : Movimiento de fondo (acumulado) del año donde se obtienen utilidades.

$S$ : Movimiento de fondo del año donde se obtienen utilidades.

## *Capítulo I.I: Metodología de cálculo para el diseño del reactor para la producción de aditivos.*

### **2.6. Conclusiones Parciales.**

**2.6.1.** Se describe el método utilizado en el CEAT para la producción de aditivos.

**2.6.2.** Se presenta la metodología para el diseño de aparatos de la industria química que será utilizada para los cálculos.

**2.6.3.** La metodología de diseño descrita incluye todos los elementos de importancia para el diseño planteado, que persigue poder determinar los costos a partir del material, sus dimensiones y las piezas que conforman el reactor en general.

**2.6.4.** De la descripción de la instalación se infiere la necesidad del diseño de un nuevo reactor, por problemas ambientales y condiciones tecnológicas no adecuadas que posee el reactor instalado.

**2.6.5.** Se describen los cálculos pertinentes para realizar un análisis de factibilidad económica del reactor para producciones futuras con el nuevo diseñado.

### **Capítulo III: Diseño mecánico del reactor de aditivos.**

#### **3.1. Diseño del reactor de aditivos.**

##### **3.1.1. Cálculo de las dimensiones del reactor.**

Para determinar las dimensiones que tendrá el reactor se tuvo en cuenta la capacidad del mismo que dé respuesta a la demanda. Por tanto el equipo a diseñar deberá tener un volumen útil de 1.5 m<sup>3</sup>, propuesto por los especialistas del CEAT. Los cálculos realizados para determinar el cuerpo del reactor fueron tomados del Trabajo de Diploma del Ingeniero Adel Ortega, expuestos a continuación para su previo estudio, dando en el presente trabajo culminación al diseño del reactor con el dimensionamiento del sistema de agitación.

Para aparatos cilíndricos de acero, cuyos cuerpos se hacen de chapas laminadas se toma como básico el diámetro interior en mm (Laschinski, 1988). Donde se escogió para el cuerpo del reactor uno de diámetro D = 1200 mm y el de la envoltura o “camisa” D<sub>1</sub> = 1400 mm.

Para el cálculo del volumen se tiene la ecuación:

$$V_C = (\pi * D^2 / 4) * H$$

Donde:

V<sub>C</sub>: Volumen del cilindro (dato)

D: Diámetro interior

H: Altura del cilindro

Despejando la altura obtenemos:

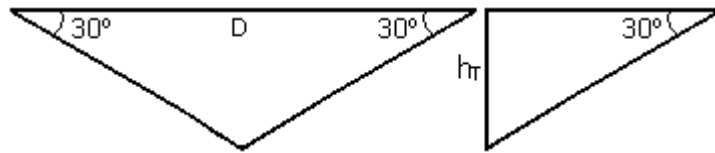
$$H = 4V_C / \pi * D^2$$

Donde V<sub>T</sub> = V<sub>C</sub> = 1.5 m<sup>3</sup>

H = 1.326 m ~ **1.4 m** (Se ajusta la altura para el cálculo)

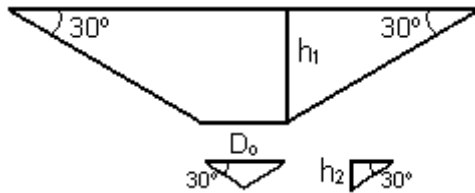
El fondo del aparato será un cono truncado del mismo diámetro del cuerpo cilíndrico con ángulo de 30° como se muestra en la figura 2.3

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*



a) Cono formado en el fondo del

aparato.



b) Cono truncado (Fondo del aparato).

Figura 3.1: Análisis geométrico del fondo cónico.

Por trigonometría se sabe que:

$$\tan 30^\circ = C_{op} / C_{ad}$$

Donde:

$C_{op}$ : Cateto opuesto al ángulo fig. 3.1. a)  $C_{op}$  es ( $h_T$ ) altura total del cono, b)  $C_{op}$  es ( $h_2$ ) altura del cono pequeño que se forma al truncar el cono (a).

$C_{ad}$ : Cateto adyacente al ángulo fig. 3.1. a)  $C_{ad}$  es ( $D/2$ ) radio del aparato, b)  $C_{ad}$  es ( $D_0/2$ ) radio de la boquilla de salida de producto.

Despejando  $C_{op}$  obtenemos:

$$C_{op} = \tan (30^\circ) * C_{ad}$$

Sustituyendo:

$$h_T = \tan (30^\circ) * (D/2)$$

$$h_2 = \tan (30^\circ) * (D_0/2)$$

Donde:

D: Diámetro interior (1200 mm).

$D_0$ : Diámetro boquilla de salida (100 mm).

$$h_T = 346 \text{ mm}$$

$$h_2 = 29 \text{ mm}$$

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

$$h_1 = h_T - h_2$$

$$h_1 = 317 \text{ mm}$$

Volumen de un cono truncado según es:

$$V_{\text{cono}} = 0.2618 h_1 (D^2 + D \cdot D_o + D_o^2) \text{ (Casillas, 1970).}$$

$$V_{\text{cono}} = 0.1302 \text{ m}^3$$

Para la altura de 1.4 m el cilindro tiene un volumen de  $1.58 \text{ m}^3$  es decir que el volumen total del aparato es:

$$V_T = V_C + V_{\text{cono}}$$

$$V_T = 1.71 \text{ m}^3$$

Cálculo para determinar la altura de la columna de líquido.

V que ocupa en el cuerpo cilíndrico = V total a producir – V del fondo cónico

$$V \text{ que ocupa en el cuerpo cilíndrico} = 1.5 - 0.1302 = 1,3698 \text{ m}^3$$

Altura que alcanza este volumen.

$$H = 4V / \pi \cdot D^2 = 4 \cdot 1.3698 / \pi \cdot 1.2^2 = 1.21 \sim \mathbf{1.2 \text{ m.}}$$

Dimensiones del equipo Ver Anexo#: 1.

El volumen total que alcanza el equipo, supera en 900 litros la capacidad del actual reactor que es de 600 litros, es decir, puede producir unos 1500 litros/carga.

### **3.1.2. Principales parámetros para el cálculo del cuerpo del reactor.**

#### **3.1.2.1. Cálculo de la temperatura.**

La temperatura calculada se determinó por la ecuación 2.1 ya que para el cálculo mecánico se utiliza la temperatura máxima a la que estará sometido el material. En este caso se tomará la temperatura del vapor en las condiciones en que lo produce el generador (vapor saturado a 0.5 MPa de presión).

Según (Keenan, et. al, 1969).

$$T_{\text{cal}} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$$

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

### **3.1.2.2. Cálculo de la presión.**

La presión calculada  $P_{cal}$  se determina por la ecuación 2.2, el generador sirve el vapor en el reactor a una presión de 0.5 MPa.

Si  $(P_h / P) * 100\% \leq 5\%$  entonces  $P_{cal} = P$

$P_h$  se determinó la ecuación 2.3.

$$\rho = 1120 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h = 1.517 \text{ m}$$

$$P_h = 0,0167 \text{ MPa.}$$

Analizando la condición:

$(P_h / P) * 100\% \leq 5\%$  tenemos que:

3,33 % < 5% Se cumple la condición por tanto:

$$P_{cal} = P = 0.5 \text{ MPa.}$$

### **3.1.2.3. Selección del material.**

Como el reactor químico donde se obtienen los aditivos está construido de acero aleado al cromo-níquel austenítico debido a las sustancias corrosivas que en el reaccionan se hace necesario seleccionar el mismo material. Este reactor será construido mayormente por procesos de conformado, pasando a jugar un papel importante la soldadura y su calidad. Se selecciona el acero 12X18H10T según la norma GOST equivalente en la AISI al acero 318. El cual es un material con un 12 % de Ni, 18 % Cr y 1 % de Ti. No es un material barato pero el proceso lo exige, se encuentra en el mercado nacional de fácil acceso ya que es demandado por la industria alimenticia, además presenta muy buena soldabilidad dado su contenido de Ti que lo hace resistente a la corrosión intercrystalina.

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

### **3.1.2.4. Cálculo de las tensiones admisibles del Acero-318 AISI.**

La tensión admisible para el estado de trabajo es:  $[\sigma]$

$$\sigma = 160 \text{ MPa}$$

$$\sigma^* = 146 \text{ MPa}$$

Calculando por la ecuación 2.5. Obtenemos:

$$[\sigma] = n \cdot \sigma^*$$

Donde:  $n = 1.04$  por tratarse de planchas laminadas.

Realizando la operación se obtiene.

$$[\sigma] = 152 \text{ MPa}$$

La tensión admisible para las condiciones de prueba es:  $[\sigma]_{pr}$  se calcula con la ecuación 2.6. Para las pruebas hidráulicas.

$$[\sigma]_{pr} = \sigma_{fl.20} / 1.1$$

Donde:  $\sigma_{fl.20} = 240 \text{ MPa}$

Efectuando tenemos.

$$[\sigma]_{pr} = 218.2 \text{ MPa}$$

Calculando la presión de prueba  $P_{pr}$  la ecuación 2.4. Obtenemos:

$$P_{pr} = 0.79 \text{ MPa}$$

### **3.1.2.5. Modulo de elasticidad longitudinal.**

El módulo de elasticidad longitudinal para los aceros aleados es:

$$E = 2.15 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

### **3.1.2.6. Coeficiente de resistencia de las uniones soldadas.**

Atendiendo a la estructura y procedimiento de unión que se prevé para el reactor, se tiene que el coeficiente de resistencia de las uniones soldadas es:

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

$\varphi = 0.95$  para soldadura eléctrica al arco manual.

### **3.1.2.7. Determinación de los coeficientes de adición para los espesores calculados.**

Es preciso adicionar un sobreespesor (C) para los espesores calculados debido a que es necesario que el reactor sea un equipo confiable en un período de 10 años, período al que estará sometido a la influencia de un medio altamente agresivo, si de corrosión se trata.

Este espesor se adiciona por la ecuación 2.7.

Donde tenemos que:

$$C1 = V_{\text{corr}} * t_{\text{ser}} + C_{\text{er}}$$

$$C1 = 1.24 \text{ mm}$$

$$V_{\text{corr}} = 0.0049 \text{ in/year} = 0.124 \text{ mm/año} \quad (\text{Perry, 2007})$$

$$t_{\text{ser}} = 10 \text{ años}$$

$C_{\text{er}} = 0\text{mm}$ , por no haber grandes flujos de fluidos

C2: no se considerará debido a su valor tan pequeño.

C3: Es la adición tecnológica que para equipos laminados es igual a 0.

Por tanto:  $C = C1 = 1.24 \text{ mm}$

### **3.1.2.8. Envoltente cilíndrica cargada con la presión excesiva exterior.**

#### **3.1.2.8.1. Determinación del espesor de pared.**

El espesor de la pared S se calcula por la ecuación 2.10.

$$S \geq S_{\text{cal}} + C$$

$S_{\text{cal}}$ : Es el espesor calculado para el cilindro ecuación 2.9.

$$S_{\text{cal}} = \text{máx.} \{ K_2 * D * 10^{-2}; 1.1P_{\text{cal}} * D / 2 [\sigma] \}$$

Donde:

$$K_2 = f(K_1; K_3)$$



## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

$$K_1 = N_{est} \cdot P_{cal} / 2.4 \cdot 10^{-6} \cdot E$$

$$K_3 = L_{cal} / D$$

Para condiciones de trabajo  $N_{est} = 2.4$  Por tanto sustituyendo los valores en la ecuación de  $K_1$  se obtiene:

$$K_1 = 2.33$$

Con arreglo a la figura 2.1 se tiene que la longitud calculada es:

$$L_{cal} = L_c + H13 + D / 3 \tan \alpha$$

Donde:

$$H13 = 10 \text{ mm}$$

Sustituyendo se obtiene:

$$L_{cal} = 1640.9 \text{ mm}$$

Por tanto:

$$K_3 = 1.36$$

Con los valores de  $K_1$  y  $K_3$  se halla  $K_2$ , (Laschinski, 1988).

$$K_2 = f(K_1; K_3) = 0.73$$

Efectuando la ecuación 2.9 obtenemos:

$$K_2 \cdot D \cdot 10^{-2} = 8.76 \text{ mm}$$

$$1.1 P_{cal} \cdot D / 2 [\sigma] = 2.26 \text{ mm}$$

Como  $(8.76 > 2.26)$  el valor de  $S_{cal}$  es 8.76 mm.

$$S \geq S_{cal} + C$$

$$S \geq 10 \text{ mm}$$

Normalizando:  $S = 10 \text{ mm}$

### **3.1.2.8.2. Determinación de las presiones admisibles para las condiciones de trabajo y de prueba.**

- Sobre la base de la resistencia mecánica.

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

$$[P]_{\sigma} = 2[\sigma] \cdot (S-C) / D + S - C$$

$$[P]_{\sigma pr} = 2[\sigma]_{pr} \cdot (S-C) / D + S - C$$

Sustituyendo tenemos:

$$[P]_{\sigma} = 2.2 \text{ MPa}$$

$$[P]_{\sigma pr} = 3.16 \text{ MPa}$$

➤ Sobre la base de la estabilidad geométrica del cuerpo. Hay que tener en cuenta si es una envolvente larga o corta, a partir de la longitud crítica ( $L_0$ ). Ecuación 2.16.

