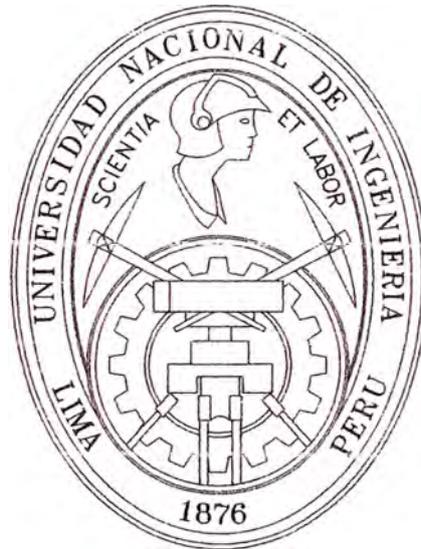


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE SISTEMAS DE  
AGITACION DE BIODIGESTORES HASTA 50 M3 DE  
CAPACIDAD”**

**TESIS  
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECANICO**

**LUIS CUBA BAUTISTA**

**PROMOCION 2001-I**

**LIMA-PERU**

**-2005-**

Dedico la presente tesis a mis padres Pedro y Silvia que sin su apoyo en todo momento no hubiera podido ser el hombre de ahora, también a mi hermano Richard que llegue muy lejos y a mis amigos que siempre están ahí en la buenas y malas.

# INDICE

	Pág.
PROLOGO.....	1
CAPITULO I.- Introducción.....	3
1.01.- Antecedentes.....	5
1.02.- Justificación.....	6
1.03.- Objetivos.....	8
CAPITULO II. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	9
2.01.- Definición de Biomasa.....	9
2.02.- Procesos de Conversión.....	11
2.03.-Proceso de Digestión Anaeróbica.....	13
2.04.- Sistemas de Biodigestion y Biodigestores.....	27
2.05.- Estado del Arte.....	34
CAPITULO III.-TECNOLOGIAS DE SISTEMAS DE AGITACION.....	39
3.01.-Concepto de Agitación.....	39
3.02.-Tipos de Agitadores.....	40

3.03.- Tipos de Flujo Presente en Tanques Agitados.....	46
3.04.- Ventajas del Uso de Agitadores en Biodigestores.....	49
<b>CAPITULO IV.- PROPUESTA TECNOLOGICA DE DISEÑO.....</b>	<b>50</b>
4.01.- Diseño Conceptual.....	50
4.02.- Consideraciones Generales de Diseño.....	51
4.03.- Parámetros y Procesos de Cálculo.....	56
<b>CAPITULO V.- MODELO COMPUTARIZADO DE DISEÑO.....</b>	<b>75</b>
5.01.- Objetivo del Programa.....	75
5.02.- Descripción del Programa a Utilizar.....	76
5.03.- Recopilación de Datos Necesarios.....	78
5.04.- Diagrama de Flujo del Programa .....	79
5.05.- Resultados Obtenidos del Programa.....	80
<b>CAPITULO VI.- APLICACIÓN A UN BIODIGESTOR DE 25 M<sup>3</sup>.....</b>	<b>82</b>
6.01.- Antecedentes del Biodigestor.....	82
6.02.- Consideraciones de Operación.....	83
6.03.- Definición de Dimensiones y Materia Prima.....	84

6.04.- Cálculo del Sistema Agitador.....	84
6.05.- Resultados Obtenidos en el Programa.....	94
6.06.- Elección de Elementos de Transmisión.....	95
6.07.-Diseño del Soporte del Sistema Agitador.....	100
<b>CAPITULO VII.- COSTOS Y PRESUPUESTO.....</b>	<b>114</b>
7.01.- Presupuesto de Instalación y Construcción.....	114
7.02.- Inversión.....	118
7.03.- Tiempo de Retorno de Inversión.....	119
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>120</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
<b>APENDICE</b>	
<b>PLANOS</b>	

## PROLOGO

En el presente tema de tesis presentamos un procedimiento de diseño de un sistema de agitación aplicado a digestores de hasta 50 m<sup>3</sup> de capacidad y materiales diversos para la fermentación, con el propósito de mejorar el proceso de fermentación anaeróbica dentro del biodigestor para la producción de gas metano a gran escala, siendo éste el interés de desarrollar el presente tema.

Para el desarrollo de la presente tesis se ha dividido en seis capítulos que mencionamos a continuación:

En el **Primer capítulo** tenemos la introducción, en este capítulo se hace mención los antecedentes, el estado del arte, se justifica el proyecto y se expone los objetivos.

En el **segundo capítulo** se realiza el fundamento teórico de: biomasa, proceso de conversión de biomasa, proceso de fermentación anaeróbica, sistemas de biodigestion y digestores, así como el estado del arte del sistema de agitación utilizados en algunas plantas de biogas.

En el **tercer capítulo** se hace mención a las tecnologías de sistemas de agitación y se describen los conceptos de agitación y mezcla, las clases de

agitadores, tipos de flujos presentes en tanques agitados, ventajas de sistemas de agitación en digestores.

En el **cuarto capítulo** se plantea la propuesta tecnológica de diseño y consiste de un diseño conceptual, consideraciones generales para el cálculo y procedimiento de diseño.

En el **quinto capítulo** se plantea un programa de diseño, en el cual se establecen los objetivos del programa, descripción del programa a utilizar, datos de entrada, diagrama de flujo del programa a utilizar y por último los parámetros de salida.

En el **sexto capítulo** trata de la aplicación del programa de cálculo a un biodigestor de 25 m<sup>3</sup> de capacidad, para lo cual se toma en cuenta las consideraciones de operación, dimensiones y materias primas, cuyos resultados se presentan, asimismo se diseñan los elementos de transmisión y soporte del sistema agitador.

En el **séptimo capítulo** se hace el análisis de costos en relación al caso del biodigestor de 25m<sup>3</sup> y se presenta el presupuesto de inversión para la instalación y construcción del sistema de agitación propuesto.

Por último se presentan las conclusiones con los resultados obtenidos y se dan las recomendaciones necesarias. Se incluye la Bibliografía, los Planos y Apéndice.

Se agradece por el apoyo incondicional para realizar la presente tesis a CERUNI (Centro de Energía Renovable UNI) y EDEVI (Energía Desarrollo y vida).

## **CAPITULO I.**

### **INTRODUCCION**

En el presente capitulo se detallarán los conceptos de biomasa y la importancia de su aprovechamiento y nos centraremos en el desarrollo de sistemas de agitación en digestores, ya que las energías renovables tales como la eólica, la solar en sus diferentes formas, contribuyen con una cifra inferior al 2% en la provisión global de la energía. Un estudio de la WEC (World Energy Council) establece una proyección, si las actuales políticas continúan, respecto de las energías renovables que contribuirán con un 4% a la provisión global de la energía para el año 2020. Dentro de ellas la *BIOMASA* es un recurso renovable cuya utilización presenta características singulares y beneficios notables. Se trata de una fuente prácticamente inagotable, producida cíclica y continuamente por el reino vegetal y animal y el sistema urbano e industrial, y existe por lo menos en alguna de sus formas en todos

los espacios geográficos. El uso de la biomasa aporta beneficios que no son sólo energéticos, su transformación se convierte en beneficiosa y necesaria para el entorno. Es un sistema idóneo de eliminación de residuos, con la subsiguiente mejora del ambiente rural, urbano e industrial. Puede ser además, un modo de equilibrar determinados excedentes agrícolas. En el sector rural, la principal forma de contaminación es el estiércol, que genera malos olores y polución con nitratos al agua de consumo. La opción del uso del estiércol permite responder a una demanda de la sociedad, las actividades agrícola-ganaderas deben ser más respetuosas del medio ambiente, y en particular deben promover la reducción de posibles fuentes de contaminación.

Hoy en día, en los países industrializados, el tratamiento de los desechos residuales es un deber apremiante. Todos están conscientes de las consecuencias que traen la sobrecarga del suelo y las aguas por los desechos orgánicos no tratados y vertidos en cualquier lugar. Además, el aumento de los precios de las materias primas exige un reciclaje más importante de estos materiales. Por otra parte en los países del Tercer Mundo las instalaciones de biogás significan ante todo la producción de energía para cocinar.

El aprovechamiento y uso de la biomasa como energía, la encontramos en comunidades andinas, para la cocción de alimentos tanto en zonas de valle y otra en los altiplanos. También como energético en hornos para cocer ladrillos, tejas y cerámicas. Otra aplicación muy importante es la utilización de residuos agropecuarios, municipales o industriales que muchas veces son causantes de serios

problemas de contaminación, cuando podrían ser usados en la producción de fertilizantes y/o energía.

De acuerdo a la demanda de la biomasa y el aprovechamiento óptimo de la generación de biogas, se realiza mejoras en los procesos de digestión y una parte de esta mejora es el uso de agitadores para obtener una mayor producción de gas, por ello se presenta la siguiente tesis como una ayuda para diseñar sistemas de agitación tanto a nivel industrial como rural.

### **1.01.- Antecedentes**

En los procesos de fermentación semi-continuos y continuos se utilizan sistemas de agitación, tenemos los casos de plantas de tratamiento de excretas líquidas de cerdo en México exactamente en el estado de Yucatán que ocupa el quinto lugar en la producción de cerdos; en 1997, se reportó una población de 1 114 135 cabezas (INEGI, 1997), que producen aproximadamente 3600 ton de excretas diariamente que son arrojadas, en su mayoría, a las fosas o directamente al suelo propiciando serios problemas de contaminación y para realizar el tratamiento utiliza sistemas continuos. Otra planta de tratamiento de excretas de vacas lecheras se encuentra en la facultad de agronomía de la universidad de Pampa en Argentina, la cual optó por usar sólo el estiércol de uno de los ordeñes diarios para un sistema de carga continuo en un digestor tipo hindú; estos son algunos ejemplos de plantas ya que tenemos muchas otras en nuestro país y otras parte de América y del mundo.

## **1.02.- Justificación.**

El uso de un sistema de agitación para digestores se hace necesario por un aspecto técnico, principalmente para liberar los gases que se encuentran atrapadas en la nata y reducir el tiempo de retención o fermentación, así como cumplir con los requerimientos de producción de bacterias en el material de fermentación. De este modo acelerar el proceso de fermentación; por eso con una agitación periódica aumenta la producción de gas.

Para comprender mejor el proceso de fermentación que se realiza en digestores y que a nivel rural son hasta 50m<sup>3</sup>; partimos del diseño científico y racional de un digestor de biogás, que debe atender las necesidades de reproducción de las bacterias, es decir, a que la materia orgánica se digiera plenamente y libere gas combustible en un tiempo de fermentación relativamente corto.

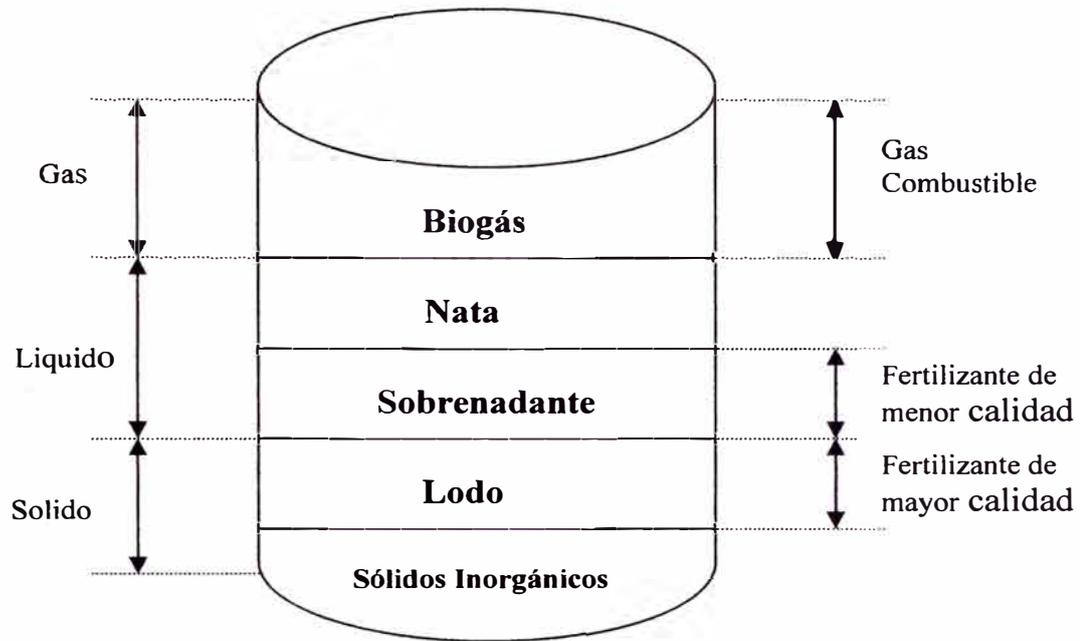
A partir de ello tenemos la fermentación de residuos orgánicos de forma natural y artificial; el primero, la descomposición de residuos orgánicos es llevada a cabo por microorganismos en un ambiente carente de oxígeno (conocido como digestión anaeróbica) el cual produce un gas muy apreciado, como es el metano.