Sí:  $L > L_0$  C. largo;  $L \leq L_0$  C. corto

$$L_0 = 8.15 \cdot D \sqrt{\frac{D}{100(S-C)}}$$

Sustituyendo los valores obtenemos:

$L_0 = 11\,446 \text{ mm} > L$  Envolvente corta. Por tanto para calcular la presión admisible partiendo de la condición de estabilidad se aplica la ecuación 2.17, tanto para las condiciones de trabajo como las de prueba.

Donde se obtiene:

$$[P]_E = 0.63 \text{ MPa}$$

$$[P]_{Epr} = 0.84 \text{ MPa}$$

Por la ecuación 2.19 obtenemos que:

$$[P] = 0.61 \text{ MPa}$$

$$[P]_{pr} = 0.81 \text{ MPa}$$

Con estos resultados se puede verificar la condición de resistencia tanto para condiciones de trabajo como de prueba:

$$P_{cal} \leq [P] \quad ; \quad P_{pr} \leq [P]_{pr}$$

$$0.5 \text{ MPa} < 0.61 \text{ MPa} \quad ; \quad 0.79 \text{ MPa} < 0.81 \text{ MPa}$$

Se cumple la condición de resistencia, lo que indica que el cilindro interior puede construirse con espesores de 10 mm o mayor.

## Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.

### 3.1.2.9. Envoltente cilíndrica cargada con la presión excesiva interior.

#### 3.1.2.9.1. Determinación del espesor de pared.

$$S_{cal} = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_{cal} \cdot D}{2\varphi \cdot [\sigma] - P_{cal}} \\ \frac{P_{pr} \cdot D}{2\varphi \cdot [\sigma]_{pr} - P_{pr}} \end{array} \right.$$

$$S_{cal} = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} 2.42 \text{ mm} \\ 3.84 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$S \geq S_{cal} + C = 3.84 \text{ mm}$$

Como en la camisa del reactor lo que circula es vapor de agua para este acero la velocidad de corrosión es muy baja por lo que no se tiene en cuenta.  $C = 0$ .

Por tanto:

Normalizado:  $S = 6 \text{ mm}$

Se normaliza a un espesor de chapa bastante mayor que el obtenido por el cálculo debido a que en él se encontrarán los soportes que estarán sosteniendo al equipo. Esto trae consigo que la pared del cilindro tenga que soportar un mayor peso.

#### 3.1.2.9.2. Determinación de las presiones admisibles para las condiciones de trabajo y de prueba.

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi(S - C)}{D + S - C} = 1.23 \text{ MPa}$$

$$[P]_{pr} = \frac{2[\sigma]_{pr} \cdot \varphi(S - C)}{D + S - C} = 1.77 \text{ MPa}$$

Para comprobar la resistencia mecánica del tambor, se tiene que cumplir la siguiente condición. (Laschinski, 1988).

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

$$P_{cal} \leq [P] \quad ; \quad P_{pr} \leq [P]_{pr}$$

$$0.5 \text{ MPa} < 1.23 \text{ MPa} \quad ; \quad 1.79 \text{ MPa} < 1.77 \text{ MPa}$$

Se cumple la condición de resistencia, lo que indica que el cilindro exterior puede construirse con espesores de 6 mm o mayor.

### **3.1.2.10. Fondo cónico cargado con la presión excesiva exterior.**

#### **3.1.2.10.1. Determinación del espesor de la pared.**

$$S_{cal} = \text{máx.} \{K_2 \cdot D_E \cdot 10^{-2}; 1.1P_{cal} \cdot D_E / 2 [\sigma]\}$$

$$S \geq S_{cal} + C$$

Donde: Para el mismo espesor del cilindro interior  $S = 10 \text{ mm}$  y al estar sometido a las mismas sustancias  $C = 1.24 \text{ mm}$ .

$$D_E = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} \frac{D+D_o}{2\cos\alpha} \\ \frac{D}{\cos\alpha} - 0.31(D + D_o) \cdot \sqrt{\frac{D+D_o}{100(S-C)}} \cdot \tan \alpha \end{array} \right.$$

$$D_E = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} 1100 \text{ mm} \\ \underline{1550 \text{ mm}} \end{array} \right.$$

$$K_2 = f(K_1; K_3)$$

$$K_1 = N_{est} \cdot P_{cal} / 2.4 \cdot 10^{-6} \cdot E$$

$$K_3 = L_E / D_E$$

Para condiciones de trabajo  $N_{est} = 2.4$  Por tanto sustituyendo los valores en la ecuación de  $K_1$  se obtiene:

$$K_1 = 2.33$$

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

Para calcular  $L_E$  se utiliza la ecuación 2.25 con arreglo de la figura 2.2.

$$L_E = D - D_o / 2 \text{sen } \alpha$$

Donde:  $\alpha = 60^\circ$

Sustituyendo obtenemos:

$$L_E = 635 \text{ mm}$$

Entonces:

$$K_3 = 0.4$$

$$K_2 = f(K_1; K_3) = 0.45$$

$$S_{\text{cal}} = \text{máx. } \{6.98; 2.92\}$$

$$S \geq 6.98 + 1.24 = 8.22 \text{ mm}$$

Normalizando:  $S = 10 \text{ mm}$

### **3.1.2.10.2. Determinación de la presión admisible para las condiciones de trabajo y de prueba.**

Se calculará  $[P]_\sigma$  para las condiciones de trabajo y condiciones de prueba por esta ecuación 2.27.

$$[P]_\sigma = \frac{2[\sigma] \cdot (S - C)}{\frac{D}{\cos \alpha} + (S - C)}$$

$$[P]_{\sigma pr} = \frac{2[\sigma]_{pr} \cdot (S - C)}{\frac{D}{\cos \alpha} + S - C}$$

Sustituyendo tenemos:

$$[P]_\sigma = 1.1 \text{ MPa}$$

$$[P]_{\sigma pr} = 1.59 \text{ MPa}$$

Sí:  $L_E \leq 8.15 \cdot D_E \sqrt{\frac{DE}{100(S-C)}}$  se haya  $[P]_E$  por la ecuación (2.28), sino por la (2.29)

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

$$L_E \leq 8.15 \cdot D_E \sqrt{\frac{DE}{100(S-C)}}$$

635 mm < 16 803 mm. Se cumple por tanto se haya  $[P]_E$  por la ecuación (2.28) tanto para las condiciones de trabajo como las de prueba.

Donde:

$$[P]_E = 0.94 \text{ MPa}$$

$$[P]_{Epr} = 1.26 \text{ MPa}$$

Por la ecuación 2.19 obtenemos que:

$$[P] = 0.71 \text{ MPa}$$

$$[P]_{pr} = 0.99 \text{ MPa}$$

$$P_{cal} \leq [P] \quad ; \quad P_{pr} \leq [P]_{pr}$$

$$0.5 \text{ MPa} < 0.71 \text{ MPa} \quad ; \quad 0.79 \text{ MPa} < 0.99 \text{ MPa}$$

Se cumple la condición de resistencia, lo que indica que el fondo interior puede construirse con espesores de 10 mm o mayor.

### **3.1.2.11. Fondo cónico cargado con la presión excesiva interior.**

#### **3.1.2.11.1. Determinación del espesor de la pared.**

$$S_{cal} = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_{cal} \cdot D}{(2\varphi \cdot [\sigma] - P_{cal}) \cdot \cos\alpha} \\ \frac{P_{pr} \cdot D}{(2\varphi \cdot [\sigma]_{pr} - P_{pr}) \cdot \cos\alpha} \end{array} \right.$$

$$S_{cal} = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} 4.85 \text{ mm} \\ \underline{5.34 \text{ mm}} \end{array} \right.$$

$$S \geq S_{cal} + C = 5.34 \text{ mm}$$

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

Como en la camisa del reactor lo que circula es vapor de agua para este acero la velocidad de corrosión es muy baja por lo que no se tiene en cuenta.  $C = 0$ .

Por tanto:

Normalizado:  $S = 6 \text{ mm}$

### **3.1.2.11.2. Determinación de la presión admisible para las condiciones de trabajo y de prueba.**

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi(S - C) \cdot \cos \alpha}{D + (S - C) \cdot \cos \alpha} = 0.62 \text{ MPa}$$

$$[P]_{pr} = \frac{2[\sigma]_{pr} \cdot \varphi(S - C) \cdot \cos \alpha}{D + (S - C) \cdot \cos \alpha} = 0.89 \text{ MPa}$$

$$P_{cal} \leq [P] \quad ; \quad P_{pr} \leq [P]_{pr}$$

$$0.5 \text{ MPa} < 0.62 \text{ MPa} \quad ; \quad 0.79 \text{ MPa} < 0.89 \text{ MPa}$$

Se cumple la condición de resistencia, lo que indica que el fondo exterior puede construirse con espesores de 6 mm o mayor.

Para el reactor se propone una tapa cónica igual que el fondo de este de igual espesor  $S = 10 \text{ mm}$  y los mismos ángulos.

### **3.1.2.12. Selección de bridas.**

Las bridas tanto para los tubos y sus accesorios como para el aparato se seleccionaron del mismo material con que se construirá el reactor Acero-318 AISI con el objetivo de no incurrir en un problema de diseño anticorrosivo por par metálico.

Para tubos y sus accesorios se seleccionaron bridas de acero soldadas con lengüeta de unión:

Para tubos de 100 mm de diámetro:

- Brida 1-100-2.5 GOST 12820-80.

Para tubos de 200 mm de diámetro:

## *Capítulo I.I.I. Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

- Brida 1-200-2.5 GOST 12820-80.

Ver Anexo. 3

Para el aparato, se seleccionó una brida plana de acero soldada con lengüeta de unión:

- Brida 1200-3-150 OST 26-426-79.

Ver Anexo. 4

### **3.1.2.13. Selección de las boquillas.**

Las boquillas son muy necesarias en la industria para el acople de líneas tecnológicas, se tomó como referencia el equipo que ya existe en la planta.

Se seleccionaron boquillas.

Para tubos de 100 mm de diámetro:

- Boquilla 100-06-200-12X18H10T-10 GOST 261404-76

Para tubos de 200 mm de diámetro:

- Boquilla 200-06-200-12X18H10T-10 GOST 261404-76

El reactor debe constar con:

- Boquillas de entrada y salida del vapor a la camisa con diámetro de 25 mm.
- Boquilla de entrada de agua por la tapa, con diámetros de 25 mm.
- Boquilla de entrada de formaldehído por la tapa, con diámetro de 25 mm.
- Boquilla de entrada de ácido sulfúrico por la tapa, con diámetro de 12.5 mm.
- Boquilla de entrada de sosa cáustica por la tapa, con diámetro de 12.5 mm.
- Boquilla de descompresión de vapor en la camisa con diámetro de 25 mm.
- Boquilla de descompresión del cuerpo por la tapa con diámetro de 50 mm.
- Escotilla en la tapa con diámetro de 200 mm.
- Boquilla de evacuación en el fondo cónico del aparato con diámetro de 100 mm.

Después de este análisis se decidió que solo se deben normalizar las boquillas de 100mm y 200mm. Las otras se instalarán directamente de las tuberías



## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

### **3.1.2.13.1. Reforzamiento de orificios.**

Como no existe un diseño de planta elaborado se colocarán las boquillas de manera tal que cumplan con la condición de aislamiento y en el futuro se ajustan las líneas al equipo.

Mediante la siguiente condición se determinara si es necesario reforzar los orificios aislados.

$$d_o = 2 \left[ \left( \frac{S - C}{Scal} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{cal}(S - C)} - Cb \right]$$

Sí:

$d \leq d_o$  No se necesita reforzar.

$d > d_o$  Se necesita reforzar.

Donde:

En la tapa:

Como el diámetro mayor que se abrirá en la tapa es el de la escotilla, se tomará como referencia para la comprobación.

$d = 200$  mm

$Scal = 4.85$  mm

$S = 10$  mm.

$Cb = 1.24$  mm.

Para fondos y tapas cónicos:

$$D_{cal} = \frac{D_c}{\cos \alpha}$$

$D_c = 800$  mm obtenido por dibujo.

Por tanto:

$D_{cal} = 1600$  mm

Aplicando la ecuación para la condición de reforzamiento obtenemos:

$d_o = 235.76$  mm  $>$   $d = 200$  mm. Por tanto no se necesita reforzar.

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

En la camisa:

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$Scal = 3.84 \text{ mm}$$

$$S = 6 \text{ mm.}$$

$$Cb = 0 \text{ mm.}$$

$$D_{cal} = 1400 \text{ mm}$$

Aplicando la ecuación para la condición de reforzamiento obtenemos:

$$d_o = 139.77 \text{ mm} > d = 25 \text{ mm. } \underline{\text{Por tanto no se necesita reforzar.}}$$

En el fondo:

$$d = 100 \text{ mm}$$

$$Scal = 6.98 \text{ mm}$$

$$S = 10 \text{ mm.}$$

$$Cb = 10 \text{ mm.}$$

$$D_{cal} = \frac{D_c}{\cos \alpha}$$

$D_c = 100 \text{ mm}$  Diámetro del orificio.