En el segundo caso, la producción de metano; a partir de materias orgánicas, como los excrementos de los animales; se consigue a través de un proceso de fermentación dentro de un contenedor especial, llamado digestor; en el cual, a una cierta temperatura y con la intervención de bacterias

metanogénicas en condiciones anaeróbicas, tiene lugar la degradación de materia orgánica, generándose el biogás.

Al interior del digestor, se produce una de digestión lenta, los materiales se van estratificando en capas, comenzando del fondo tal como se muestra en la Fig.1.

- Materiales inorgánicos y arena, en el fondo;
- Lodo, suspensión de sólidos digeridos. El sólido digerido y seco representa el 30-40% del material crudo original con un alto contenido de fertilizante;
- Sobrenadante, son líquidos digeridos que aun tienen sólidos disueltos, los cuales una vez secos tienen menor poder fertilizante que el lodo;
- Nata, es una espuma consistente en una mezcla de material fibroso grueso, gas y liquido. La acumulación de estos en la superficie, forma una capa gruesa que impide. La salida del gas hacia la superficie no permitiendo completar el proceso de digestión.
- Biogás, es el gas producto de la digestión anaeróbica, compuesto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), además de trazas de otros gases. El  $\text{CH}_4$  es el combustible directo de esta mezcla y es el componente que determina el poder calorífico del biogás.



*Fig.1. Estrato de subproductos en un proceso de fermentación anaeróbica, dentro de un digester. Fuente: NAI Newsletter N°3. 1973*

### **1.03.- Objetivos.**

Debido a la importancia de los agitadores en el proceso de fermentación, planteamos un procedimiento de diseño de agitadores y para el desarrollo de este hemos planteado los siguientes objetivos:

- ☞ Elaborar un procedimiento de diseño del sistema de agitación de biodigestores hasta 50 m<sup>3</sup> de capacidad.
- ☞ Elaborar un programa de cálculo con la ayuda de Mathcad.
- ☞ Realizar una aplicación para el caso de un digester de 25 m<sup>3</sup> de capacidad.

## **CAPITULO II.**

### **FUNDAMENTOS TEORICOS.**

En este capítulo mencionamos los conceptos de biomasa, procesos de conversión de biomasa, proceso de digestión anaeróbica, sistemas de bio-digestión, bio-digestores y sistema de agitadores aplicados en biodigestores. Todos estos conceptos son necesarios para comprender como se realiza un proceso de digestión y saber como influyen algunos parámetros en la digestión anaeróbica y con estos conceptos tener en claro lo que se diseñará.

#### **2.01.- Definición de Biomasa.**

**Biomasa**, abreviatura de masa biológica, cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico. El término es utilizado con mayor frecuencia en las

discusiones relativas a la energía de biomasa, es decir, al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos.

El aprovechamiento de la bio-energía o el uso de la biomasa como fuente de energía ha sido la más antigua conocida por el hombre. Desde que el hombre aprendió a emplear el fuego, la cocción de alimentos ha llegado a ser una de las actividades fundamentales para su subsistencia. Para esto se han utilizado diferentes combustibles, entre ellos la biomasa vegetal.

Se conoce que casi tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía la leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, lo que provoca, junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas. En respuesta a esta situación surgen varias alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, que tienen bajo impacto ambiental y su fuente de energía es considerada renovable, una de ellas resulta la producción de biogás a partir de la fermentación de la materia orgánica.

La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, es la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo. En algunos casos también es el recurso económico más importante, como en Brasil, donde la caña de azúcar se transforma en etanol, y en la provincia de Sichuán, en China, donde se obtiene gas a partir de estiércol. Existen varios proyectos de investigación que pretenden conseguir un desarrollo mayor de la energía de biomasa, sin embargo, la rivalidad económica que plantea con el

petróleo es responsable de que dichos esfuerzos se hallen aún en una fase temprana de desarrollo.

## **2.02.- Procesos de Conversión de Biomasa.**

La biomasa como las plantas poseen energía solar que permanece encerrada, el cual es liberada al momento de ser devorada, quemado o descompuesta. Sin embargo es posible utilizar, además de las plantas verdes, los desechos orgánicos como materias primas para las bio-conversiones con la ventaja de utilizar fuentes potencialmente alimenticias, los cuales son reciclados en la agricultura, ganadería y piscicultura. Estos residuos que, por otro lado, son producidos por doquier (medio rural, urbano e industrial). Aunque actualmente, todavía se considera generalmente que los desechos orgánicos constituyen un problema antes que un recurso, es evidente que ellos serán utilizados más y más como materia prima para bio-conversiones energéticas y reciclaje. En nuestro país puede producirse millones de biomasa equivalente a millones de metros cúbicos de biogas considerando solamente algunos desechos orgánicos animales (vacunos, porcinos, ovinos, equinos, caprinos y aves) y vegetales (maíz, trigo, cebada y arroz).

Los procesos para convertir estos desechos en combustibles y fertilizantes pueden ser:

**2.02.1.- Conversiones de Alta Tecnología** .-Requieren altas temperaturas, presiones o agentes químicos corrosivos y tenemos los siguientes:

- **Pirolisis:** Es el calentamiento de madera o desechos orgánicos de naturaleza leñosa o celulosa en ausencia de aire a 200-900 °C, en el cual se produce gas pobre, aceite combustible y carbón.
- **Gasificación:** Consiste de un gasógeno que es un horno de pirolisis el cual se conecta una entrada de aire (u oxígeno) para convertir el carbón formado en un gas rico en monóxido de carbono, metano e hidrógeno.

**2.02.2.- Conversiones de Baja tecnología.**-Son procesos a baja temperatura y poco contaminantes, entre los cuales tenemos:

- **Fermentación Anaeróbica:** Es un proceso químico en el cual hay ausencia de aire, la materia orgánica es degradada por bacterias produciendo biogás. Dicho biogás está compuesto por metano (CH<sub>4</sub>), CO<sub>2</sub> y un residuo de alto poder nutritivo.
- **Fermentación Alcohólica y Destilación:** Consiste en la acción de levaduras sobre substratos azucarados (o almidones y celulosas hidrolizados) que produce alcohol en solución acuosa, el cual es destilado obteniéndose etanol a diferentes grados.

**2.02.3.- Otras conversiones** (procesos variados)

- Combustión Directa.

- Plantas Euforbiáceas que producen Combustible.
- Aceites vegetales combustibles o Estearificados con alcohol.

Dada la gran diversidad de procesos de bioconversión o bioenergéticos que existen, la que actualmente tienen mayores posibilidades económicas de aplicación a pequeña y mediana escala en el medio rural y urbano-marginal son: La combustión directa, la pirolisis y gasificación, la fermentación anaeróbica o tecnología del biogás. Esta última se desarrolla con mayor posibilidad dada su aplicabilidad universal y desarrollo en zonas rurales donde se utilizaría para generar electricidad y abono, como consecuencia de ello el desarrollo de comunidades.

### **2.03.- Proceso de Digestión Anaeróbica.**

La digestión anaeróbica es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa.

La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas.

La ocurrencia natural del fenómeno de la fermentación anaeróbica (o biodegradación metano génica) se manifiesta de una manera más familiar en el proceso de digestión de alimento por los animales, especialmente los rumiantes. Como estos no pueden asimilar directamente la celulosa, bacterias contenidas en la panza o rumen, descomponen la celulosa y la transforman en ácidos grasos simples y en biogás.

Los ácidos grasos son absorbidos por la pared de la panza alcanzando así la circulación sanguínea, y los gases son evacuados frecuentemente. Así la panza de los rumiantes es un generador de metano que rinde de 60 a 200 litros de gas por día y por vaca. Los excrementos de rumiantes son así un insumo excelente para el funcionamiento de los digestores de biogás pues no solo aportan materia orgánica biodegradable, sino también bacterias metano génicas.

### **2.03.1.- Descripción del Proceso de Digestión o Fermentación.**

La materia orgánica puede fermentarse aeróbica (con oxígeno) y anaeróbicamente (sin Oxígeno) produciendo principalmente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) en el primer caso y  $\text{CO}_2$  y metano ( $\text{CH}_4$ ) en el segundo.

Este proceso de fermentación anaeróbica, se produce en forma natural tal como se explicó anteriormente, sin embargo, puede efectuarse artificialmente en depósitos cerrados llamados “digestores”.

El método consiste en alimentar al digester con materiales orgánicos y agua con una proporción de 5 a 10 % de sólidos en sistemas continuos y hasta 20% en sistemas batch, dejándose un periodo de semanas (o meses) a lo largo de los cuales en condiciones químicas y ambientales favorables, se desarrolla un proceso bioquímico bacterial que va descomponiendo gradualmente la materia orgánica hasta producir grandes burbujas que fuerzan su salida a la superficie sobre la cual el gas se acumula. Los principales productos de este proceso son el biogás (gas combustibles) y el bioabono (excelente fertilizante).

### 2.03.2.- ***Bioquímica de la Fermentación Anaeróbica.***

El conocimiento de los factores microbiológicos y bioquímicos que ocurren en la fermentación metanogénica es indispensable para entender la cinética de este proceso, y esto permite controlarlo e incidir sobre ellos para obtener resultados satisfactorios.

Hoy se admite que en la fermentación bacteriana intervienen poblaciones microbianas diversas, en la que se distinguen tres etapas (Fig.2): solubilización, acidogénesis, y metanogénesis:

1. **Solubilización.**- La materia orgánica cruda formada por polímeros (proteínas, grasas y carbohidratos) entran en contacto con las bacterias hidrolíticas y fermentativas, las cuales convierten una variedad de compuestos orgánicos en otros productos como el ácido

acético,  $H_2$ ,  $CO_2$ . Compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados, aminoácidos, glicéridos, repetidos y azúcares.

En esta etapa el paso más limitante lo constituye la presencia de lignita, difícilmente degradable.

2. **Acidogénesis.**- Acetogénesis y deshidrogenación, donde los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos se degradan produciendo ácido acético,  $CO_2$  e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas.

Estas bacterias formadoras de ácidos, son también facultativas, es decir, viven tanto en presencia como en ausencia de aire.

3. **Metanogénesis.**- Las bacterias metanogénicas, que transforman el  $H_2$ ,  $CO_2$  y compuestos monocarbonados, por ejemplo el metanol, CO y la metilamina, en acetato, o pueden formar metano de la carboxilación del acetato.