Calculando:

$$D_{cal} = 200 \text{ mm}$$

Aplicando la ecuación para la condición de reforzamiento obtenemos:

$$d_o = 35.61 \text{ mm} < d = 100 \text{ mm. } \underline{\text{Por tanto se necesita reforzar.}}$$

Utilizando entonces la condición de resistencia se verifica si solo soldando la boquilla al cuerpo es suficiente para reforzar el orificio:

$$\left[ (l1_{cal} + S_{rcal} + S - Scal - C) \cdot (Sb - S_{bcal} - Cb) + l2_{cal} \cdot (Sb - 2Cb)\gamma_1 + \sqrt{D_{cal}(S_{rcal} + S - C)} \cdot (\gamma_2 \cdot S_{rcal} + S + Scal - C) \right] \geq 0.5(d_{cal} - d_{ocal}) \cdot Scal$$

Teniendo en cuenta para el cálculo:

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

$$S_{\text{rcal}} = 0; l_{2\text{cal}} = 0$$

$$l_{1\text{cal}} = 200 \text{ mm}$$

$$S = 10 \text{ mm}$$

$$S_{\text{cal}} = 8.76 \text{ mm}$$

$$C = 1.24 \text{ mm}$$

$$S_b = 5 \text{ mm}$$

$$S_{\text{bcall}} = 0.85 \text{ mm}$$

$$C_b = 1.24 \text{ mm}$$

$$d_{\text{cal}} = d + 2C_b = 102.48 \text{ mm}$$

$$d_{\text{ocal}} = 0.4\sqrt{D_{\text{cal}}(S - C)} = 16.74 \text{ mm}$$

Efectuando la ecuación de condición obtenemos:

MI:

$$\left[ (l_{1\text{cal}} + S - S_{\text{cal}} - C) \cdot (S_b - S_{\text{bcall}} - C_b) + \sqrt{D_{\text{cal}}(S - C)} \cdot (S - S_{\text{cal}} - C) \right] = 503.5 \text{ mm}$$

MD:

$$0.5(d_{\text{cal}} - d_{\text{ocal}}) \cdot S_{\text{cal}} = 299.4 \text{ mm}$$

$$MI = 503.5 \text{ mm} > MD = 299.4 \text{ mm}$$

Por tanto, solo soldando la boquilla al fondo es suficiente para reforzar el orificio.

### **3.1.2.14. Selección de los soportes de los aparatos.**

Al determinar la carga sobre las patas de apoyo, que actúan sobre el aparato que reducen a la fuerza axial P y al momento M respecto a la superficie de apoyo de la pata. La fuerza axial P estará determinada por el peso total que deberán soportar los apoyos. En este caso se concluye que P es igual al peso total del equipo.

Se determinaron los volúmenes de los principales cuerpos de acero que componen al aparato mediante cálculos geométricos.

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

El volumen de los principales cuerpos de acero que componen al aparato, fueron determinados por los siguientes cálculos.

Volumen de acero de los cuerpos cilíndricos:

$$V_{ac} = \pi * D * H * S$$

Donde:

D: Diámetro del cilindro interior = 1.2 m

D: Diámetro del cilindro exterior = 1.4 m

H: Altura del cilindro interior = 1.4 m

H: Altura del cilindro exterior = 1.3 m

S: Espesor de la pared del cilindro interior = 0.01 m

S: Espesor de la pared del cilindro exterior = 0.006 m

Efectuando la operación tenemos:

$$\text{Volumen de acero del cilindro interior } (V_{C \text{ int}}) = 0.0528 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de acero del cilindro exterior } (V_{C \text{ ext}}) = 0.0343 \text{ m}^3$$

Volumen de acero de los fondos y tapa cónicos:

$$V (\text{cono truncado}) = 0.2618 * h(D^2 + Dd + d^2)$$

$$V_{ac} = V (\text{cono truncado})_{\text{ext}} - V (\text{cono truncado})_{\text{int}}$$

Donde:

D: Diámetro de la base del cono interior (fondo y tapa) = 1.2 m

D: Diámetro de la base del cono exterior = 1.4 m

d: Diámetro pequeño del cono truncado en ambos casos (fondo interior y exterior)= 0.1m

d: Diámetro pequeño del cono truncado en la tapa = 0.4m

h: Altura del fondo interior = 0.317 m

h: Altura del fondo exterior = 0.375 m

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

h: Altura de la tapa = 0.231 m

Los diámetros exteriores de los fondos y tapa se determinaron:

$$D_{\text{ext}} = D + 2S$$

Donde:

S: Espesor

Calculando obtenemos:

Volumen de acero del fondo cónico interior = 0.0066 m<sup>3</sup>

Volumen de acero del fondo cónico exterior = 0.0054 m<sup>3</sup>

Volumen de acero de la tapa cónica = 0.0059 m<sup>3</sup>

Para un volumen total de acero = 0.105 m<sup>3</sup>

Datos:

Densidad de la sustancia = 1140 kg/m<sup>3</sup>

Densidad del acero = 7800 kg/m<sup>3</sup>

g: Aceleración de la gravedad = 9.81m/s<sup>2</sup>

V: Volumen del reactor = 1.5 m<sup>3</sup>

Peso del equipo = 1.05 (V<sub>ac</sub> \* ρ<sub>ac</sub> \* g) = 8 034.39 N

Peso de la sustancia = V \* ρ<sub>sust</sub> \* g = 16 775.1 N

Peso total del equipo = Peso del equipo + Peso de la sustancia = 24 809.1N

Carga sobre cada soporte:

Cantidad de soportes 3

Q = Peso total del equipo / 3 = 8 269.7 N = 8.27 kN

Normalizado Q = 10 kN

Se selecciona el soporte: Soporte 3-1000 OST 26-665-79

Ver Anexo. 5

## *Capítulo I.I.I. Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

$$e = 0,5 (b + f \text{ máx.} + S_{\text{cal.camisa}} + Sp) = 151.92 \text{ mm}$$

$$K_2 = f (D/2S_{\text{cal}} ; h/d) = 0.6$$

$$\sigma_{fl} = K_2 (Q \cdot e / h \cdot S_{\text{cal}}^2) = 415.94$$

$$M = Q \cdot f = 0.00105$$

$$\sigma_o = \text{máx.} \begin{cases} \frac{P \cdot D}{4S_{\text{cal}}} + \frac{4M}{\pi D^2 S_{\text{cal}}} = 54.49 \text{ MPa} \\ \frac{P \cdot D}{2S_{\text{cal}}} = 108.3 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma_m = \sigma_o - K_1 (Q \cdot e / D \cdot S_{\text{cal}}^2) = 10.55 \text{ MPa}$$

Condición de resistencia:

$$\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_f}\right)^2 + \frac{0.8}{1} \cdot \frac{\sigma_{fl}}{\sigma_f} \leq 1$$

Donde:

$$\sigma_f = 219 \text{ MPa}$$

Calculando tenemos que:

1.52 > 1 No se cumple por lo que hay que poner placa superpuesta.

*Tabla. 3.1 Dimensiones de la placa superpuesta.*

Q (kN)	Tipo	B	H	C	Sp
10.0	2	150	310	12	6

Placa superpuesta 2-1000-6 OST 26665-79.

### 3.2. Diseño del sistema de agitación del reactor de aditivos.

#### 3.2.1. Cálculo de la potencia para lograr la mezcla.

$$\text{Siendo } n = \frac{\text{rev}}{s} = \frac{120 \cdot \pi}{180} = 2.33 \frac{1}{s}$$

$$d = \text{diámetro de la paleta} = \frac{d}{D} = 0.66$$

## Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.

$$\rho_{mez} = 1120.16 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\mu_{mez} = 0.95cp = 0.95 * 10^{-3}pa * s$$

En la tabla VI  $\Rightarrow d=0.66*1.2=0.792m$

Sustituyendo en la fórmula (2.33) capítulo II.

$$Rem = \frac{2.33 * (0.792)^2 * 1120.16}{0.95 * 10^{-3}} = 1.71 * 10^5$$

Planteando en el diagrama de la figura #VI, un  $Rem=1.71*10^5$  y la curva 2, correspondiente a dos paletas y dos tabiques de reflexión se obtiene  $Kn=0.6$ . Según la fórmula (2.34) capítulo II.

$$N = Kn * \rho * n^3 * d^3 = 0.6 * 1120.16 * (2.33)^3 * (0.792)^5$$

$$N = 2435W$$

Tomaremos la potencia de 2435 w, para tener en cuenta la necesaria para romper la inercia, vencer la fricción en los rodamientos y la agitación de la mezcla, la cual en condiciones reales tiene la resistencia de los tabiques deflectores.

### 3.2.2. Cálculo para determinar la paleta de agitación del reactor.

Según la fórmula:

$$W \text{ siendo } n = \frac{rev}{min} = \frac{120*\pi}{180} = 2.33 \frac{1}{s} \text{ Material Ac-CT3 } [\sigma]=148mpa$$

$$(MT) = \frac{2435}{2.33} = 1131N * m$$

En el diseño utilizamos un agitador de 2 paletas y 4 tabiques de deflexión que de acuerdo a la mezcla es lo que se recomienda (VI.1 AG. Kasatkin.)

Cálculo de las dimensiones de las paletas

$$b=0.1*D=0.1*1200=120mm$$

$$d=0.66*D=0.66*1200=792mm$$

$$P = \frac{Mt}{d} = \frac{1131 * 10^3}{0.792} = 1428N$$

## Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.

$$\sigma = \frac{Mf}{W_x} \leq [\sigma]$$

$$\sigma = \frac{Mf}{\frac{b * s^2}{6}} = [\sigma]$$

$$s = \sqrt{\frac{6 * P * .346}{b[\sigma]}}$$

$$s = \sqrt{\frac{6 * 1428 * 346}{120 * 148}} = 12.9\text{mm} = 13\text{mm}$$

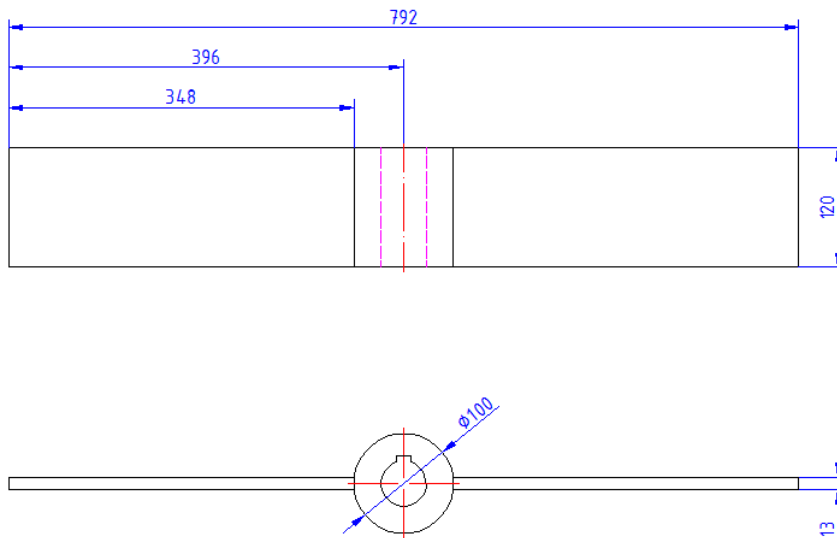


Fig.3.2: Dimensiones de la paleta.

Tomamos  $s=13\text{mm}$

### 3.2.3. Cálculo preliminar del árbol.

Material Ac-45  $[\tau]= 160\text{mpa}$

$$\tau = \frac{Mt}{W_o} \leq [\tau] \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{Mt}{0.2 * [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{1131 * 10^3}{0.2 * 160}} = 33\text{mm}$$

Dimensionamiento del árbol (Ver anexo 6)



## Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.

### 3.2.4. Determinación de las chavetas.

Chaveta de la paleta y del acoplamiento que son Ø45mm y Ø40mm respectivamente;

Para la chaveta de Ø45mm,

$$b=14; h=9; t=4; \text{mat Ac 20. } [\tau] = 87\text{MPa}, [\sigma_{ap}] = 150\text{MPa} \quad \text{nc 06-21}$$

$$l \geq \frac{2 * Mt}{b * d * [\tau]} = \frac{2 * 1131 * 10^3}{14 * 45 * 87} = 41.26 \text{ mm}$$

$$l = \frac{4 * Mt}{d * h * [\sigma_{ap}]} = \frac{4 * 1131 * 10^3}{45 * 9 * 150} = 74.5 \text{ mm}$$

$l_T = 74.5 + 14 = 88.5$  Por tanto se normaliza según la tabla número 4 de la altura del cubo de 90mm es suficiente. (Fernández, O. 2012)

$$L \text{ normalizada } l = 90\text{mm}$$

Se obtuvo como resultado en la chaveta calculada una longitud de 90 mm que también satisface para el diámetro de 45 mm.

La altura del cubo es suficiente con 120mm.

Para la chaveta de Ø40mm,

$$b=12; h=8; t=3.6; \text{mat Ac 20. } [\tau] = 87\text{MPa}, [\sigma_{ap}] = 150\text{MPa} \quad \text{nc 06-21}$$

$$l \geq \frac{2 * Mt}{b * d * [\tau]} = \frac{2 * 1131 * 10^3}{12 * 40 * 87} = 54.16 \text{ mm}$$

$$l = \frac{4 * Mt}{d * h * [\sigma_{ap}]} = \frac{4 * 1131 * 10^3}{40 * 8 * 150} = 94.25 \text{ mm}$$

$l_T = 94.25$  Por tanto se normaliza según la tabla número 4 de la altura del cubo de 95mm es suficiente. (Fernández, O. 2012)

$$L \text{ normalizada } l = 95\text{mm}$$

Se obtuvo como resultado en la chaveta calculada una longitud de 95 mm que también satisface para el diámetro de 40 mm.

La altura del cubo es suficiente con 120mm.

## Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.

### 3.2.5. Selección de los cojinetes.

T=2 años

N=120rpm

$\emptyset=45$

$$C_n = L^{\frac{1}{p}} * P = \text{donde} \quad L = \frac{60nLh}{10^6} = \frac{60*120*2*8*180}{10^6} = 20.7$$

$$C_n = 20.7^{\frac{1}{3}} * 1420 = 3899 \text{ N}$$

Se selecciona el rodamiento de bolas 6009, que tiene: d=45mm; D=75mm, CN=20800; s=16mm y se diseña con el dimensionamiento de las partes que componen esta pieza para ser colocada en el árbol. Véase Fig.3.3 y anexos #7 y #8.

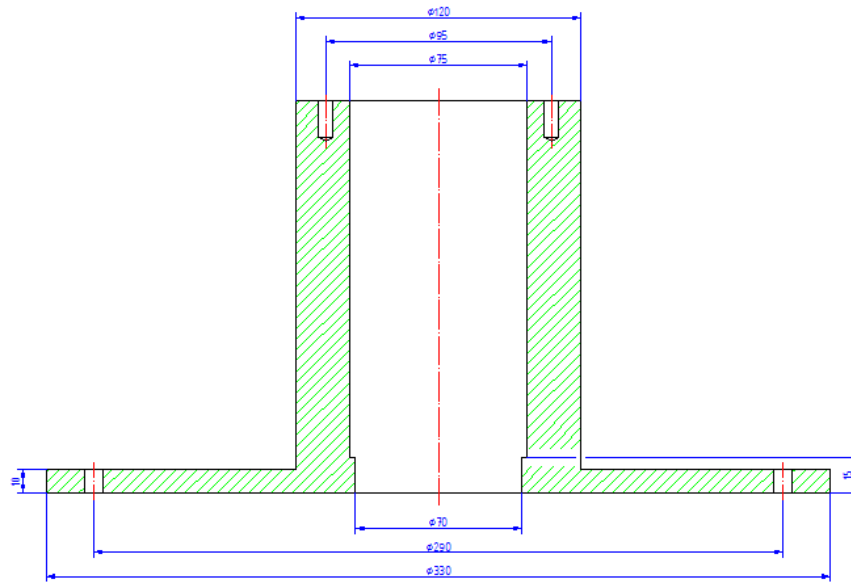


Fig.3.3: Camisa de los rodamientos.

### 3.2.6. Diseño de la paleta y su cubo.

Comprobación del diámetro exterior del cubo de la paleta.

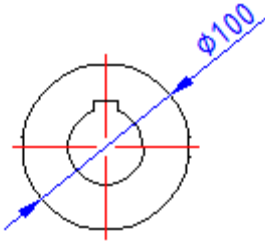


Fig.3.4: Cubo de la paleta

Para el eje  $\varnothing 100 \left( \begin{smallmatrix} +0.25 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$

Apriete máximo = +11mm

### 3.2.7. Apriete máximo una vez montado.

$$p_{max} = \frac{\delta \text{ max real} * 10^{-3}}{d \left( \frac{c1}{E1} + \frac{c1}{E2} \right)}$$

$$= \frac{\delta \text{ max real}}{d \left( \frac{c1 + c2}{E} \right)} Z1 = \frac{18 * 10^{-3}}{45 \left( \frac{0.7 + 1.8}{2.1 * 10^5} \right)} = 33.6 \text{ mpa}$$

$$C1 = \frac{d^2 + d1^2}{d^2 - d1^2} - \mu1 \quad \text{Como } d1=0 \quad C1 = 1 - \mu1 = 1 - 0.3$$

$$C1 = 0.7$$

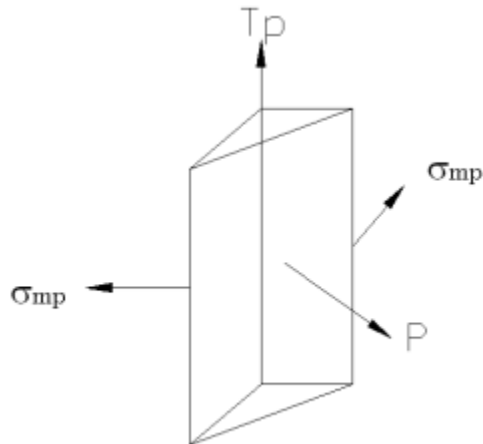
$$C2 = \frac{d2^2 + d^2}{d2^2 - d^2} + \mu2 = \frac{100^2 + 45^2}{100^2 - 45^2} + 0.3 = 1.8$$

$$\sigma_{eq} \leq [\sigma]_t$$

$$\sigma_{eq} = p \frac{2 * d_2^2}{d_2^2 - d^2} = 36.6 * \frac{2 * 100^2}{100^2 - 45^2} = 84.20 \text{ mpa}$$

$$\sigma_{eq} = 84.20 \text{ mpa} < [\sigma]_t = 125 \text{ mpa}$$

**3.2.8. Comprobación de la soldadura**



*Fig.3.5: Comprobación de la soldadura.*

$$\tau_p = \frac{p}{0.7 * a * l} \leq [\tau]$$

$$\tau \geq \frac{1428}{(0.7 * 4.120)} = 1.96 MPa$$

$$[\tau] = \varphi * [\tau_t]$$

$$= 0.6 * 125$$

$$= 75 mpa$$

$$\tau_m = \frac{P * l_p}{Wx'} = \frac{1428 * 346}{5646} = 87 MPa$$

$$Wx' = \frac{Ix1'}{y_{max}} = \frac{152 * l}{9.1} = \frac{55328}{9.1} = 5646 mm^3$$

Donde,

$$y_{max} = \frac{S}{2} + 0.7 * a = \frac{14}{2} + 0.7 * 4 = 9.8 mm$$

$$Ix1' = 2 * [Ix + (0.5 * a + \frac{S}{2})^2 * (0.7 * a * l)]$$

$$Ix1' = 2 * [\frac{0.7 * a^3 * l}{12} + (0.5 * a + \frac{S}{2})^2 * (0.7 * a * l)]$$

$$Ix1' = 2 * [448 + 81 * 336]$$

$$Ix1' = 55328 mm^4$$

Al comprobar se obtiene:

$$[\sigma] = 0.9 * 125$$

$$= 112.5 \text{ mpa}$$

Se realiza la soldadura en ambas caras con LT =80mm

### 3.2.9. Determinación de la presilla que sujeta la paleta al árbol.

Para determinar el tipo de presilla según la norma GOST descrita en el libro: Atlas de diseño de elementos de máquinas, se debe utilizar un anillo de presión para la fijación de rodamientos del eje en un diámetro de 35mm con las dimensiones siguientes:

D de la ranura= 33mm

Ancho= 1.7

Separación entre la ranura y el final del eje=10mm

### 3.2.10. Determinación del preñse.

La función principal de esta pieza es evitar escapes tanto de gases como del producto existente en el interior del reactor. Su diseño se basa fundamentalmente en el dimensionamiento de sus partes. Véase anexo #10: a, b, c y figuras 3.6 y 3.7.

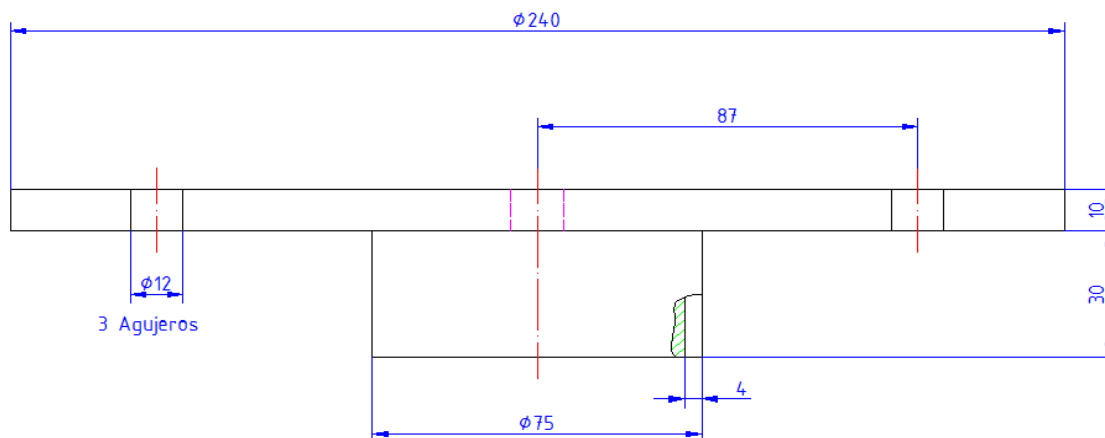


Fig.3.6: Preñse superior.

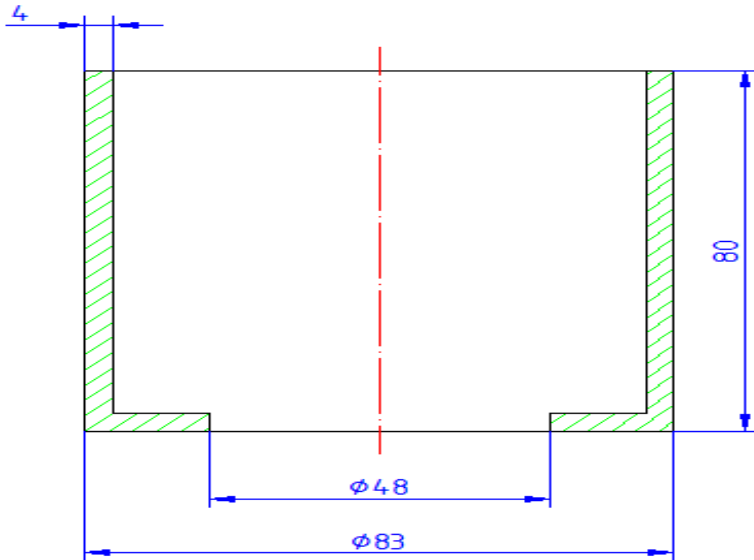


Fig. 3.7: Prese inferior.

### 3.2.11. Tapa de los rodamientos

Su función principal es evitar que los rodamientos se desplacen, su diseño está basado en el diámetro exterior y la posición de los tornillos juega con la pieza donde se colocan los rodamientos. Vea el anexo#7 con las dimensiones

### 3.2.12. Determinación del acoplamiento.

Se determinó siguiendo las indicaciones presentes en el libro Manual complementario en la página 141, donde se recomienda para diámetros de 40mm un acoplamiento de bridas.

### 3.2.13. Selección del motor reductor.

En este caso se utiliza el motor reductor que se encuentra presente en la Planta Piloto con el cual anteriormente se trabajaba en la obtención de aditivo, ya que este se encuentra en buen estado y sus características están en correspondencia con el reactor que se está diseñando.

- **Características:**

Motor Asíncrono Trifásico.

Potencia: 2.5kW

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

Número de revoluciones: 1400, (por las propiedades del motor reductor pueden ser reducidas hasta alcanzar las requeridas para el proceso).

Después de efectuados los cálculos con las comprobaciones correspondientes, queda diseñado el reactor con sus diferentes componentes que permiten la estimación del precio para el análisis económico.

### **3.3. Valoración económica de la inversión.**

Los datos requeridos en esta valoración económica fueron extraídos de la ficha de costo del producto DISTIN 202. Ver Anexo. 2.

#### **3.3.1. Cálculo del VAN (Valor Actual Neto)**

El interés utilizado se fijó en un 10%, según tasa de interés establecida por la banca cubana, teniendo en cuenta su variabilidad entre el 1 y el 10% a partir de las características que considera el Banco Central de Cuba.

Volumen de producción (31 500 L/año) dada la capacidad del reactor propuesto (1500 L/día) y el tiempo que designa la planta a esta producción (21 días/año).

Costo del equipo \$ 8 350.00 este valor se obtuvo en Chemical Engineering. Current cost of process equipment. January, 1982.

I. de Costo.

1981	297
2012	584.5

*Tabla3.2: Índice de costo*

Inversión para el equipo =	\$8,350
Inversión actualizada =	\$16,432.91
<b>Costos fijos</b>	<b>\$38,745.00</b>
<b>Costos variables</b>	<b>\$33,075.00</b>
<b>Pagos totales</b>	<b>\$71,820.00</b>
<b>Cobros totales</b>	<b>\$86,310.00</b>

*Tabla3.3: Datos principales para calcular el VAN*

## *Capítulo I.I.I. Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

Flujo de caja	Interés =	0.1000				
	0	1	2	3	4	5
Inversión	\$16,432.91	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Pagos totales	\$16,432.91	\$71,820.00	\$71,820.00	\$71,820.00	\$71,820.00	\$71,820.00
Cobros totales	\$0.00	\$86,310.00	\$86,310.00	\$86,310.00	\$86,310.00	\$86,310.00
Mov. De fondos	-\$16,432.91	\$14,490.00	\$14,490.00	\$14,490.00	\$14,490.00	\$14,490.00
Mov. De fondos acumulado	-\$16,432.91	-\$1,942.91	\$12,547.09	\$27,037.09	\$41,527.09	\$56,017.09
Mov de fondos actualizado	-\$16,432.91	\$13,172.73	\$11,975.21	\$10,886.55	\$9,896.86	\$8,997.15

*Tabla 3.4: Cálculo del VAN*

VAN= 38495.58 > 0 se acepta la inversión

Como se demuestra una vez recuperada la inversión y pagado los intereses, se cuenta con una utilidad de 38495.58 pesos.