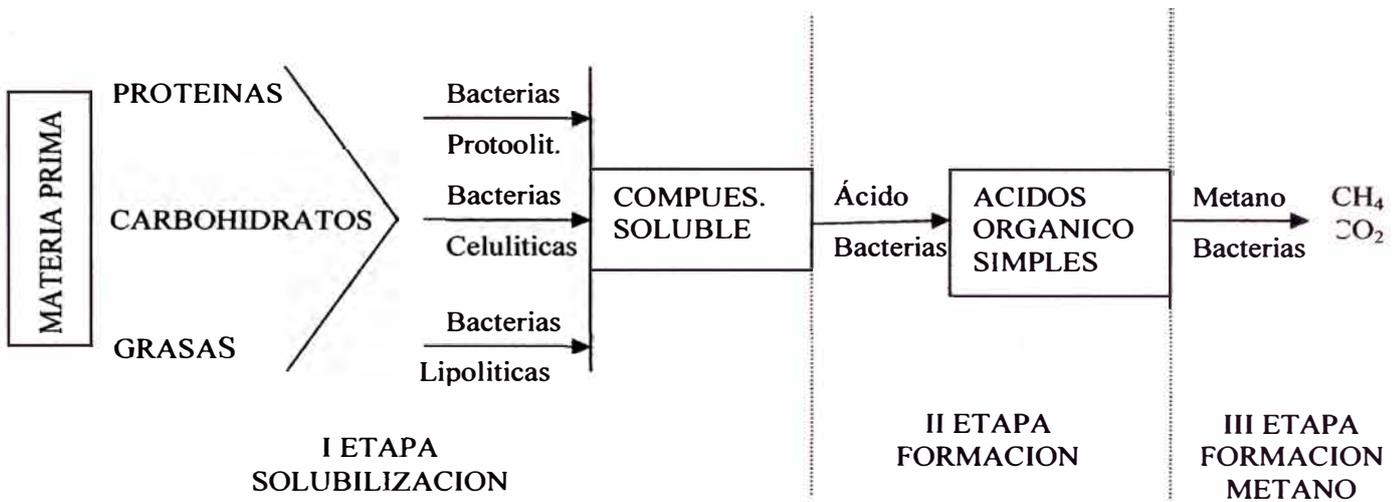
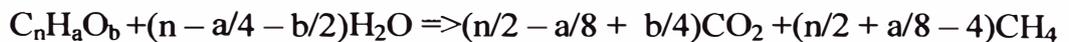


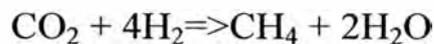
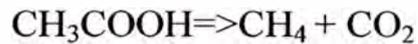
Fig. 2 Etapas De la Digestión Anaeróbica

La ecuación estequiométrica de Boswel es aplicable a la fermentación de la materia orgánica:



De modo que la degradación de la materia orgánica para producir metano, depende de la interacción de varios grupos diferentes de bacterias. Una operación estable del digestor requiere que estos grupos de bacterias se encuentren en un equilibrio dinámico y armónico. Los cambios en las condiciones ambientales pueden afectar este equilibrio, y resultar en un aumento de microorganismos intermediarios que pueden inhibir todo el proceso. Esto tiene una importancia extrema para comprender hacia qué direcciones se mueven los procesos microbiológicos y bioquímicos y poder dirigir el sistema de digestión para producir biogás.

La producción CH<sub>4</sub> se realiza por dos vías: fermentación de ácido acético y reducción de CO<sub>2</sub> por hidrogeno naciente (principales reacciones)



La acción de las metanobacterias en la tercera etapa es el factor clave para el desarrollo de la fermentación anaeróbica, pues estos microorganismos son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura, viven sólo en un rango muy estrecho de PH (6.7-8.0). Además, son sensibles a la toxicidad de ciertos materiales reduciéndose o hasta paralizándose la digestión. Algunos datos sobre estas toxinas se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1

TOXICIDAD EN LA ACTIVIDAD METAGONETICA

<i>Toxinas</i>	<i>Concentraciones-limite que cesan la producción de biogás</i>
Gas Amoniaco	1500-3000 mg/l a PH=7.4
Ion Amonio	3000 mg/l a Cualquier PH
Sulfuros solubles	50-100 mg/l, posiblemente 200 mg/l
Oleato de sodio	500 mg/l

### 2.03.3.- ***Parámetros Físicos-Químicos de la Fermentación Anaeróbica.***

Los parámetros más importantes que condicionan el éxito del proceso de fermentación anaeróbica, son la temperatura, la acidez o alcalinidad, la composición de materias empleadas (sobre todo la relación carbono-nitrógeno) y el tiempo de residencia o retención.

1. **Temperatura:** Controla la velocidad de crecimiento microbiano; la producción de biogás es más rápida a mayor temperatura. La descomposición anaeróbica se desarrolla en mejores condiciones dentro de los rangos 28-38 °C (rango mesofílico) con una temperatura óptima de 35°C y de 50-60 °C (rango termofílico). Las temperaturas del rango termofílico deben conseguirse con aporte de calor externo y la temperatura óptima es de 55°C.
2. **Acidez:** Un PH de 7.2 es lo más recomendable (rango aceptable 6.6-8), aunque al inicio de la fermentación el PH baja (acidez) por formación de ácidos orgánicos y CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el PH se regula automática y naturalmente al producirse metano (tercera etapa, si la carga esta bien formulada). En casos de excesiva acidez, se puede elevar el PH agregando cal o cenizas hasta restablecer el equilibrio.
3. **Proporción Sólido-Líquido:** Para sistemas continuos, una carga de alta dilución entre 6-10% en peso de sólidos secos totales, es lo más recomendable. Para calcularla se deberá tomar en cuenta la humedad contenida en la materia cruda (ver Tabla 2).

En sistema discontinuos, es mas conveniente trabajar con baja dilución (carga seca), entre 25-35% de sólidos totales.

4. **Proporción Carbono-Nitrógeno:** Las bacterias necesitan tanto carbono como nitrógeno para su crecimiento y reproducción (actividad metanogénica), pero consumen carbono de 25 a 30 veces más que el nitrógeno. Si hay demasiado carbono en la materia a fermentar, el proceso se hace mas lento y tienden a acidificarse si hay demasiado nitrógeno, este se perderá como amoniaco (el exceso), elevando el PH y reduciendo el poder fertilizante nutriente de los lodos efluentes así, el ratio C/N conveniente debe estar comprendido entre 25 y 30, y para lograrlo habrá que combinar materiales pobres en nitrógeno (pajas, rastrojos) con materiales ricos en nitrógeno (excreta, orina, estiércol, etc) ver Tabla 2.

TABLA 2

DESECHOS UTILIZADOS EN LA FERMENTACION ANAEROBICA

Características	Humedad %	Sólidos Carbono		Nitrógeno (Seco) %	C/N
		Totales %	(Seco) %		
Vacuno	79	21	32	1.5	21
Ovinos	73	27	60	3.7	16
Equinos(Caballos,mulas,bueyes)	75	25	47	2.4	20
Porcinos	69	31	73	2.6	28
Gallinas	44	56	7.2		12
Auquénidos	57	43	42	3.7	11
Cuyes	32	68	37.2	2.22	17
Conejo	20	8	47.2	2.02	23
<b><u>Vegetales</u></b>					
Chala de maíz	15	85	39	0.7	56
Paja de Arroz	8	92	41.2	0.7	56
Paja de Cebada	9	93	42.0	0.88	48
Paja de Trigo	8	92	46	0.53	87
Totorales	35	65	41	0.23	178
Hojas de Plátanos	89	11	42	1.1	38
Pastos	67	33	4	2.52	16
Hierbas Y Hojas Secas	50	50	41	1	41
<b><u>Desechos Urbanos</u></b>					
Aserrín	--	--	--	0.1	200-500
Basura	--	--	--	--	25
Aguas Residuales	--	--	--	--	11
Algas Marinas	--	--	--	--	19

Fuente: I curso de seminario nacional de capacitación en biogás. ITINTEC-UTC. Cajamarca, junio de 1983.

5. **Tiempo de Retención:** Este término se aplica sólo para los casos de sistemas continuos y semi-continuos. Es el tiempo necesario para cumplir una digestión óptima de las materia alimentados se define como la relación entre el volumen liquido de digestión y el volumen diario de alimentación lo que permite un régimen de alimentación practico. El usuario fija un tiempo de retención hidráulico dependiendo de las condiciones ambientales y características del substrato.
6. **Composición del Biogás:** Varía de un lugar a otro, de una planta a otra, incluso diariamente en función de los parámetros operaciones. Una composición aproximada es:

Metano	(CH <sub>4</sub> )	55-65	% (en Volumen)
Anhídrido Carbónico	(CO <sub>2</sub> )	34-45	%
Nitrógeno	(N <sub>2</sub> )	0.3	%
Hidrogeno	(H <sub>2</sub> )	0.1	%
Sulfuro de Hidrogeno	(H <sub>2</sub> S)	0.1	%

El metano, componente energético útil puede alcanzar 70% en el biogás con frecuencia. El biogás tiene un poder calórico de 5000 kcal/m<sup>3</sup> aproximadamente y el contenido de H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico) es nocivo en motores pues forma ácido sulfúrico y provoca corrosión; esto se separa por medio de una trampa de viruta de hierro. En la Tabla 3 se dan algunos datos de consumo de biogás de diverso origen.

TABLA 3  
CONSUMO DE BIOGAS

1 Lámpara	0.12 m <sup>3</sup> /hr
1 Quemador	0.30 m <sup>3</sup> /hr
1 Motor	0.5 m <sup>3</sup> /hp/hr
1 Lt. Agua (Hervir)	0.08 m <sup>3</sup>
2 Kg Papa (Coccion)	0.16 m <sup>3</sup>
1 Kg. Arroz (Coccion)	0.20 m <sup>3</sup>
2 Lt Leche (Coccion)	0.12 m <sup>3</sup>

*Fuente: Tecnología Energética y Desarrollo (1990).*

#### 2.03.4.- **Materias Orgánicas Digeribles.**

Entre las materias orgánicas las podemos clasificar en desechos rurales, urbanos e industriales.

1. **Desechos Rurales:** Tenemos el estiércol de animales, principalmente de vacunos, ovinos, porcinos, equinos, caprinos y aves de corral (estiércol). El estiércol es el material más adecuado, pues es el más balanceado en nutrientes y ya viene mecánicamente preparado. También son útiles los rastrojos de cosechas, legumbres y menestras frescas; hojas y desechos de tubérculos, hojas de árboles, pajas, etc. y por supuesto la excreta humana y cuya variación se da de acuerdo al

tipo de animal peso y calidad de alimentación de estos, la densidad aproximada de estiércol es aproximadamente 0.6 kg/ lt.

Para el proceso de digestión anaeróbica deben ser de preferencia desechos orgánicos y contener los nutrientes esenciales para el crecimiento y metabolismo de las metanobacterias. El contenido de sólidos volátiles, celulosa, lignina, proteínas y grasas varían mucho de un desecho a otro y aun en un mismo desecho.

En las siguientes Tablas 4, 5 y 6 podemos observar el potencial agropecuario y agrícola que posee el Perú, además el potencial de biogás.

TABLA 4

POTENCIAL AGROPECUARIO DEL PERU

<b>Clasificación</b>	<b>Número de animales</b>
Alpaca	3 026 087
Ave	79 917 446
Caprino	2 068 256
Llama	1 120 825
Ovino	14 256 187
Porcino	2 783 592
Vacuno	4 898 279
<b>Total</b>	<b>10 8070 672</b>

*Fuente: Ministerio de Agricultura, Dirección Nacional de Agricultura 1999.*

TABLA 5

PRODUCCION AGRICOLA EN EL PERU

<b>Producto</b>	<b>Cosecha (Ha)</b>	<b>Producción (Ton)</b>	<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>
Maíz Duro	237 592	807 588	3.379
Maíz amilácea	220 888	250 295	1.133
Maíz Choclo	42 924	338 608	7.890
Arroz Cáscara	310 453	1 946 850	6.271
Yuca	79 818	862 137	10.802
Papa	270 980	3 049 653	11.254
Caña de azúcar	60 006	6 302 392	103..29
Alfalfa	127 706	5 285 032	41.384
Fríjol Seco	74 146	69 804	0.941
Trigo	131 044	168 710	1.287
Quinoa	28 738	27 960	0.973

*Fuente: Ministerio de Agricultura (1999).*

TABLA 6

POTENCIAL DE BIOGAS A PARTIR DE LA BIOMASA RESIDUAL

<b>Desechos</b>	<b>Biomasa Residual 10<sup>6</sup> Ton/año</b>	<b>Volumen biogás 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/año</b>	<b>Energía 10<sup>12</sup> Kcal/año</b>
Estiércol de animales domésticos.	74.96	3.81	20.96
Rastrojo de cultivo de cereales.	19.20	3.08	16.94
Excreta Humana.	5.5	1.53	8.416
Total Nacional	99.66	8.42	46.316

*Fuente: Ministerio de agricultura (1999).*

2. **Desechos urbanos:** El tratamiento anaeróbico de desagües, basuras, rellenos sanitarios, desechos de mercados, etc. Son factibles de utilizar en plantas de diseño apropiado para cada caso, orientadas sobre todo a combatir la contaminación ambiental. En cuanto a desagües se podría producir 0.025 m<sup>3</sup> de biogás per capita al día (60% CH<sub>4</sub>).

Esto se puede apreciar en el caso de Lima metropolitana en la Tabla7.

TABLA 7

RESIDUOS SÓLIDOS CONTROLADOS Y NO CONTROLADOS EN  
LIMA METROPLITANA 1996-2001.

<b>Residuos Sólidos (Ton/año)</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
Recepcionados en rellenos Sanitarios.	459 035	618 552	706 777	724 494	581 410	593 054
No controlados.	764 390	639 127	692 127	68 191	830 202	902 467
Total	1 223 425	1 257 679	1 398 904	1 404 685	1 411 612	1 495 521

*Fuente: Municipalidad metropolitana de lima-supervisión municipal de servicios de  
limpieza SUMSEL.*

3. **Desechos industriales:** Existe un enorme potencial de recursos biodegradables anaeróbicamente que aún no está explotado ni investigado debidamente a nivel mundial, por ejemplo: los afluentes y residuos de las fábricas de azúcar y alcohol (cachaza, bagazo, melaza, vinaza), de conservas alimenticias, de papel, etc.

**2.04.- Sistemas de Biodigestion y Biodigestores.**

En forma general se clasifican, según su modo de operación, en régimen estacionario o de Batch, de régimen semi-continuo, y de régimen continuo.

#### 2.04.1.- **Sistemas Batch.**

Se cargan de una vez en forma total o por intervalos durante varios días, y la descarga se efectúa cuando han dejado de producir gas combustible. Es aplicable cuando se presenten problemas de manejo o cuando la mano de obra está disponible de forma intermitente. El modelo de biodigestor más conocido es el OLADE-GUATEMALA, apropiado para cargar vegetales, y “secas”; puede emplearse en el tratamiento de basura orgánica.

#### 2.04.2.- **Sistemas Semi-continuos y Continuos.**

Este tipo de digestor es más utilizado en la zona rural, cuando se trata de sistemas de uso doméstico. Se cargan por gravedad una vez al día con volúmenes de mezcla que depende del tiempo de fermentación. Producen una cantidad de gas constante al día.

Actualmente se conocen dos diseños tradicionales de biodigestores de pequeña capacidad (hasta 50 m<sup>3</sup>) de producción de biogás, en dependencia de su origen: «hindú» y «chino».

1. De **campana flotante o tipo hindú** (Fig 3), que es el más popular en ese país donde varias instituciones hasta 1985 han construido diferentes tipos de estas plantas resultando en la instalación de más de 460 000 unidades. Aunque una parte fueron construidas con ladrillos, cemento y acero para la campana que flota sobre el residual del digestor que es

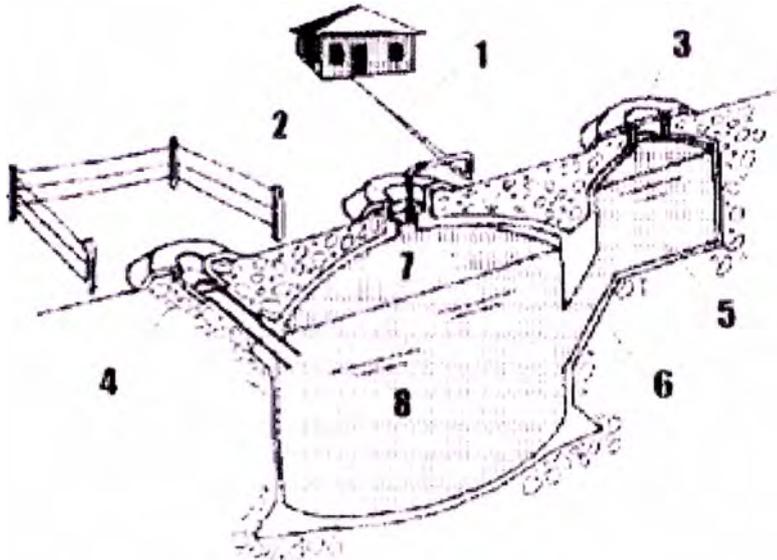
donde se almacena el biogás, más tarde se desarrolló la tecnología con campana de diversos materiales como: ferrocemento, fibra de vidrio, de polietileno de alta densidad, de PVC, de láminas rígidas de PVC y hasta de cemento y bambú. Esta variante se construye de forma vertical u horizontal y en cuanto a su uso social y volumen pueden ser individuales o comunales.



*Fig.3. Digestor Tipo Hindú.*

2. De *tipo chino o de cúpula fija* (Fig.4). Alrededor de 7 millones de plantas han sido construidas en China, las cuales son fabricadas de distintas formas y capacidades, y con diferentes materiales, pero tienen un diseño básico en el que el biogás es colectado en una cúpula fija. En Tailandia se ha diseñado este tipo de biodigestor pero con anillos de bambú, mientras los coreanos desarrollaron uno de bajo costo que consiste en un tanque de ladrillos y cemento cubierto con lona de PVC. Estas instalaciones tienen como ventaja su elevada vida útil (pueden

llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.

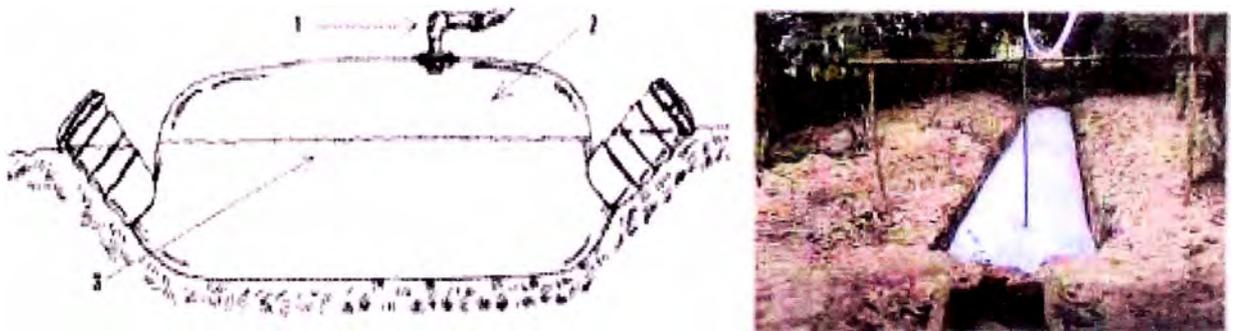


*Fig. 4. Esquema del digestor chino:*  
1. tubería de salida del gas; 2. Sello removible;  
3. Tapa móvil; 4. Entrada; 5. Tanque de desplazamiento;  
6. Tubería de salida; 7. Almacenamiento de gas; 8. Materia orgánica

En la actualidad se han probado nuevos diseños que han logrado disminuir considerablemente los costos iniciales de los biodigestores, una de estas es:

3. Del tipo tubular o de "plug flow" hechos de goma, polietileno o Red-Mud-Plastic (RMP) Fig.5. Este último material fue desarrollado por primera vez en Taiwán y después en China donde ha demostrado sus excelentes cualidades para ser usado en biodigestores. Este material, producido en forma laminar, es una mezcla de lodos rojos residuales de la extracción de la bauxita y contiene PVC, plasticador, estabilizador y otros ingredientes. Al principio los digestores de RMP se hacían

tubulares. Más tarde se construyeron en forma de tiendas de campaña. También de esta forma se han construido biodigestores en Nepal, pero de PVC. Entre sus desventajas se halla su bajo tiempo de vida útil, lo que hace necesario montar una nueva instalación cada tres años. También es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre y los animales.



*Fig. 5. Esquema del digestor de polietileno tipo saco y ejemplo del digestor de polietileno tipo gusano. 1. Válvula de salida; 2. Almacenamiento de biogás; 3. Nivel del agua con materia orgánica.*

4. Con **distintas variantes** y diferentes tipos de materiales como por ejemplo: la Surahi, el sistema JWALA, que es con agitador, digestor de ladrillos y cemento con cúpula de polietileno de baja densidad y diferentes detalles constructivos y las del tipo andino, entre otras, que es con calentamiento solar. Además de los digestores señalados anteriormente existen otros sistemas de tratamiento anaerobio para depurar residuales como los filtros anaerobios y los reactores UASB, además de combinaciones mixtas de estos dos.

### 2.04.3.- *A nivel industrial.*

Se utilizan sistemas continuos como los biodigestores convencionales de tanque agitado, sistemas de contacto, reactores de alta eficiencia (UASB, filtro anaeróbico, lecho expandido, fluidizo), principalmente para el tratamiento de afluentes urbanos e industriales.

Las instalaciones industriales de producción de biogás (Fig.6) emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado.

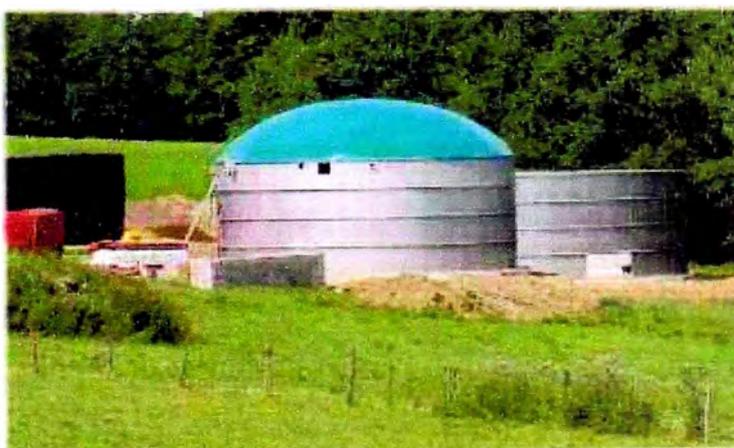
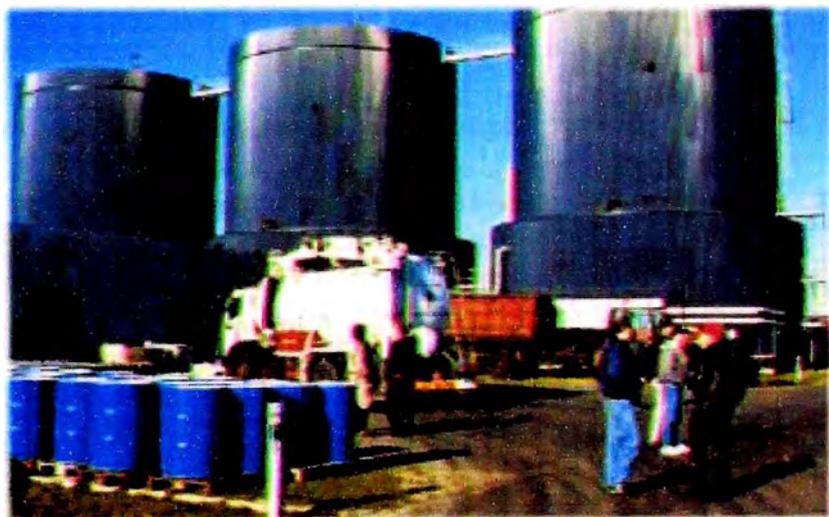
Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento construidos de ladrillo u hormigón.

Con el objetivo de lograr su mejor funcionamiento se usan sistemas de bombeo para mover el material orgánico de los estanques de recolección hacia los biodigestores, y el biofertilizante de los digestores hacia los tanques de almacenamiento. También se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás con vistas a lograr que éste llegue hasta el último consumidor.

Para evitar los malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y

seguridad y tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación.

La tendencia mundial en el desarrollo de los biodigestores es lograr disminuir los costos y aumentar la vida útil de estas instalaciones, con el objetivo de llegar a la mayor cantidad de usuarios de esta tecnología.



*Fig.6 Ejemplo de Digestores Industriales.*

El ITINTEC experimentó con todo tipo de digestores, tanto rural como industriales, realizando diversas instalaciones en Puno, Cajamarca,

Arequipa, Ayacucho, Madre de Dios y Lima, con la activa participación de las universidades locales que fueron probadas con bastante éxito y cuyos resultados se mostraron en los diversos seminarios realizados con ese propósito, también se publicó un manual de auto construcción de un digestor modelo chino.