### **3.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR).**

Aplicando la ecuación 2.50

$$K_p = 34.56 \%$$

$$K_n = 34.58\%$$

$$VAN_p = \$ 9.67$$

$$VAN_n = \$ -8.07$$

Obtenemos:  $TIR = 0.3452 > 0,1$  se acepta la inversión

La Tasa Interna de Retorno es mayor que el interés lo que indica que la propuesta es aceptable.

### **3.3.3. Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI).**

Aplicando la ecuación 2.51. Obtenemos:

$$PRI = 1.1341 \text{ años}$$

Por tanto la inversión se recupera en 1 año, 1 mes y 17 días.



## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

Una vez efectuado los cálculos correspondientes se obtuvo un VAN positivo mucho mayor que cero lo que expresa que la inversión tiene una utilidad de \$ 38495.58. La Tasa Interna de Retorno (TIR), es decir el máximo valor de costo de capital que se puede aceptar en el proyecto de inversión para que este no genere pérdidas es de un 34,52 %, o sea, que el proyecto soporta un descuento de hasta un 34,52 % sin dejar de ser rentable. Se analizó también el período de recuperación de la inversión. Con el que se determinó que la inversión se recupera en 1 año, 1 mes y 17 días.

Concluido este análisis de aplicación de la metodología para el estudio de factibilidad económica queda demostrado que el proyecto de inversión es factible.

### **3.3.4. Cálculo de la ganancia en la etapa futura de producción con el nuevo reactor instalado.**

Datos:

V: Capacidad del reactor = 1 500 L/día

T: Tiempo = 21 días/año

$N = 1\ 500\ \text{L/día} \cdot 21\ \text{días/año} = 31\ 500\ \text{L/año}$

Ganancia unitaria S/ base autorizada = 0.46 \$/L

$G_T = G_U \cdot N = 0.46 \cdot 31\ 500 = 14\ 490\ \$/\text{año}$

La ganancia en la etapa futura de producción con el nuevo reactor instalado es de 14 490 pesos al año.

## *Capítulo I.I.I: Diseño mecánico del reactor de aditivos.*

### **3.4. Conclusiones parciales del capítulo.**

**3.4.1.** Se realizó el diseño del sistema de agitación del reactor, donde quedan determinadas las dimensiones del mismo.

**3.4.2.** Realizado el diseño del reactor se estimó el precio que tendría en el mercado.

**3.4.3.** El VAN positivo y mucho mayor que cero expresa que la inversión llega a tener una utilidad de \$38495.58.

**3.4.4.** La Tasa Interna de Retorno (TIR), es de un 34,52 %, por lo que el proyecto soporta un descuento de hasta un 34,52 % sin dejar de ser rentable.

**3.4.5.** Se determinó el Período de Recuperación de la Inversión (PRI) y se obtuvo que la inversión se recupera en 1 año, un mes y 17 días.

**3.4.6.** Del estudio de factibilidad económica quedó demostrado que el proyecto de inversión es factible.

**Conclusiones:**

1. Se realiza el diseño del sistema de agitación del reactor que garantiza que se disuelvan las materias primas y se alcance una distribución uniforme de la temperatura durante el proceso de producción, cumpliendo con la hipótesis planteada.
2. En el análisis del estado del arte el trabajo aporta en gran medida a los lineamientos, principalmente a la sustitución de importaciones y los procesos de innovación tecnológica con cierre de ciclo.
3. En correspondencia con los parámetros establecidos por la literatura especializada, se desarrolla la metodología de cálculo para el diseño del sistema de agitación del reactor.
4. Se determinaron las principales dimensiones que componen el sistema de agitación del reactor.
5. La inversión es factible económicamente, sustentada en un VAN positivo con un total de utilidades de 38495.58 pesos, una TIR con un valor de 0.83995 y un periodo de recuperación de la inversión de 1 año, 1 mes y 13 días.

**Recomendaciones:**

1. Realizar el diseño del árbol del sistema de agitación utilizando como material Acero Inoxidable, para poder ser utilizado en caso de que se quiera producir los aditivos que contengan materias primas agresivas al acero, ya que este diseño fue realizado para los aditivos 202, 202A y 204, que no tienen presencia de sustancias corrosivas.
2. Se recomienda la construcción de este reactor para satisfacer las demandas de estos productos.

**Bibliografía:**

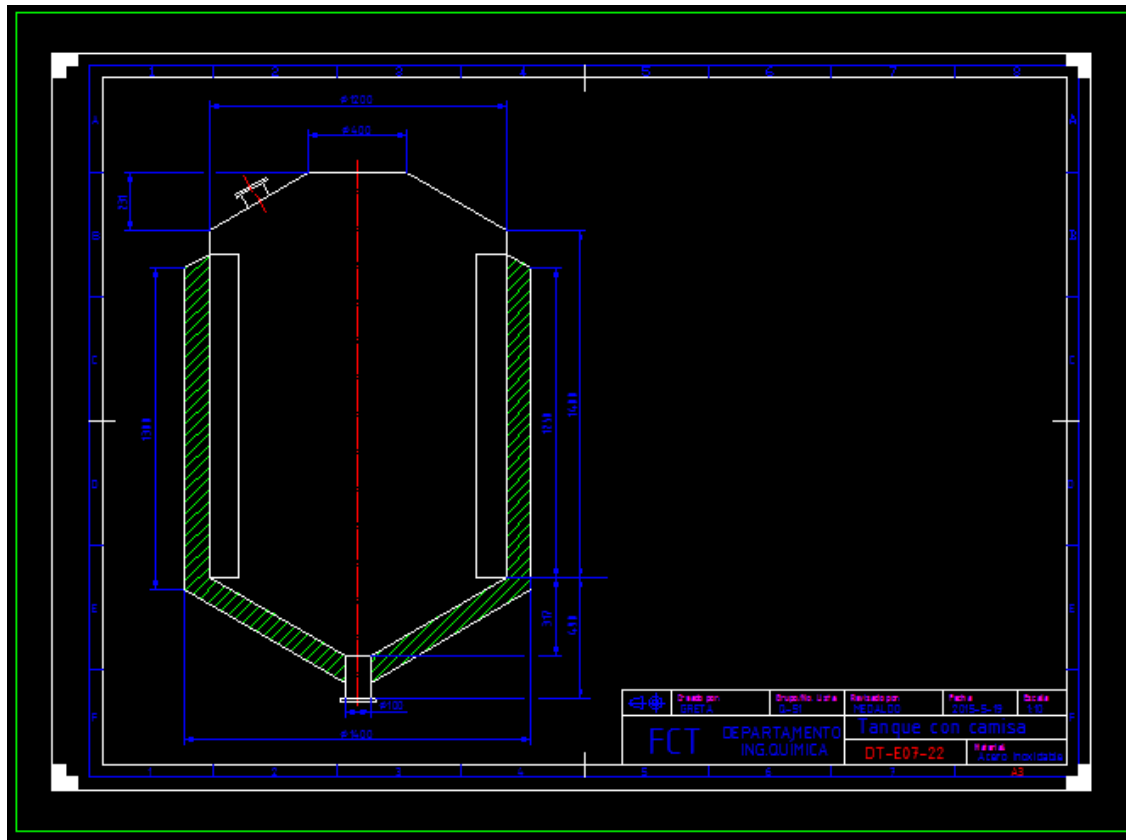
1. Almusallam, A. (2008), "Effect of Environmental Conditions on the Properties of Freshhand Hardened Concrete", Cement and Concrete Composites.
2. Álvarez Sánchez, J.... [et al.]. [s.a.]. Elementos de máquinas. Matanzas: Imprenta Universidad de Matanzas.
3. Arellano, J. (2007). Tanques de agitación de un sólido con un líquido. Monografías. com de la Universidad Simón Bolívar. Sartenejas.
4. Arredondo, F. (1972). *Estudio de materiales: V.-Hormigones*. Madrid:Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.
5. Carvajal, M, (2005). Revista de la Construcción, vol. 4, núm. 2.
6. Centro de estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT). Manual de Operaciones de la Planta Piloto. Matanzas: Universidad de Matanzas.
7. Cervera, M. (2012), "Numerical Modelling of Concrete.
8. Chemical Engineering. (1992). Current cost of process equipment.
9. Corradi, M., Khurana, R. Y., Magarotto, R., (2011). "Controlling Performance in Ready Mix Concrete", Concrete International.
10. Dobrovolski, V. ...[et al.]. (1970).Elementos de máquinas. Moscú: Editorial Mir.
11. Díaz – Canel, (2012). Hacia un mayor impacto económico y social de la Educación Superior. Revista Nueva Empresa. Revista Cubana de Gestión Empresarial. ISSN: 1682-2455. Vol 8, No 1. Pág 3-10.
12. Echeverría, C. (2009). Informe del CEAT a la dirección de ciencia y técnica- MES. Importancia del financiamiento de los productos para brindar el servicio DUCAR. Matanzas. Universidad de Matanzas.
13. Fonseca, Edisbel. (2014). Trabajo de Diploma.
14. Hernández; Vigoa. (2012). Transferencia de tecnología entre entidades cubanas. Necesidad de su implementación. Revista Nueva Empresa. Revista Cubana de Gestión Empresarial. ISSN: 1682-2455. Vol 8, No 1. Pág 55-59.
15. Hernández, R. A. Casanova. (1995). Nueva tecnología de producción de aditivos superplastificantes para morteros y hormigones. Evaluación a escala de laboratorio. Tesis de grado. Facultad de Ing. Química, Universidad de Matanzas, Cuba.

16. Heyman, Jacques (2001). *La ciencia de las estructuras*. Instituto Juan de Herrera (Madrid)James .
17. Kasatkin, A. (1981). Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química. Tomo 1. Impreso en la URSS.
18. Kozeliski, F. (1989) Extended mix time concrete. Concrete International.
19. Laschinski, A. A. (1988). "Construcción de aparatos químicos soldados": Manual del ingeniero. Primera parte. Editorial Pueblo y Educación.
20. Laschinski, A. A. (1988). "Construcción de aparatos químicos soldados": Manual del ingeniero. Segunda parte. Editorial Pueblo y Educación.
21. Mijalev, M. (1987). "Cálculo y diseño de máquinas y aparatos de la Industria Química". Primera parte. Editorial Pueblo y Educación.
22. Mijalev, M. (1987). "Cálculo y diseño de máquinas y aparatos de la Industria Química". Segunda parte. Editorial Pueblo y Educación.
23. Neville, A. (2000). Properties of concrete. Pitman Publishing Limited, London.
24. Ortega, Adel. (2013). Trabajo de Diploma.
25. Palacios G. (2006). Métodos Y Técnicas De Caracterización De Aditivos Para El Hormigón.
26. Patent No. 8,317,916, (2012). Set retardant for hydraulic cement compositions.
27. Patent No. 8,366,821, (2013). Additives for altering the hardening rate of chemically bonded silico-phosphate cements and method therefor.
28. Patent No. 8,500,902, (2014). Methods of making cementitious compositions and products made thereby.
29. Patent No. 20070181042, (2007). Additive for hydraulic material.
30. Resolución ministerial No. 392 (1998). Ministerio de la construcción.
31. Resolución ministerial No. 933. (1999). MICONS. Dictamen técnico.
32. Reverté Solá-Morales Rubió, (2001). *Introducción a la arquitectura. Conceptos fundamentales*.
33. SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego, (2002). Tecnología del Concreto y del Mortero.
34. Strike, Salvador, (2004). *De la construcción a los proyectos*.

35. Téllez, E. (1985). Informe final. Métodos de ensayos para evaluar aditivos. CTCM, La Habana.
36. Téllez, E. (1989) .Métodos de ensayos para evaluar aditivos. Curso de postgrado. La Habana.
37. UNE-EN 934-2, (2002) Aditivos Para Hormigones, Morteros Y Pastas. Parte 2: Aditivos Para Hormigones. Definiciones, Requisitos, Conformidad, Marcado Y Etiquetado.
38. Vázquez, T. Estudio por espectroscopia de absorción infrarroja de algunos aditivos para hormigones. Extractos de revistas técnicas, 1985.
39. Venuat, M. (2000) Aditivos y tratamientos de morteros y hormigones. Barcelona: Editores técnicos asociados S.A, última edición.

Anexos:

Anexo #1: Dimensiones del cuerpo del reactor(Tanque con camisa).