Las últimas investigaciones a nivel mundial se refieren principalmente a optimizar los biodigestores de alta eficiencia por las grandes ventajas que presentan, como la reducción del tamaño del reactor, bajos tiempos de retención, alta reducción de la carga orgánica, etc. Si bien la mayor parte de estas investigaciones son a nivel de laboratorio, existen actualmente algunas plantas a FULL-ESCALA en diferentes partes del mundo que están tratando substratos diversos, como desagües domésticos, efluentes de industrias alimentarias, cultivos energéticos (en sistemas de dos etapas), efluentes agroindustriales (vinazas, efluentes aislados), estiércoles diluidos, lixiviador de basura, etc.

Los sistemas combinados de tratamientos de desagües y basura domestica se muestran bastantes atractivos. Como ilustración se comentan que existe una planta en un complejo universitario de 15000 estudiantes, donde se emplean reactores de tipo batch para basura y reactores UASB con filtro anaeróbico para los desagües.

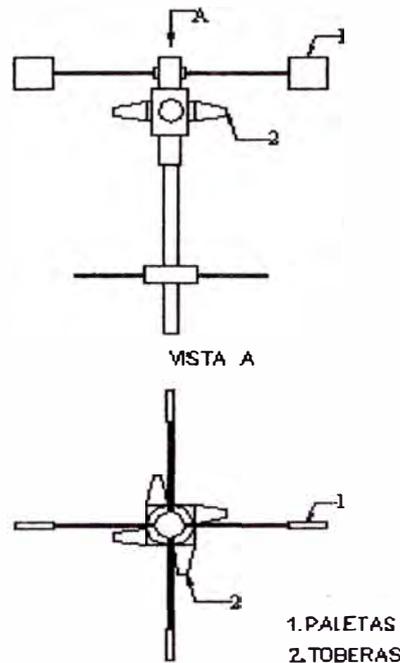
## **2.05.- Estado del Arte.**

Aquí se muestra algunos agitadores utilizados en plantas de biogás tales como:

### 2.05.1.- *Sistema de Agitación Neumático.*

**Resumen:** Este dispositivo "Sistema de Agitación Neumático" se relaciona con la rama de Biotecnología y Bioingeniería específicamente con los equipos agitados, y en particular con los fermentadores sumergidos.

El objetivo que se persigue este sistema es la sustitución de la agitación a través de transmisiones mecánicas en los fermentadores sumergidos por un sistema de agitación neumático que permita utilizar un flujo de aire como fuente de energía de movimiento para el sistema motriz de agitación y además eliminar el sellaje aséptico característico de los sistemas de transmisión mecánica, todo mediante un diseño constructivo sencillo.



*Fig.7 Sistema de Agitación Neumático.*

El agitador neumático (Fig.7) consiste de una tubería central fija que lleva acoplado en su superficie un sistema motriz de agitación sobre rodamientos sellados, compuesto dicho sistema por un conjunto de toberas orientadas simétricamente a 90 grados alrededor de la superficie del sistema antes mencionado de forma tal que al circular un flujo de aire a presión a través de las mismas provoque el torque deseado que hace girar el sistema motriz de agitación conjuntamente con un conjunto o conjuntos de paletas ubicadas en el mismo y que a través de las cuales se agita el medio de fermentación.

Este dispositivo de agitación puede ser aplicado además en cualquier equipo que requiera de agitador siempre que el medio a agitar sea similar al existente en los fermentadores sumergidos.

#### 2.05.2.- ***Sistema de Agitación Mecánico.***

**Resumen:** El Agitador Mecánico se relaciona con la rama de la Industria Mecánica y en particular con los equipos para mezcla y agitación de fluidos de la Industria Química.

El objetivo de este sistema consiste en mejorar el régimen y uniformidad de mezclado de los agitadores convencionales, con una forma atípica de movimiento del impelente (rotación simultánea con traslación alternativa ascendente-descendente), mediante una solución mecánica simple, en su conjunto, partes y piezas, con requisitos

mínimos para su construcción y mantenimiento, respecto a los sistemas análogos encontrados en la industria.

El Agitador consiste en un núcleo de acero hueco, portador de las paletas para la agitación, montado sobre un eje vertical que gira junto con él y simultáneamente se desplaza de extremo a extremo del eje continuamente, conducido por una tuerca montada sobre el eje, con simple apoyo al bastidor (deflector de flujo) que evita su rotación, estando obligada a moverse en sentido axial cuando el eje gira y es conducida alternadamente, sobre dos surcos helicoidales de sentidos de hélice opuestos, para el ascenso y el descenso respectivamente.

Una aplicación de este tipo de agitación mecánica la encontramos en la planta de biogás que se encuentra en Pampas de Argentina y fue realizado por la universidad Nacional de Pampa. En esta primera experiencia se optó por usar sólo el estiércol de uno de los ordeños diarios para un sistema de carga continuo en un digestor tipo hindú. Un volumen de  $42\text{m}^3$  queda definido por una envolvente vertical constituida por una pared doble. Una carpeta de cemento alisado de 0,05 m de espesor protegerá la serpentina de cobre interior, en forma de espiral, que se usará para calentar el digestor. Un sistema de acero inoxidable, accionado por un motor, y en forma de estrella con cadenas cada 50 cm en cada aspa, permitiría el mezclado del estiércol, tal como se muestra en la Fig.8. Una cámara de descarga, dividida en dos sectores permitirá recoger el lodo residual ubicado en

la parte inferior y el líquido. La campana, de 3 metros de altura, reforzada con costillas interiores permitirá contener el gas. El costo total del digestor, en la región en estudio, asciende a \$31699,5.

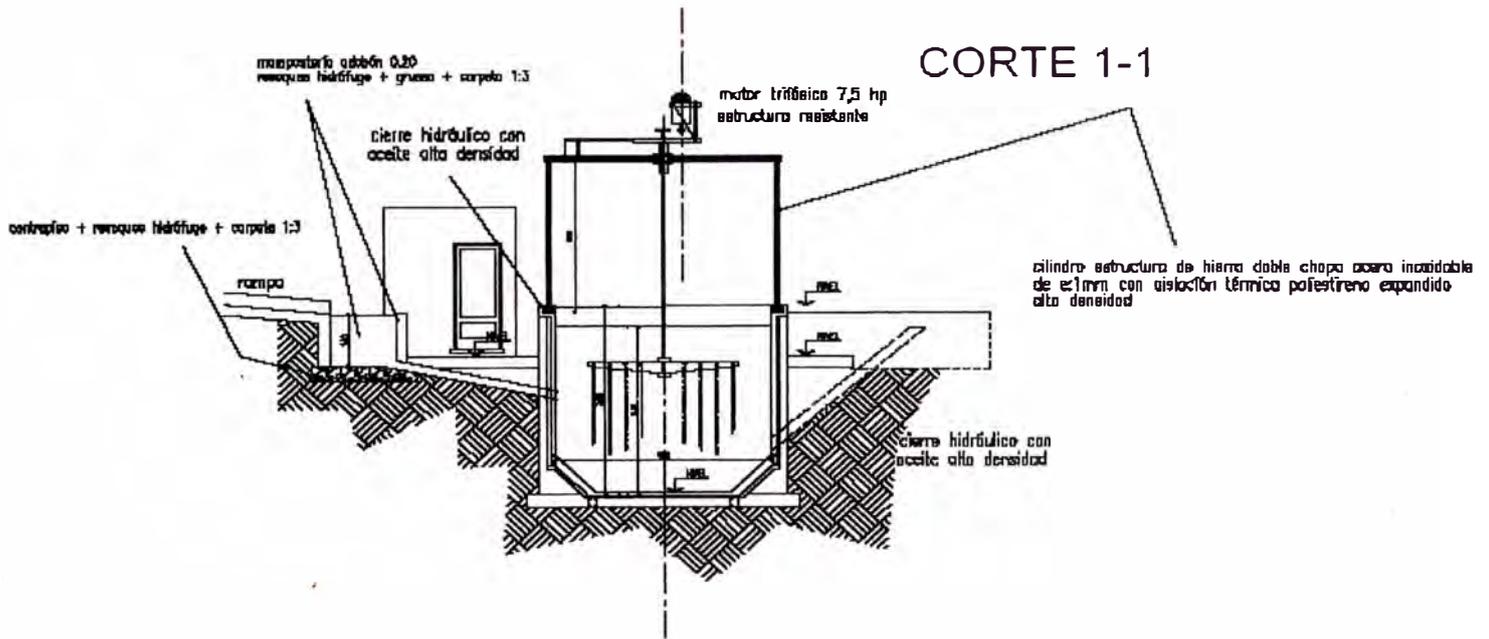


Fig. 8. Agitador de Accionamiento Mecánico Instalado en un Digestor de 42 m<sup>3</sup>.

## **CAPITULO III.**

### **TECNOLOGIAS DE SISTEMAS DE AGITACION.**

En este capítulo daremos a conocer algunas definiciones y conceptos relacionados a agitadores. Tales como tipos de agitadores, tipos de flujos y ventajas de utilizar agitadores en biodigestores. Para comprender estos conceptos de agitación definiremos en primer lugar el concepto de agitación y mezcla.

#### **3.01.- Concepto de Agitación y Mezcla.**

El éxito de muchas operaciones industriales depende de la efectiva agitación y mezcla de fluidos. Aunque con frecuencia se les confunde, la agitación y mezcla no son sinónimas. La agitación se refiere al movimiento inducido en un material de una manera específica, normalmente en un patrón circulatorio dentro de algún tipo de contenedor. La mezcla es una distribución aleatoria, dentro y a través una de otra, de dos o mas fases inicialmente

separadas. Un material homogéneo simple, tal como un tanque lleno con agua fría, puede ser agitado, pero no puede ser mezclado mientras se le adhiere algún otro material (tal como una cantidad de agua caliente o un sólido en polvo).

El termino mezcla se aplica a una variedad de operaciones, que difieren ampliamente en el grado de homogeneidad del material “mezclado” considerando, en un caso, dos gases que se ponen juntos y que se han de mezclar totalmente , y un segundo caso donde arena , grava, cemento y agua fluyen muy rápido en un tambor rotatorio durante un largo periodo. En ambos casos se dice que el producto final esta mezclado. Aunque es obvio que los productos no son igualmente homogéneos. Las muestras de gases mezclados- incluso cuando las muestras son muy pequeñas- tiene toda la misma composición. Por otra parte, muestras pequeñas de concreto mezclado difieren mucho en su composición.

### **3.02.- Tipos de Agitadores.**

Los agitadores se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del agitador y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial. Los primeros se llaman agitadores de flujo axial y los segundos agitadores de flujo radial.

Los tres tipos principales de agitadores son, de hélice, de paletas, y de turbina. Cada uno de estos tipos comprende muchas variaciones y subtipos que no consideraremos aquí. En algunos casos también son útiles agitadores

especiales, pero con los tres tipos antes citados se resuelven, quizás, el 95% de los problemas de agitación de líquido.

### 3.02.1.- *Agitadores De Hélice.*

Un agitador de hélice, es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos. Los agitadores de hélice más pequeños, giran a toda la velocidad del motor, unas 1 150 ó 1 750 rpm; los mayores giran de 400 a 800 rpm. Las corrientes de flujo, que parten del agitador, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. La columna de remolinos de líquido de elevada turbulencia, que parte del agitador, arrastra en su movimiento al líquido estancado, generando un efecto considerablemente mayor que el que se obtendría mediante una columna equivalente creada por una boquilla estacionaria. Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño. Para tanques extraordinariamente grandes, del orden de 1500m<sup>3</sup> se han utilizado agitadores múltiples, con entradas laterales al tanque.



*Fig.9. Agitador Tipo Hélice*

El diámetro de los agitadores de hélice, raramente es mayor de 45 cm, independientemente del tamaño del tanque. En tanques de gran altura, pueden disponerse dos o más hélices (Fig.9) sobre el mismo eje, moviendo el líquido generalmente en la misma dirección. A veces dos agitadores operan en sentido opuesto creando una zona de elevada turbulencia en el espacio comprendido entre ellos.

También con frecuencia se utilizan para agitación en tanques de menos de 1000 galones (4 m<sup>3</sup>) o menos de 6 pies (1.83 m) de diámetro, cuando resultan satisfactorios menos de 3hp, para obtener los resultados deseados en el procesamiento.

Para la suspensión de sólidos, es común utilizar unidades de transmisión de engranajes, mientras que para reacciones rápidas o de dispersión rápida, son más apropiadas las unidades de alta velocidad como son los agitadores de hélice.