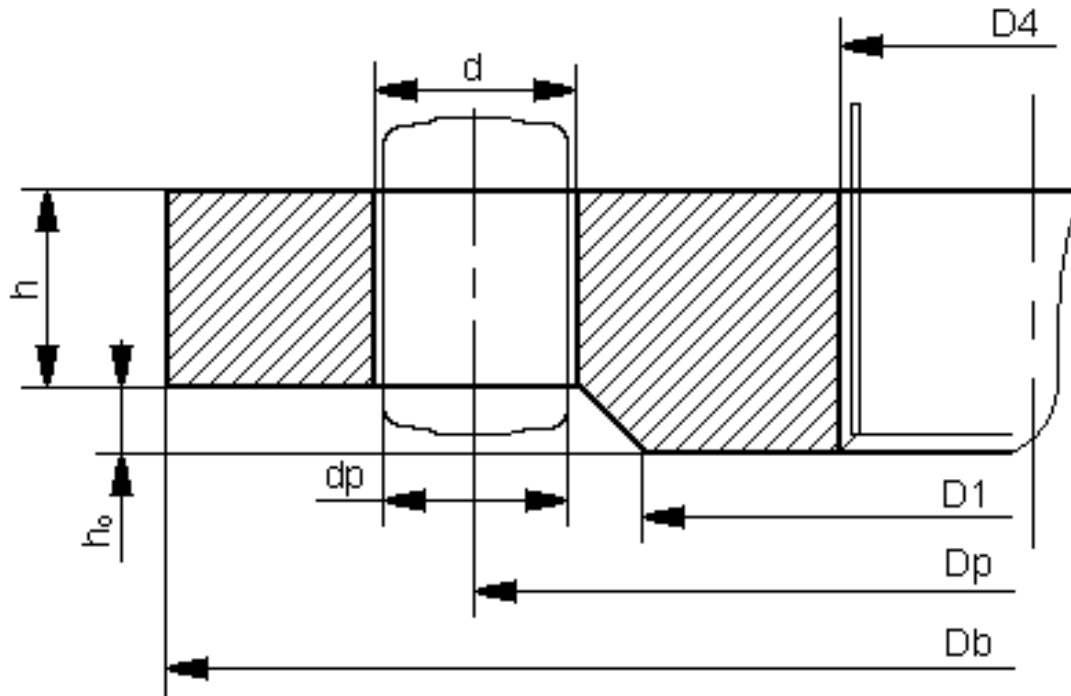


**Anexo#2: Ficha de costo del producto.**

<b>FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES.</b>		
<b>EMPRESA:</b> UMCC	Código: DISTIN 202 Acelerador	
<b>Organismo:</b> MES Plan de Produc: 6000 L	Capac. Instalada: 12 000	
<b>Producto o Servicio:</b> Producto.	% utiliz.Capacidad: 50	
Código Prod o Serv.:DISTIN 202, T 20 L. UM: \$/L.	Produc.Period. Anterior	
<b>Concepto de gastos</b>	<b>Total Unitario</b>	<b>De ello: CUC</b>
<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Materias Primas y Materiales</b>	0,55	0,42
Materia Prima y materiales fundamentales	0,43	0,38
Combustible y Lubricantes	0,08	0,04
Energía Eléctrica	0,02	0,00
Agua	0,03	0,00
<b>Sub total (Gastos de elaboración)</b>	1,60	0,29
<b>Otros Gastos directos</b>	0,03	0,00
Depreciación	0,02	0,00
Arrendamiento de equipos	0,00	0,00
Ropa y calzado (trabajadores directos)	0,00	0,00
<b>Gastos de fuerza de trabajo</b>	1,22	0,00
Salarios	0,82	0,00
Vacaciones	0,07	0,00
Impuesto utilización de la Fuerza de trabajo.	0,22	0,00
Contribución a la seguridad social.	0,10	0,00
Estimulación en pesos convertibles	0,00	0,00
<b>Gastos indirectos de producción</b>	0,01	0,01
Depreciación	0,00	0,00
Mantenimiento y Reparación	0,01	0,01
<b>Gastos Generales y de Administración</b>	0,00	0,00
Combustible y Lubricantes	0,00	0,00
Energía Eléctrica	0,00	0,00
Depreciación	0,00	0,00
Ropa y Calzado (trabaj. Indirectos)	0,00	0,00
Alimentos	0,00	0,00
Otros	0,00	0,00
<b>Gastos de Distribución y Venta</b>	0,31	0,27
Combustible y Lubricantes	0,00	0,00

Energía Eléctrica	0,00	0,00
Depreciación	0,00	0,00
Ropa y Calzado (trabaj. Indirectos )	0,00	0,00
Otros	0,31	0,26
<b>Gastos Bancarios</b>	0,03	0,02
<b>Gastos Totales o Costo de producción</b>	<b>2,15</b>	<b>0,71</b>
<b>Margen utilidad S/ base autorizada</b>	0,43	
<b>Precio según lo establecido por el MFP 1L</b>	<b>2,58</b>	
<b>% Sobre el gasto en divisa (hasta el 20 %)</b>		0,14
<b>Componente total en pesos convertibles</b>		<b>0,86</b>

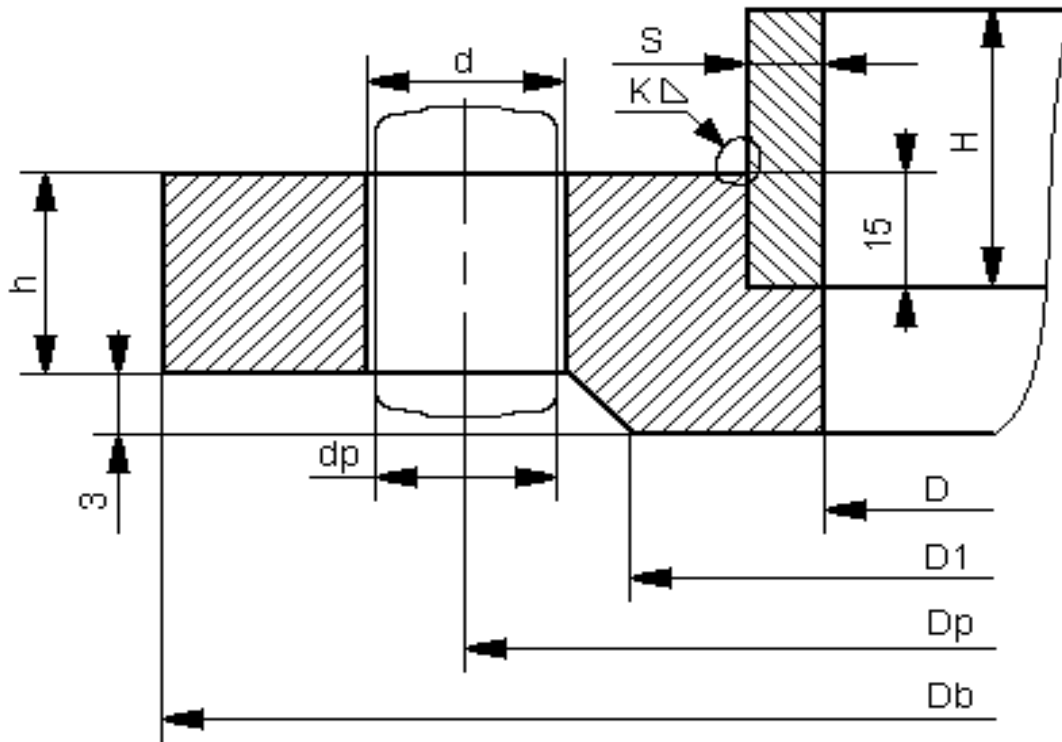
**Anexo#3: Principales dimensiones de las bridas de tubos.**



No.	$P_{Nom}$ (MPa)	$D_{Nom}$	$Db$	$Dp$	$D1$	$D4$	$h$	$d$	$dp$	No. agujeros
1	0.25	100	205	170	148	138	11	18	M 16	4
2	0.25	200	315	280	258	250	15	18	M 16	8

Todos los valores están en (mm).

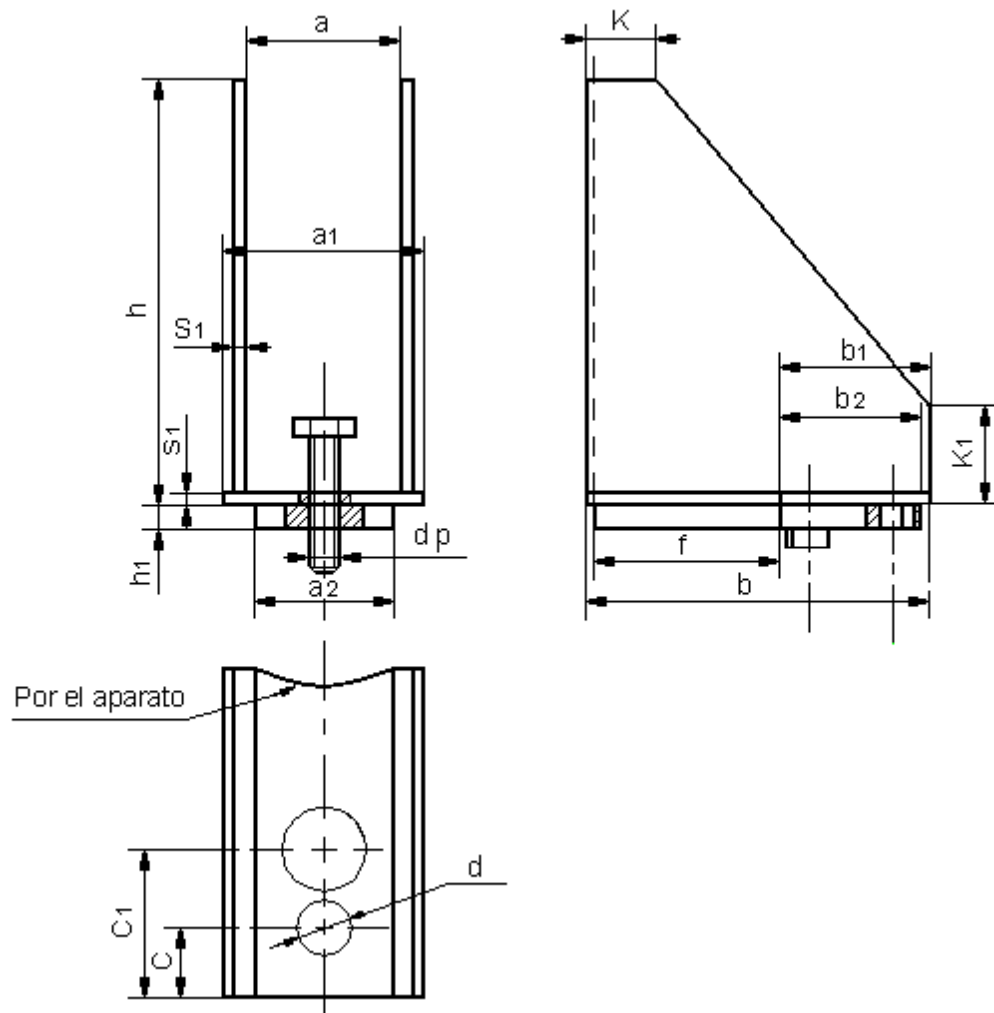
**Anexo#4: Principales dimensiones de la brida del aparato.**



No.	$P_{Nom}$ (MPa)	$D_{Nom}$	$Db$	$Dp$	$D1$	$h$	$S$	$d$	$dp$	No. agujeros
3	0.3	1200	1330	1290	1248	35	8	23	M 20	44

Todos los valores están en (mm).

**Anexo#5: Principales dimensiones de los soportes del equipo.**

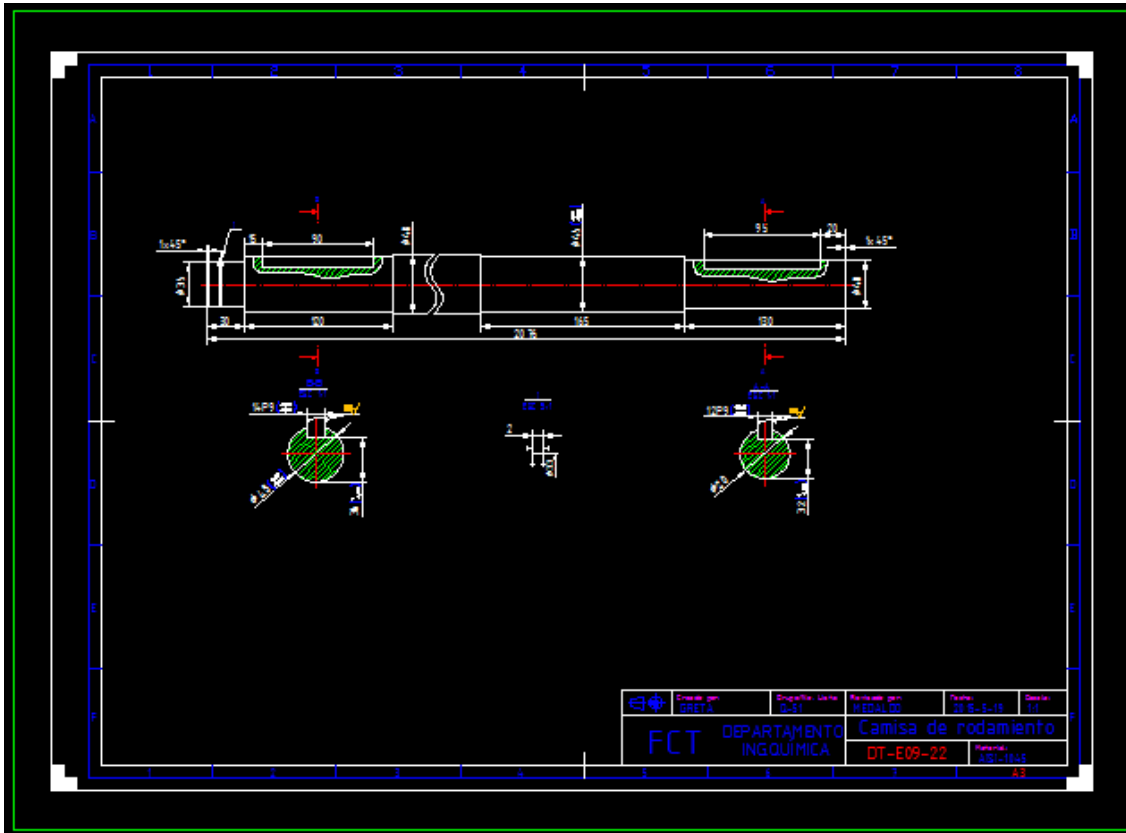


Q	a	a1	a2	b	b1	b2	C	C1	h	h1	S1	K	K1	d	dp	f.máx
10	90	115	80	195	85	80	20	85	235	14	6	20	50	24	M16	105

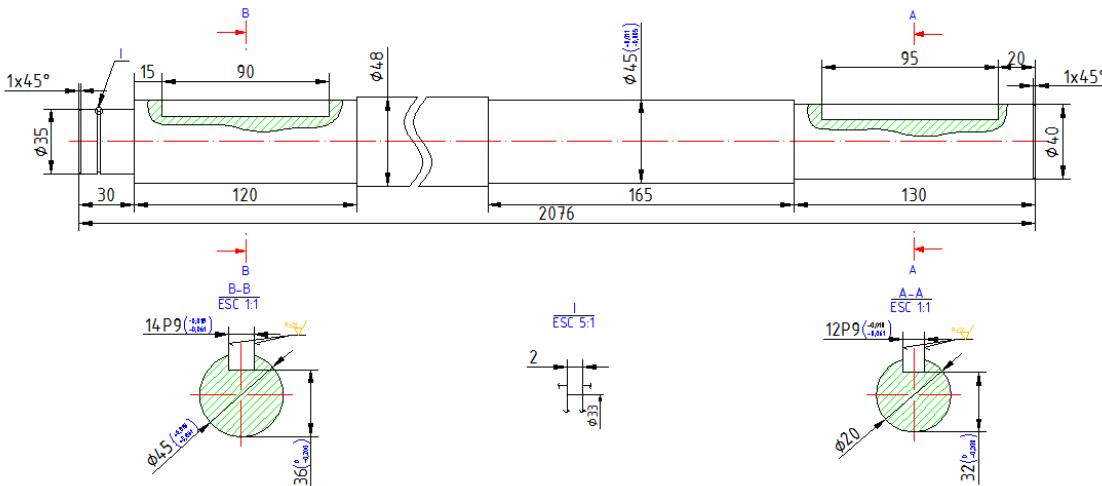
Todos los valores están en (mm).