### 3.02.2.- *Agitadores De Alta Eficiencia.*

Para problemas sencillos, un agitador eficaz está formado por una paleta plana, que gira sobre un eje vertical. Son corrientes los agitadores formados por dos y 3 paletas. Estos sistemas de agitación son recomendables para viscosidades superiores a 20 pa.s. Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas. Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo. Las paletas también pueden adaptarse a la forma del fondo del tanque, de tal manera que en su movimiento rascan la superficie o pasan sobre ella con una holgura muy pequeña. Un agitador de este tipo se conoce como agitador de ancla. Otro tipo de agitador es de tipo cinta helicoidal siendo su diámetro cercano al diámetro interior del tanque, lo que garantiza el movimiento del líquido en todas las direcciones a la pared del tanque aun con materiales muy viscosos de hasta 25 000 Pa.s. Estos agitadores son útiles cuando se desea evitar el depósito de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, como ocurre en un tanque enchaquetado, pero no son buenos mezcladores. Generalmente trabajan conjuntamente con un agitador de paletas de otro tipo, que se mueve con velocidad elevada y que gira normalmente en sentido opuesto.

Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm. La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden de 60 al 80% del diámetro interior del tanque. La anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud. A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas. De lo contrario el líquido se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla.

### 3.02.3.- *Agitadores De Turbina*

Son útiles para volúmenes de 1000 galones (4m<sup>3</sup>) a 50000 galones (189 m<sup>3</sup>), las más pequeñas, de aspas múltiples, se conocen como “turbinas”; las mayores, de velocidades mas bajas, con tres a cuatro aspas, se denominan ruedas de paletas. El diámetro de una turbina se encuentra normalmente entre 0.3 y 0.5 del diámetro del tanque.

La mayor parte de operaciones de agitación en gran escala de suspensión de sólidos – líquido se hacen con ruedas de paletas de turbinas que se introducen por la parte superior. La potencia puede ir de 1 a 1000 hp. La velocidad suelen ser de entre 50 y 150 rpm; no obstante, según las condiciones de procesamiento, puede llegar hasta 400 o a solo 15 rpm.

Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades hasta 5 pa.s (5000 cP); en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado. En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.



*Fig10. Algunas Formas de Agitadores Tipo Turbina*

El agitador de turbina semiabierto, conocido como agitador de disco con aletas, se emplea para dispersar o disolver un gas en un líquido. El gas entra por la parte inferior del eje del rodete; las aletas lanzan las burbujas grandes y las rompen en muchas pequeñas, con lo cual se aumenta grandemente el área interfacial entre el gas y el líquido.

Para la circulación y el mezclado, con el fin de obtener uniformidad, la paleta se debe situar a una tercera parte de la profundidad del líquido, por encima del fondo del recipiente, a menos que haya material que se deposite con rapidez o que sea preciso revolver un recipiente casi vacío, para lo cual se necesitara situar la hélice mas bajo.



*Fig.11. Agitador de Paletas Rectas*

### **3.03.- Tipos de Flujo Presente en Tanques Agitados.**

El tipo de flujo que se produce en un tanque agitado, depende del tipo de rodete, de las características del fluido y del tamaño y proporciones del tanque, placas deflectoras y agitador. La velocidad del fluido en un punto del tanque tiene tres componentes y el tipo de flujo global en el mismo, depende de las variaciones de estas tres componentes de la velocidad, de un punto a otro. La primera componente de velocidad es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del rodete. La segunda es longitudinal y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es tangencial o rotacional, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete.

Para el caso corriente de un eje vertical, las componentes radial y tangencial están en un plano horizontal y la componente longitudinal es vertical. Las componentes radial y longitudinal son útiles porque dan lugar al flujo necesario para que se produzca la mezcla. Cuando el eje es vertical y está dispuesto en el centro del tanque, la componente tangencial de velocidad es generalmente perjudicial para la mezcla. El flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje y crea un vórtice en la superficie del líquido que debido a la circulación en flujo laminar, da lugar a una estratificación permanente en diferentes niveles de sustancias sin mezclar, sin que exista flujo longitudinal de un nivel a otro. Si están presentes partículas sólidas, las corrientes circulatorias tienden a lanzar las partículas contra la pared del tanque, debido a la fuerza centrífuga, desde donde caen acumulándose en la parte central del fondo del tanque. Por consiguiente en vez de mezcla, se produce la acción contraria.

En un tanque sin placas deflectoras, el flujo circulatorio es inducido por todos los tipos de rodete, tanto si el flujo es axial como radial. Si los remolinos son intensos, el tipo de flujo dentro del tanque es esencialmente el mismo, independientemente del diseño del rodete. Para velocidades de giro del rodete elevadas, la profundidad del vórtice puede ser tan grande que llegue al rodete mismo, dando lugar a que en el líquido se introduzca el gas que está encima de él, lo cual normalmente debe evitarse.

- **Colocando el agitador fuera del eje central del tanque.** En tanques pequeños se debe colocar el rodete separado del centro del tanque, de tal

manera que el eje del agitador no coincida con el eje central del tanque. En tanques mayores el agitador puede montarse en forma lateral, con el eje en un plano horizontal, pero no en la dirección del radio.

- **Instalando placas deflectoras.** Estas son placas verticales perpendiculares a la pared del tanque. En tanques pequeños son suficientes 4 placas deflectoras, para evitar remolinos y formación de vórtice. El ancho de las placas no debe ser mayor que un doceavo del diámetro del tanque. Cuando se usan agitadores de hélice, el ancho de la placa puede ser de un octavo del diámetro del tanque. Si el eje del agitador está desplazado del centro o inclinado, no se necesitan placas deflectoras.

Cuando no se presentan remolinos, el tipo de flujo específico depende del tipo de rodete:

- Los agitadores de hélice impulsan el líquido hacia el fondo del tanque, desde donde la corriente se extiende subiendo por las paredes y retornando hacia la hélice. Se emplean cuando se desean intensas corrientes verticales, por ejemplo para mantener en suspensión partículas sólidas pesadas. No se emplean cuando la viscosidad del líquido es superior a los 5.000 centipoises.
- Los agitadores de alta eficiencia producen un flujo radial intenso en el plano próximo a las palas, pero prácticamente no dan lugar a corrientes verticales. Estos agitadores no son eficaces para mantener sólidos en suspensión.

- Los agitadores de turbina impulsan al líquido radialmente contra las paredes laterales del tanque, desde donde la corriente se divide, una parte fluye hacia arriba y otra parte hacia el fondo, retornando ambas al rodete. Por lo que producen dos corrientes de circulación separadas, dan excelentes resultados en la mezcla de líquidos que tienen aproximadamente la misma densidad relativa y en la suspensión de sólidos.

### **3.04.- Ventajas del Uso de Agitadores en Biodigestores.**

Las ventajas que se obtienen al utilizar agitadores son:

- ◆ Permite la transferencia de calor entre la mezcla y un serpentín o encamisado, son los casos en que los digestores utilizan un sistema de calentamiento para mantener una temperatura termofílico (Sec.2.03.3).
- ◆ Permite mantener en equilibrio dinámico a los formadores de ácido y metano, produciendo un mejor proceso anaeróbico, ya que genera una mejor interacción de las bacterias formadores de metano con la materia fermentada.
- ◆ Una agitación continua se utiliza para digestores de alta carga, los tiempos de retención hidráulica son alrededor de la mitad que los de baja carga. La tasa de producción de gas en alta carga casi duplica la de baja carga.
- ◆ Mantiene un flujo suave y continuo, evitando la formación de nata (Sec.1.02) debido a la acción mecánica del agitador.

## **CAPITULO IV.**

### **PROPUESTA TECNOLOGICA DE DISEÑO.**

En este capítulo se procederá a realizar las consideraciones para el diseño y alcances de algunos conceptos para la selección adecuada de parámetros de diseño, todas estas consideraciones se basa en la literatura encontrada acerca de sistemas de agitación y biodigestores.

#### **4.01.- Diseño Conceptual.**

Como se sabe, los biodigestores tienden a formar una capa de nata, la cual es una capa dura que impide que el gas salga al exterior, es decir impide la producción de metano, así como también los tiempos de retención son largos debido a que las bacterias no llegan uniformemente a toda la materia

fermentada. Por ello la necesidad de un sistema de agitación, el cual con el movimiento del agitador romperá la capa de nata, permitirá que la producción de gas aumente, el tiempo de retención sea corto y la transferencia de calor en el biodigestor sea mayor, en caso de contar con un sistema de calentamiento.

Para tales fines planteamos un procedimiento de diseño de un sistema de agitación aplicado a cualquier mezcla de estiércol utilizado como carga, teniendo en cuenta la densidad y viscosidad. En cuanto a la capacidad del biodigestor se considera hasta 50 m<sup>3</sup>. Se debe tener en consideración que la mezcla que presente en el biodigestor es una mezcla de estiércol con agua en diferentes proporciones, dependiendo principalmente de la humedad que presenta y debe contener un 5 a 10 % de sólidos que es más apropiado, sobre todo, para el funcionamiento de plantas continuas; y para sistemas discontinuos se debe trabajar hasta 20% de sólidos.

De acuerdo a la aplicación de agitadores (Sec.2.05) los más recomendables para la agitación de la mezcla son los agitadores de turbina de paletas rectas de cuatro aspas, el cual presenta un flujo radial. Las características de este tipo de agitador se han presentado en la sección 3.02.3.

#### **4.02.- Consideraciones Generales de Diseño.**

Para definir los parámetros generales y consideraciones para el diseño se recomienda seguir un orden que puede ser modificado de acuerdo a las necesidades particulares. El proceso a seguir es el que se muestra en la revista

técnica chemical engineering, Abril, 1976; “Liquid Agitation”, en el cual se debe contar con las siguientes informaciones: Aplicación del agitador, descripción del proceso, clasificación del diseño, variables primarias, escala de agitación, información adicional. A continuación definiremos cada una de éstas en sus múltiples posibilidades.

1. **Aplicación del agitador:** Como sabemos existe un sin número de aplicaciones de agitador como: tanque de lodos minerales, en pulpa de papel, reactores químicos, mezclas de pintura, etc. Para nuestro caso será: la agitación en tanque de digestores.
2. **Descripción del proceso:** En este caso se destina para mezclar de sólidos, líquidos, gases; creación de movimiento; creación de suspensión de sólidos; etc. Para nuestro caso será: creación de movimiento.
3. **Clasificación de diseño:** Se tiene mezclado de sólido-líquido, mezclado de líquido-líquido, mezclado y movimiento, suspensión de sólidos, etc. En nuestro caso tenemos: mezclado y movimiento.
4. **Variables primarias:** Se considera: dimensiones, viscosidad de la mezcla y gravedad específica, etc.

Definimos la capacidad de digestor hasta  $50 \text{ m}^3$  y la viscosidad del material a utilizar varía de 2000 a 2500 cP, la gravedad específica de la mezcla varía de 0.6 a 1.5.

5. **Escala de agitación:** la escala de agitación está ligada a la velocidad de la mezcla ( $V_m$ ) y puede ser obtenida de la Tabla 8.

TABLA 8

REQUERIMIENTOS DEL PROCESO PARA DETERMINAR EL GRADO DE AGITACION.