Anexo#6: Dimensiones del árbol.

A)

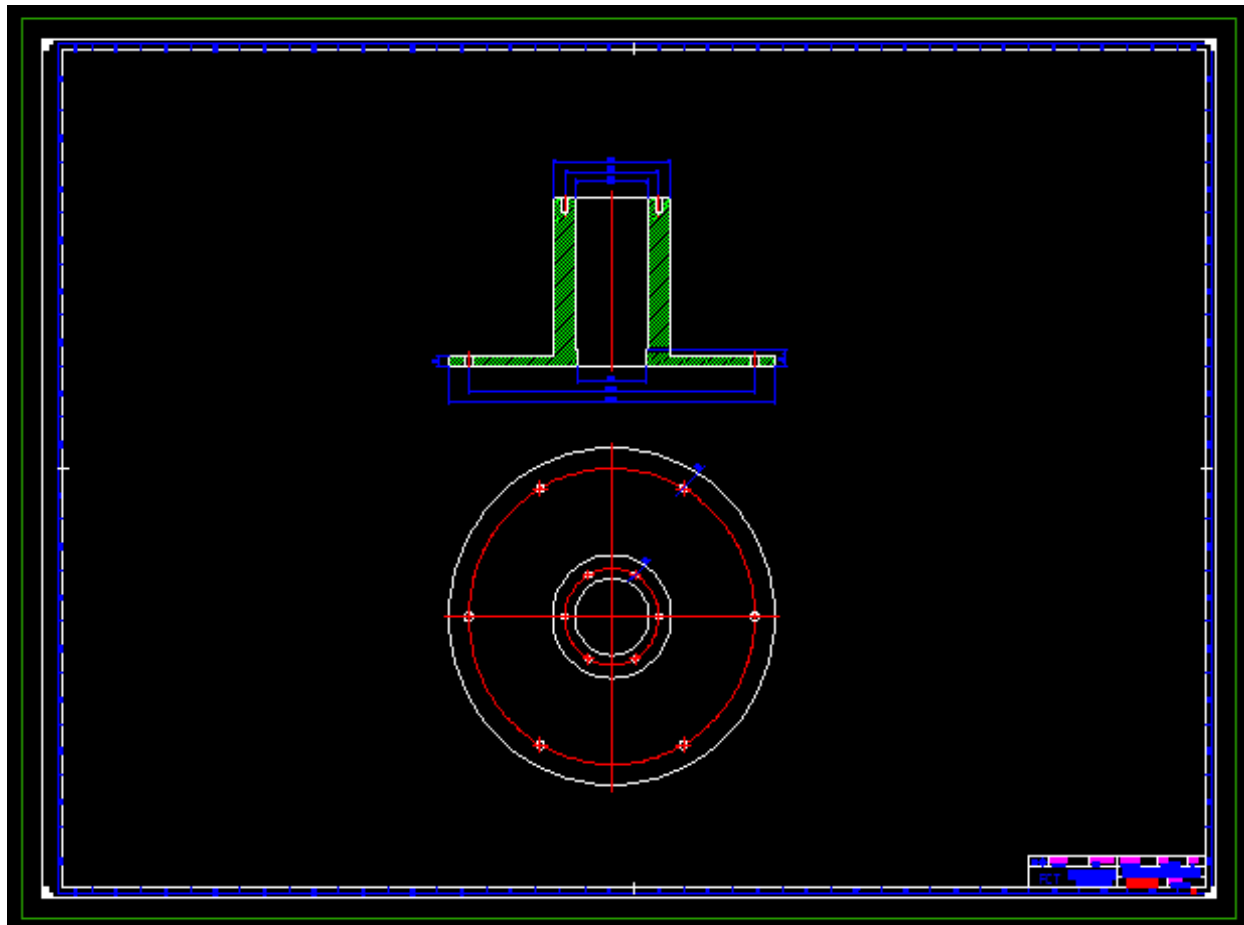


B)

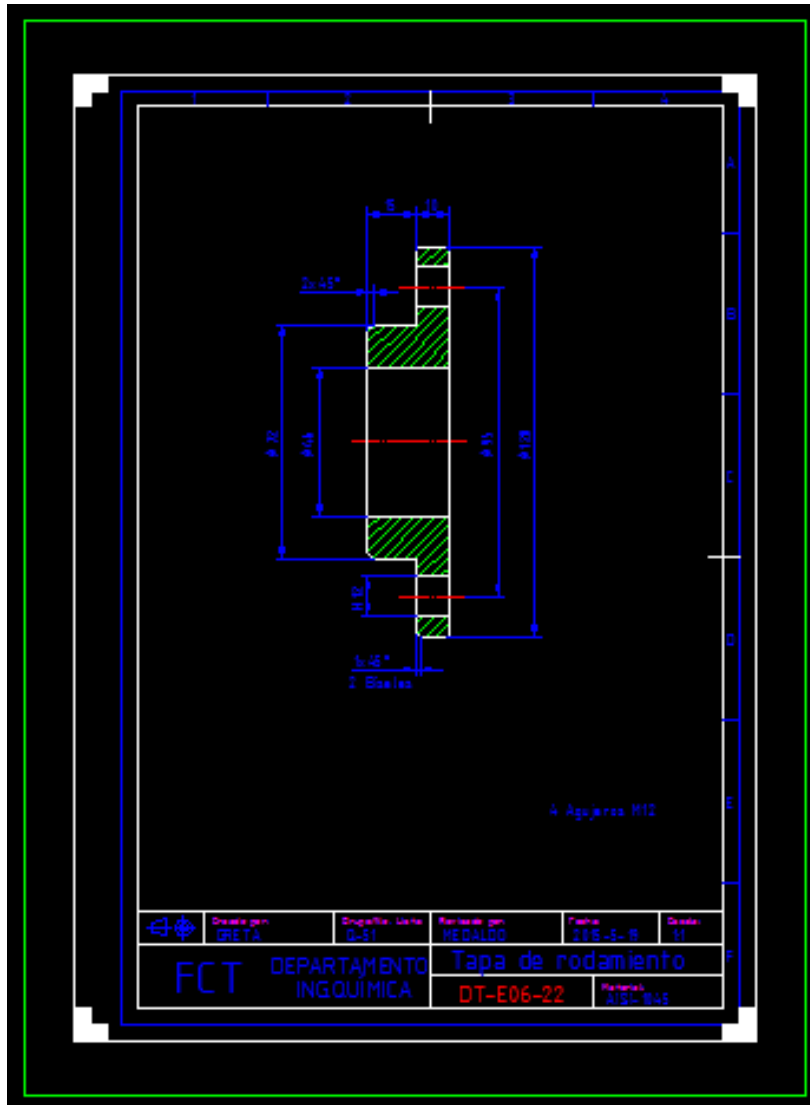


Anexo#7: Camisa de los rodamientos.

A)

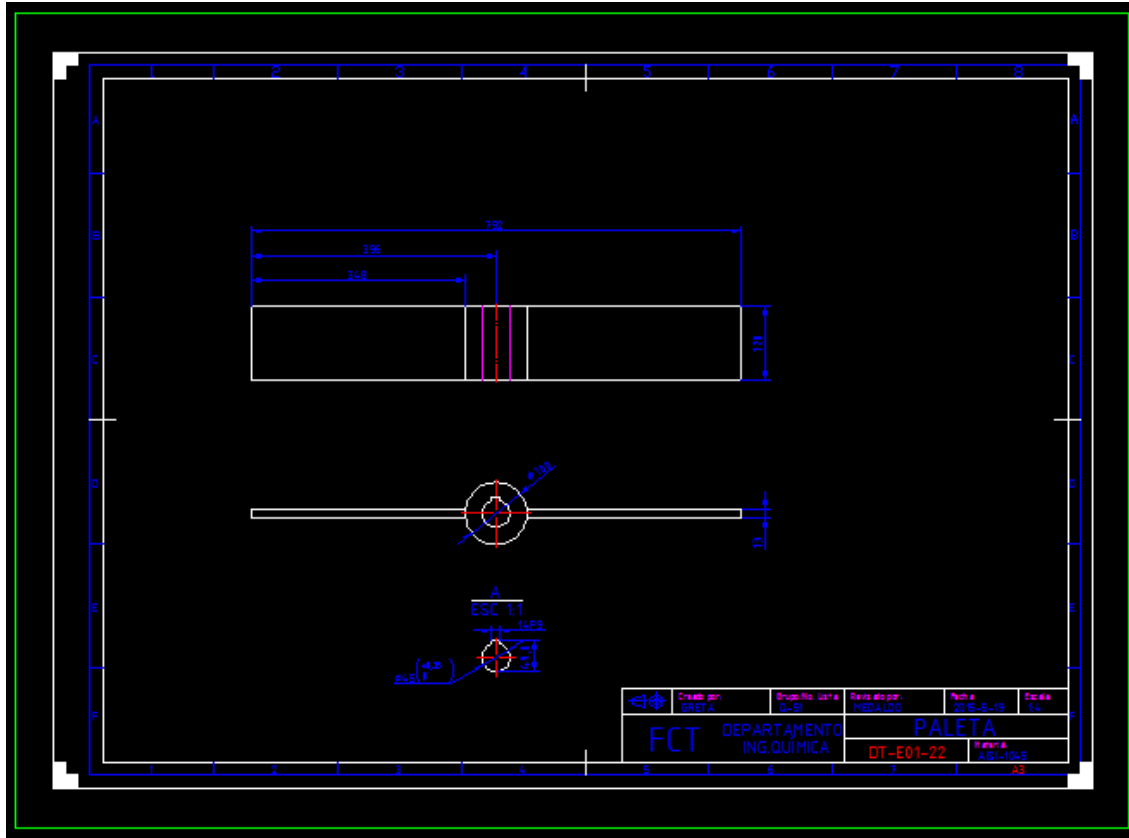


Anexo#8: Tapa de los rodamientos.



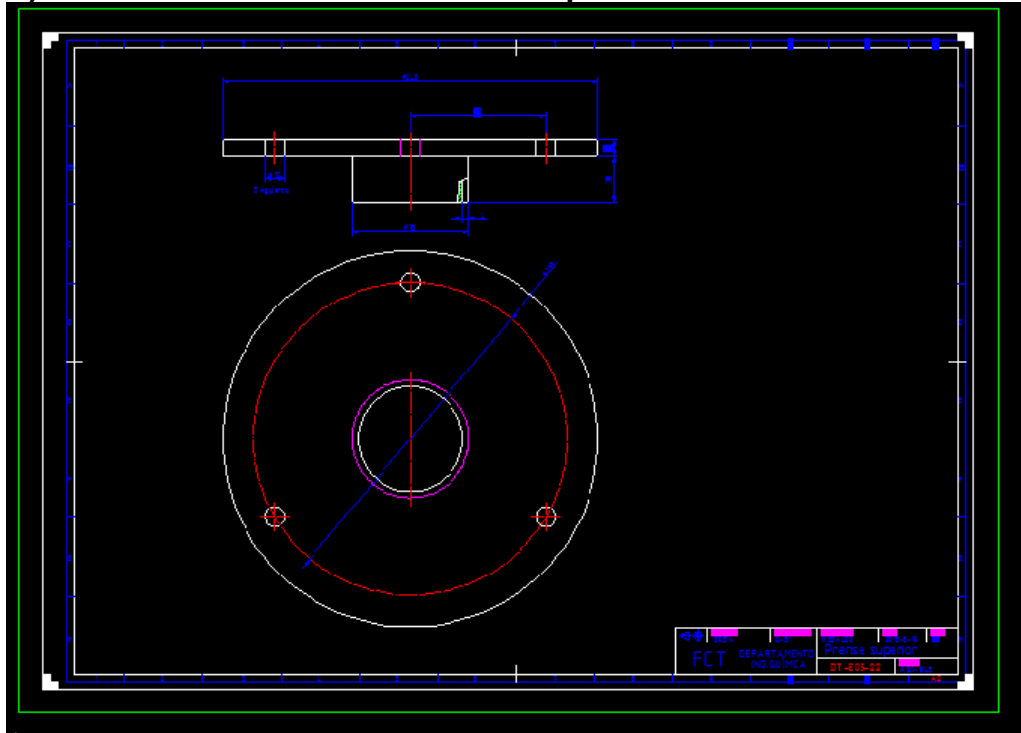


Anexo#9: Dimensiones de la paleta.