Escala de	Velocidad	Descripción
Agitación	De Mezclado pie/min (m/s)	
1	6 (0.03)	<p>Los niveles de agitación 1 y 2 son característicos de la aplicación que requieren velocidades de flujo mínimas para alcanzar el resultado del proceso.</p>
2	12 (0.06)	<p>Los agitadores de nivel 2 serán capaces de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si las diferencias de sus <math>\rho_e</math> (gravidades específicas) son menores que 0.1.</li> <li>* Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la viscosidad del más viscoso es menor que 100 veces la del otro.</li> <li>* Establecer un control completo de lodo.</li> <li>* Producir una superficie llana pero en movimiento, del espesado.</li> </ul>
3	18 (0.09)	<p>Los niveles de agitación 3 al 6 son características de las velocidades de fluido usadas en muchos procesos de industrias químicas.</p>
4	24 (0.12)	<p>Los agitadores del nivel 6 serán capaces de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la diferencia de sus <math>\rho_e</math> son</li> </ul>

---

		menores que 0.6
5	30 (0.15)	<ul style="list-style-type: none"><li>* Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la viscosidad del mas viscoso es menor que 10000 veces del otro.</li><li>* Suspender sólidos (&lt;2%) con rangos de sedimentación entre 2 a 4 pie/min.</li></ul>
6	36 (0.18)	<ul style="list-style-type: none"><li>* Producir ondas superficiales a bajas viscosidades.</li></ul>
7	42 (0.21)	Los niveles de agitación del 7 al 10 son característicos de las aplicaciones que quieren altas velocidades de flujo para obtener el resultado del proceso tal como en los reactores.
8	48 (0.24)	Los agitadores del nivel 10 son capaces de: <ul style="list-style-type: none"><li>* Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la diferencia de sus gravedades especificas son menores que 1.0</li></ul>
9	54 (0.27)	<ul style="list-style-type: none"><li>* Mezclar fluidos hasta uniformizarlos si la viscosidad del mas viscoso es menor que 100000 veces la del otro.</li><li>* Suspender los sólidos (&lt;2%) con velocidades de sedimentación entre 4 y 6 pie/min.</li></ul>
10	60 (0.30)	<ul style="list-style-type: none"><li>* Proveer un oleaje sobre la superficie a bajas viscosidades.</li></ul>

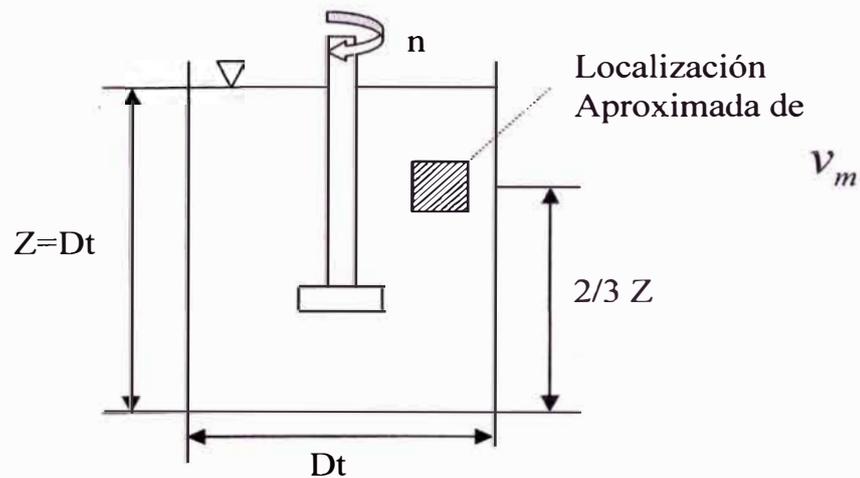
---

*Fuente: Chemical Engeneering Abril, 26, 1976.*

La velocidad de la mezcla referida en la Tabla 8 es la que tendrá el fluido a 2/3 de la base del tanque.

Una manera indirecta de medir la cantidad de movimiento del líquido en un tanque agitado es por medio de la velocidad. Como la velocidad radial real es difícil de medir y depende de su punto de aplicación dentro del tanque, se ha definido una velocidad artificial llamada “velocidad de volumen”. Esta define la capacidad de agitación del agitador dividida entre el área de la sección transversal del tanque.

A partir de la Tabla 8 “requerimiento del proceso para determinar el grado de agitación de la metodología publicada por “Chemical Engineering”, consideramos una escala de agitación 7 que corresponde a una velocidad de mezcla de:  $v_m = 42$  pie/min.



*Fig.12 Localización de la Velocidad de Mezclado.*

Esta velocidad es adecuada para nuestros requerimientos de mezcla a baja velocidad del agitador.

6. *Información adicional:* Estos datos adicionales podrían ser necesarios de acuerdo al caso que se esté tratando: velocidad de sedimentación, granulometría, etc.

En nuestro caso no tenemos datos adicionales de mezcla.

### **Resumen de Consideraciones generales de diseño:**

1. *Aplicación del agitador:* Agitación en tanques de digestores.
2. *Descripción del proceso:* Creación de movimiento.
3. *Clasificación de diseño:* Mezclado y movimiento.
4. *Variables primarias:* Capacidad de digestor hasta 50 m<sup>3</sup> con una viscosidad a utilizar 2.5 Pa.s y densidad relativa 1.5.
5. *Escala de agitación:* La escala de agitación tomada es 7, la cual corresponde a una velocidad de mezcla ( $V_m$ )= 42 pie/min.
6. *Información adicional:* No requerida.

### **4.03.- Parámetros y procesos de cálculo.**

Con el objetivo de realizar un procedimiento de diseño para digestores hasta 50m<sup>3</sup>, partimos primero por definir las consideraciones de diseño (Sec. 4.02) y luego realizamos los siguientes pasos.

#### **4.03.1. *Cálculo de Capacidad Requerida de Bombeo del Agitador (Q).***

La metodología considera un diámetro equivalente para un tanque de lote “cuadrado”, que es aquel cuya altura de líquido es igual

al diámetro del tanque, por lo tanto hallaremos el diámetro equivalente  $T_{eq}$  (m).

$$\frac{\pi}{4} T_{eq}^3 = V_{ol} \dots\dots\dots(4.1)$$

Donde:  $V_{ol}$  = Volumen del digestor ( $m^3$ ).

A partir de esta relación determinamos el diámetro equivalente, ya que se tiene como dato el volumen del digestor, luego se calcula la capacidad requerida de bombeo del agitador:

$$Q = A \cdot v_m = \frac{\pi}{4} T_{eq}^2 \cdot v_m \dots\dots \dots(4.2)$$

Donde:  $Q$  = Capacidad requerida ( $m^3/s$ ).

$A$  = Área transversal del tanque ( $m^2$ ).

$v_m$  = velocidad de mezcla ( $m/s$ ).

#### 4.03.2. ***Cálculo del Diámetro del Rotor (D).***

Como se ha referido anteriormente, los agitadores varían sus dimensiones de acuerdo al tipo de agitador seleccionado sea hélice, de turbinas o de alta eficiencia. En nuestro caso hemos seleccionado un agitador radial de cuatro paletas. Para este tipo de agitador tenemos las siguientes relaciones mostradas en la Fig. 13.

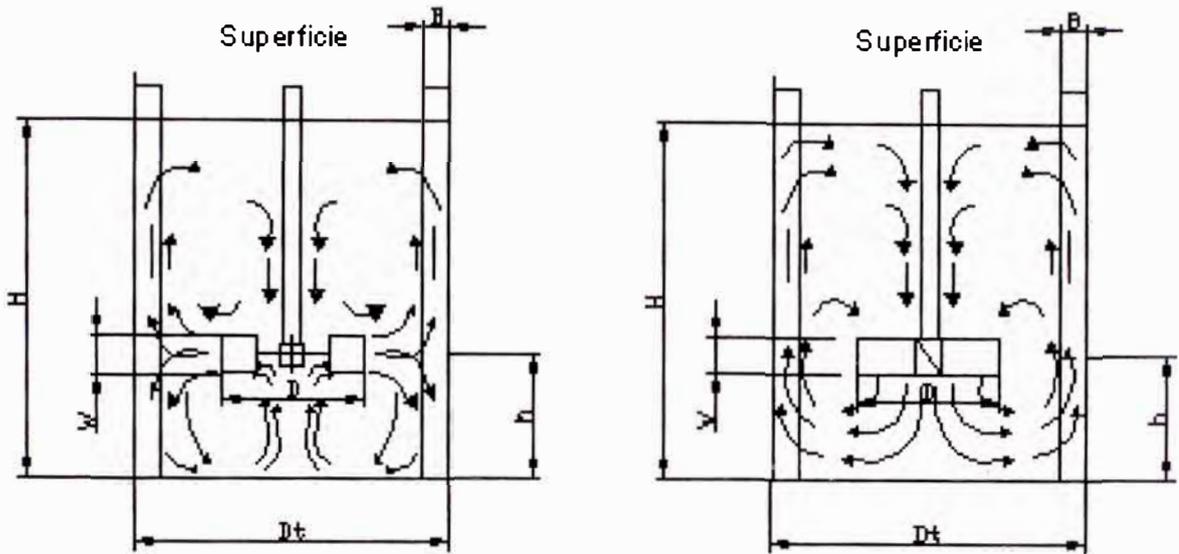


Fig.13. Dimensiones principales en tanques de agitación y distribución de flujo.

$$\frac{D}{T} = 0.5 \quad ; \quad \frac{W}{D} = \frac{1}{6} \quad ; \quad \frac{B}{Dt} = \frac{1}{12} \quad ; \quad \frac{h}{Dt} = \frac{1}{3} \quad ; \quad \frac{H}{Dt} = 1 \quad \dots\dots(4.3)$$

Donde: D = Diámetro del agitador (m).

Dt = Diámetro del tanque (m).

W = Ancho del alabe (m).

B = Ancho de la placa deflectora (m).

H = Altura del liquido en el tanque (m).

h = Altura del agitador respecto a la base del tanque (m).

Los deflectores no son necesarios si  $\mu > 5$  pa.s, tampoco si los agitadores son de entrada lateral, inclinados o no centrados.

De estas relaciones hallamos  $D = 0.5 T = 0.5 T_{eq}$ . Así como también Ancho del alabe cuyo valor es  $W = D/6$ .

\*Ec. 4.1 y 4.2 ver "Manual de cálculos de ingeniería química" Pág.12-2.

**4.03.3. Cálculo del Número de Revoluciones del Impulsor (n).**

Los fabricantes de equipos recomiendan que la velocidad tangencial del agitador debe estar entre 1000 y 2000 m/min.

Considerando en forma conservadora:  $V = 1100$  m/min.

$$n = \frac{V}{\pi \cdot D} (\text{rpm}) \dots\dots\dots(4.4)$$

A partir de esta relación se define una velocidad de giro del impulsor como estimación inicial.

**4.03.4. Cálculo del Número de Reynolds (NRe).**

Para calcular el número de Reynolds del impulsor se requiere una estimación inicial de la velocidad de rotación y las propiedades físicas de la mezcla. El número de Reynolds se calcula con la siguiente relación:

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot n \cdot D^2}{\mu} \dots\dots\dots(4.5)$$

**4.03.5. Cálculo del Número de Bombeo (NQ).**

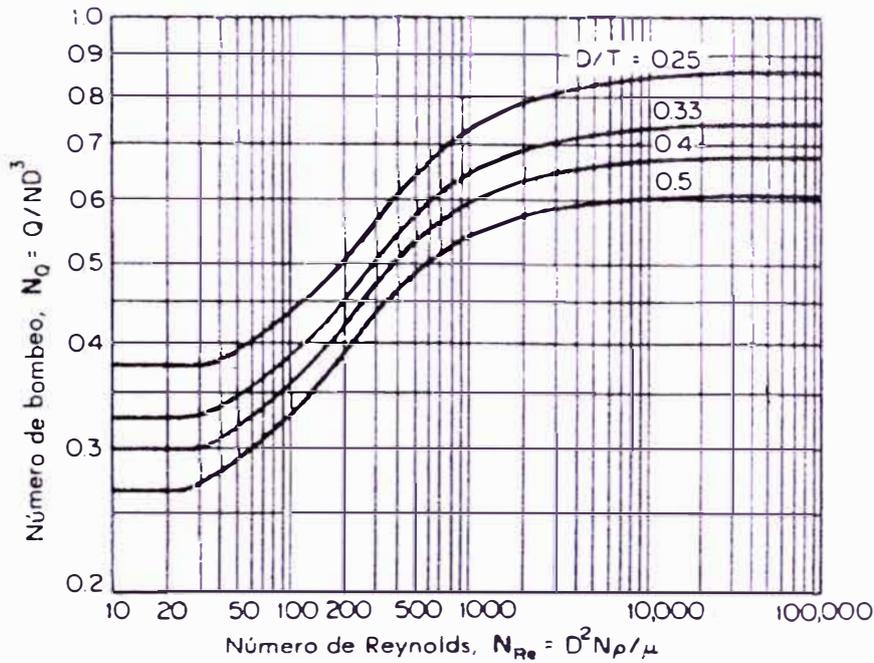
La capacidad de bombeo (Q) se relaciona con otros parámetros de mezclado, por medio de la correlación que aparece en la Figura 14. Esta correlación es función de dos números adimensionales: El número de bombeo ( $Q/n \cdot D^3$ ) y el número de Reynolds ( $D^2 n \cdot \rho / \mu$ ). Dado que el diámetro del impulsor (D) y la velocidad de rotación (n)

aparecen en ambas variables, el problema puede requerir una solución iterativa. La definición del número de bombeo es:

$$N_Q = \frac{Q}{n \cdot D^3} \dots \dots \dots (4.6)$$

Reacomodando la relación del número de bombeo se calcula las revoluciones del agitador:

$$n = \frac{Q}{N_Q \cdot D^3} (rpm) \dots \dots \dots (4.7)$$



**FIGURA 14.** Número de bombeo, en función del número de Reynolds del impulsor, para impulsores con álabes inclinados ( $N_p = 1.37$ ). (Fuente: *Chemical Engineering*, 1976.)