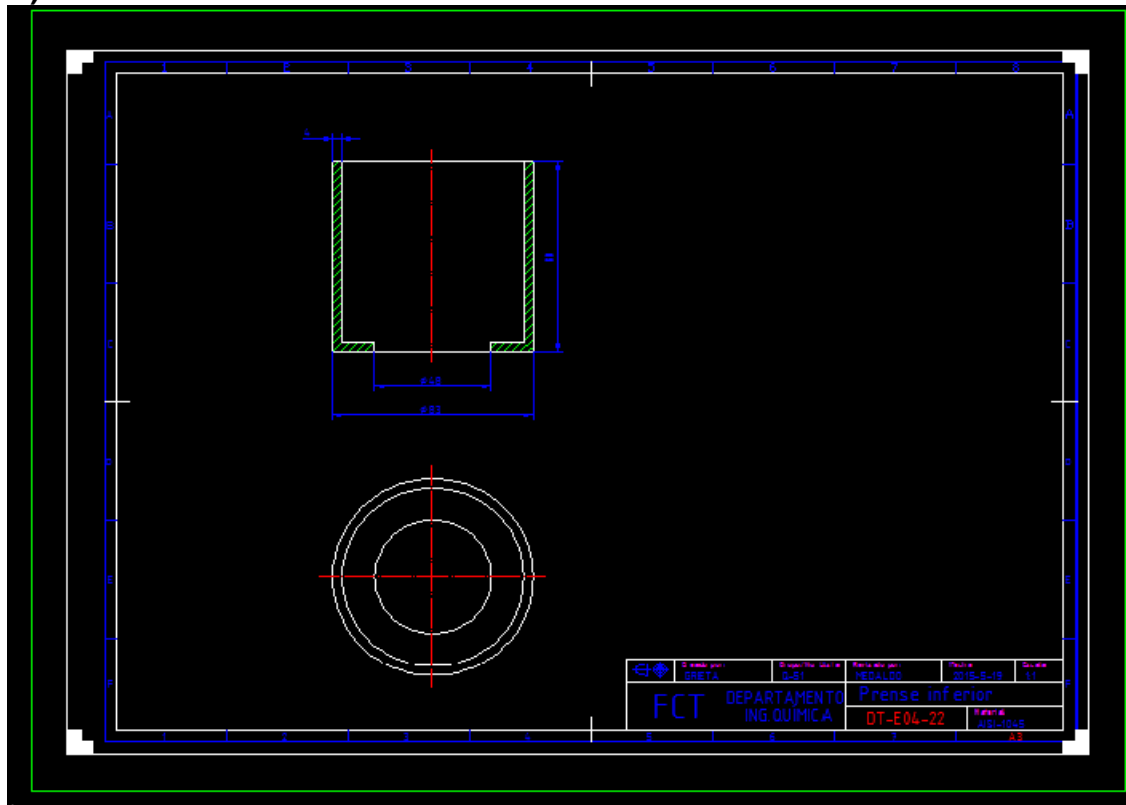


Anexo#10: Preense

A) Preense superior

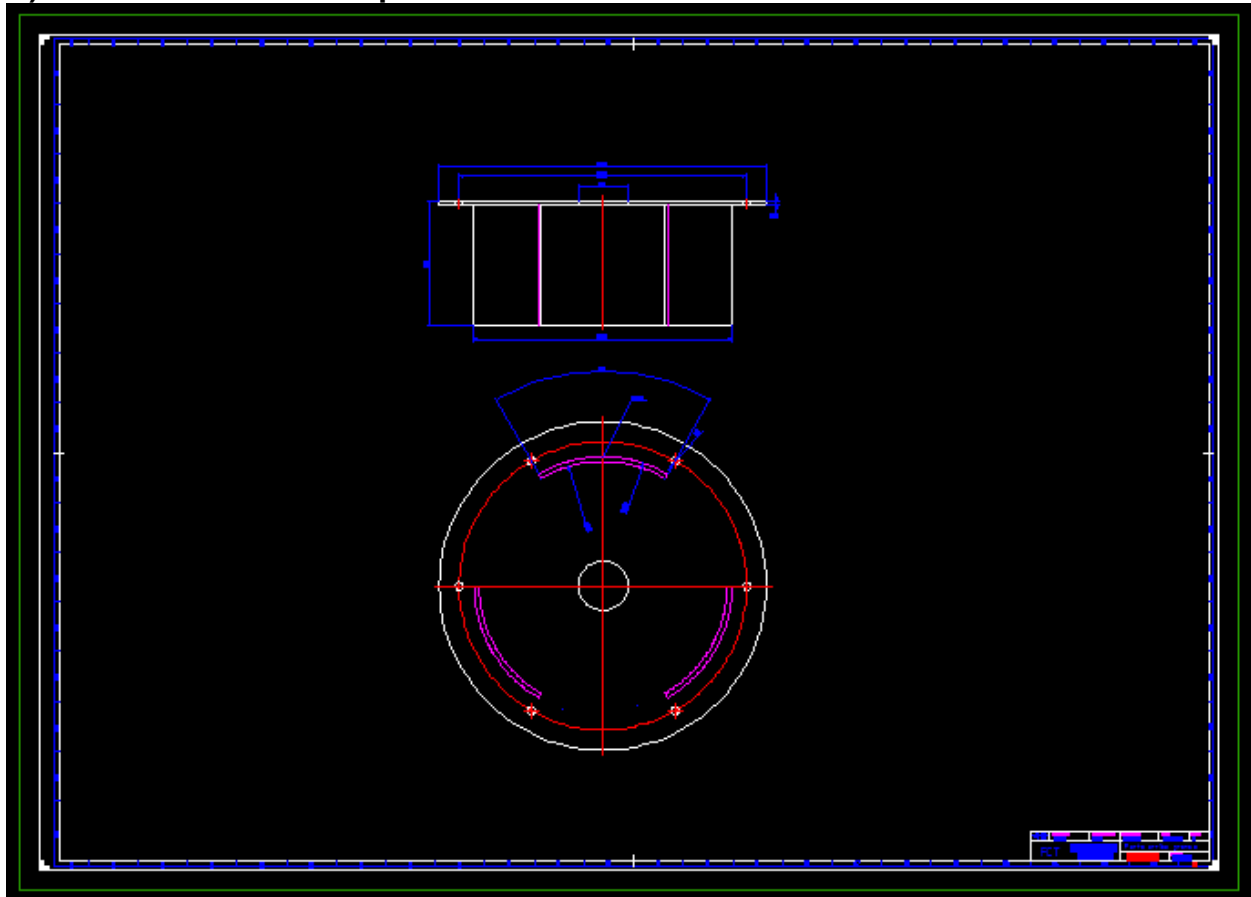


**B) Prensa inferior.**



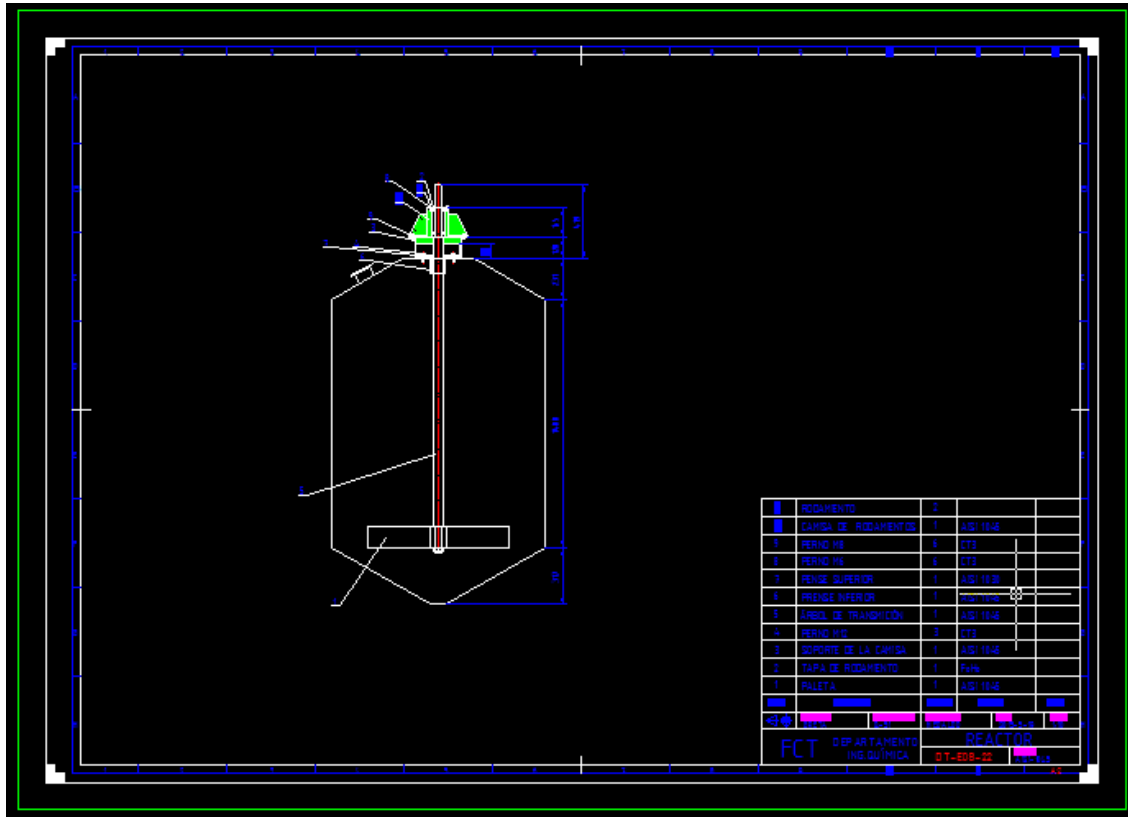
Revisado por: / Revisado por: /

C) Parte de arriba del prensa.

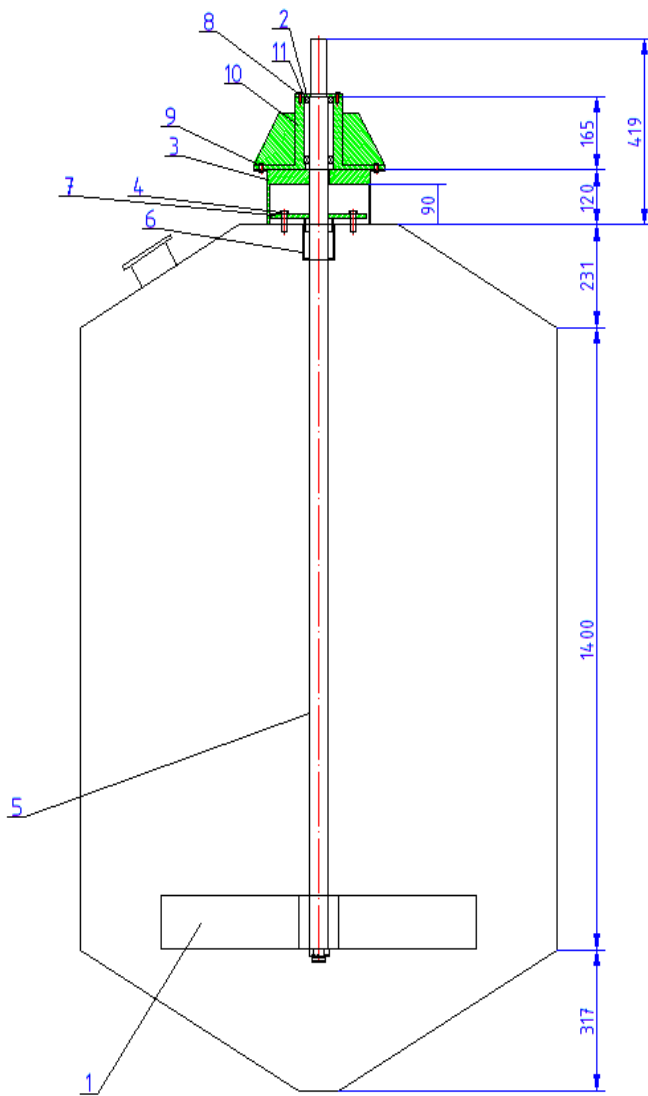


Anexo#11: Ensamble

A)



**B)**



11	RODAMIENTO	2
10	CAMISA DE RODAMIENTOS	1
9	PERNO M8	6
8	PERNO M6	6
7	PENSE SUPERIOR	1
6	PRENSE INFERIOR	1
5	ÁRBOL DE TRANSMICIÓN	1
4	PERNO M12	3
3	SOPORTE DE LA CAMISA	1
2	TAPA DE RODAMIENTO	1
1	PALETA	1
MARCA	DENOMINACIÓN	CANTIDAD