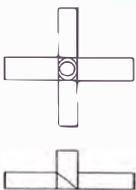
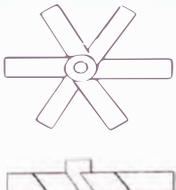
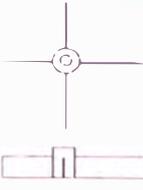
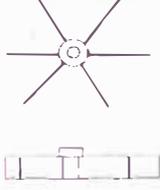
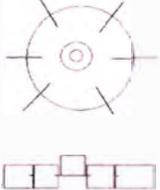
*Nota: Si la velocidad calculada y la velocidad estimada inicialmente no concuerda y el número de bombeo no es constante para el intervalo del número de Reynolds; es necesario realizar una solución iterativa para la velocidad. [En el intervalo Turbulento ( $N_{Re} > 20000$ ), el número de bombeo es constante, no se requiere la iteración y la velocidad calculada es la adecuada para el diseño.]*

**4.03.6. Cálculo del Número de Potencia (Np).**

El número de potencia Np es una variable adimensional, que relaciona la potencia del impulsor P con variables de operación como: La densidad del liquido (ρ), la velocidad de rotación del agitador (n) y el diámetro del impulsor (D) y se define a Np como sigue:

$$Np = \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot D^5} \dots\dots\dots (4.8)$$

Cuando se realiza el cálculo de Np en unidades inglesas se debe multiplicar con un factor igual a 10.7. Si el cálculo se realiza en unidades métricas SI no es necesario emplear el factor. Para la configuración dada del impulsor, el número de potencia es constante en condiciones de agitación turbulenta. En la Fig.15 aparecen algunos valores del número de potencia en condiciones turbulentas, para los agitadores mostrados.

 <p>W/D = 1/5</p>	 <p>W/D = 1/5</p>	 <p>W/D = 1/6</p>	 <p>W/D = 1/6</p>	 <p>W/D = 1/5</p>
Alabe inclinado(P-4) Np=1.37	Alabe inclinado (P-6) Np=1.7	Alabe recto (S-4) Np=2.96	Alabe recto (S-6) Np=3.86	Tipo disco (D-6) Np=5.46

*Fig.15. Valores del número de potencia en condiciones turbulentas Np, para diferentes configuraciones del impulsor. Nota: W/D es la razón del ancho real del alabe respecto al diámetro del impulsor.*

En la agitación se presenta condiciones turbulentas para  $N_{Re} > 10000$  y condiciones laminares, para  $N_{Re} < 10$ . Tanto el número de potencia como la configuración del impulsor son una función del número de Reynolds. Sin embargo, para considerar los efectos de la viscosidad sobre la potencia es necesario aplicar un factor de corrección, basado en  $N_{Re}$ . Para nuestro caso el  $N_p = 2.96$ , este valor variara dependiendo del numero de Reynolds y hará la corrección mediante el factor de corrección determinado en la Tabla 9.

TABLA 9

FACTOR DE CORRECCION DE VISCOSIDAD PARA EL DIAMETRO DEL ROTOR DE ALABES RECTOS

Reynolds ( $N_{Re}$ )	Factor (C)	Reynolds ( $N_{Re}$ )	Factor (C)
1000	1	150	0.93
700	1	100	0.91
500	0.99	80	0.90
400	0.98	70	0.89
300	0.97	60	0.88
200	0.95	50	0.87

#### 4.03.7. ***Cálculo Potencia Necesaria para Accionar el Agitador (Pne).***

Los requerimientos de potencia se pueden determinar al reacomodar la definición del número de potencia como sigue:  
 $Pne = N_p \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5$  [1] y se utiliza el número de potencia corregido por la viscosidad determinado en el paso anterior.

#### 4.03.8. ***Cálculo de Potencia Estándar del Motor (Pmo).***

Un agitador característico con impulsor de tipo turbina consta de un motor, un reductor de velocidad y uno o más impulsores. A pesar de las pérdidas a través del reductor de velocidades son, en forma característica de sólo 3 a 8%, las pequeñas desviaciones de velocidad real y las variaciones en las condiciones del proceso (densidad y viscosidad) hacen desaconsejable una carga en el motor que sobrepase a 85% de la potencia calculada para el impulsor. En consecuencia, la potencia calculada para el impulsor y la carga del motor es 85% y da por resultado una potencia mínima de tal manera  $Pmo = Pne/0.85$ . Luego seleccionamos de catálogos el motor.

#### 4.03.9. ***Cálculo del Número y Ubicación de los Impulsores.***

El concepto en el que se apoya este paso del procedimiento de diseño es que la potencia del motor y revoluciones del agitador (n)

[\*] Ver “Manual de cálculo de ingeniería química” Pag.12-3.

proporcionara la agitación deseada si el número y la ubicación de los impulsores es adecuado para la altura del lote.

TABLA 10

DATOS DE CAPACIDAD, PARA RECIPIENTES CILINDRICOS.

Diámetro del Recipiente		Volumen del Recipiente Cilíndrico		Profundidad y Volumen de la Cabeza del Recipiente			
ft- in	In	Lado recto, gal/in	Lote cuadrado, gal	Cabeza cóncava estándar		Cabeza ASME, cóncava y bridada	
				Profund. d.(in)	Vol. gal	Profund. (in)	Vol. (gal)
3 ft	36	4.4	159	4.9	11	6.0	16
3 ft 6 in	42	5.99	252	5.7	18	7.2	25
4 ft	48	7.83	376	6.5	27	8.0	37
4 ft 6 in	54	9.91	535	7.3	38	9.0	53
5 ft	60	12.2	734	8.1	52	10	78
5 ft 6 in	66	14.8	977	8.9	70	11	104
6 ft	72	17.6	1269	9.7	90	12	135
6 ft 6 in	78	20.7	1631	11	114	14	170
7 ft	84	24.0	2041	11	142	15	212
7 ft 6 in	90	27.5	2478	12	174	15	261
8 ft	96	31.3	3007	13	212	16	314
8 ft 6 in	102	35.3	3607	14	254	18	375
9 ft	108	39.6	4287	15	301	19	446
9 ft 6 in	114	44.1	5035	15	353	20	524
10 ft	120	48.9	5873	16	414	21	612
10 ft 6 in	126	54	6799	17	480	22	705
11 ft	132	59	7817	18	560	23	806
11 ft 6 in	138	65	8932	20	665	24	926
12 ft	144	70	10148	20	735	25	995

La ubicación y número de impulsores lo determina la razón del nivel de líquido respecto al diámetro del tanque  $Z/T$ . En base a la Tabla 10, podemos determinar la altura de llenado a partir del diámetro del tanque que se tenga, por ejemplo un tanque con diámetro de 9.5 pies (114 in) contiene 44.1 gal/pulg de nivel de líquido. Por consiguiente un volumen de 8840 gal llenará el tanque hasta una altura de  $884/44.1=200$  pulg.

Obtenido la altura de llenado se calcula la razón resultante del nivel del líquido respecto al diámetro del tanque  $Z/T$ , del ejemplo anterior  $Z/T = 200/114=1.75$ , con este valor vamos a la tabla 11 y determinamos el número y ubicación de los impulsores.

TABLA 11

UBICACION Y NUMERO DE IMPULSORES

Viscosidad, cP (Pa.s)	Nivel Máximo, $Z/T$	Número de Impulsores	Claro del impulsor	
			Inferior	Superior
<25,000 (<25)	1.4	1	Z/3	-
<25,000 (<25)	2.1	2	T/3	(2/3)Z
>25,000 (>25)	0.8	1	Z/3	-
>25,000 (>25)	1.6	2	T/3	(2/3)Z

**4.03.10. Cálculo de Placas Deflectoras.**

Las placas deflectoras depende de la viscosidad del a mezcla esto se muestra en Tabla 12.

TABLA 12

NUMERO DE DEFLECTORES RECOMENDADOS

Volumen (GL)	Viscosidad (cp)	Deflectores
<1000	<2500	4 a 90, T/12 ancho y T/72 espesor
>1000	>2500	Ninguno
<1000	<5000	4 a 90, T/12 ancho y T/72 espesor
>1000	>5000	Ninguno

**4.03.11. Cálculo del Eje de Transmisión de Potencia del Agitador.**

Para el cálculo del diámetro del eje del agitador, nos basaremos en los siguientes criterios: Deformación angular por torsión, de falla y velocidad crítica.

Teniendo como datos conocidos:

$n$  = Revoluciones del agitador (RPM).

$P_{ne}$  = Potencia para girar el impulsor (Hp).

$L$  = Longitud del impulsor al acoplamiento (m).

D = Diámetro del impulsor (m).

T = Torque máximo aplicado y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$T = \frac{716 * P_{ne}}{n} (kg.m) \quad \dots \dots \dots (4.9)$$

1. Por deformación angular por torsión: Debido al efecto de la torsión actuante en un eje se produce una deformación angular de la sección transversal, el cual para efectos de diseño y considerando un servicio ordinario, tenemos que el ángulo por efecto de la torsión debe ser:  $\theta / L \leq 6 \text{ min/pie de longitud } \text{ ó } 2.06 \text{ rad/m}$ . Se define el ángulo de deformación mediante la ecuación siguiente.

$$\theta = \frac{TL}{JG} \quad \dots \dots \dots (4.10)$$

Donde: J = Momento de inercia polar.

G = Módulo de elasticidad por corte.

El material utilizado para el eje será Acero AISI 1045, de acuerdo a apéndice (B-1,2) se determina el módulo de elasticidad  $G=808500 \text{ kg/cm}^2$ .

El momento de inercia polar se define:

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \dots\dots\dots (4.11)$$

Reemplazamos la ecuación (4.11) en la ecuación (4.10) y despejando obtenemos la ecuación (4.12), a partir de esta ecuación determinamos el diámetro del eje.

$$d^4 = \frac{32T}{\pi G \theta / L} \dots\dots\dots (4.12)$$

2. Por criterio de falla:

En un elemento cualquiera (viga, columna, tirante, eje, etc) que recibe una carga exterior (flexión, torsión, corte simple) se dice que falla si deja de comportarse como sólido aproximadamente rígido estudiado por la mecánica racional; debido a dos efectos: Por inicio de la deformación permanente (fluencia) en los materiales dúctiles o por el límite de la rotura en los materiales frágiles.

Para determinar si se produce la falla o no, es necesario comparar el efecto interno de la carga exterior mencionado y la respuesta del material del elemento en cuestión; y así se podrá deducir si el material resiste o no.

A continuación aplicaremos los diferentes criterios de fallas, para lo cual se tienen que hallar los esfuerzos equivalentes según la tabla 13.

TABLA 13  
CUADRO DE CRITERIOS DE FALLA

Criterio	Esfuerzo Equivalente	Esfuerzo Limitante
Máximo Esfuerzo Normal	$\tau_c$	Sy
Máximo Esfuerzo Cortante	$2\tau_c$	Sy
Máxima Deformación	$(1 + \mu)\tau_c$	Sy
Máxima Energía de Deformación	$\sqrt{2(1 + \mu)}\tau_c$	Sy
Máxima Deformación de Distorsión	$\sqrt{3}\tau_c$	Sy

Para todos los casos el único esfuerzo actuante es el cortante debido al torque y se calcula mediante la ecuación siguiente.

$$\tau_c = \frac{16T}{\pi d^3} \dots\dots\dots(4.13)$$

Despejando la ecuación 4.13, obtenemos:

$$d^3 = \frac{\pi \cdot \tau_c}{16T} \dots\dots\dots (4.14)$$

3. Por criterio de velocidad crítica:

Con los criterios antes mencionados determinamos el diámetro del eje, pero también debemos de considerar el efecto de la velocidad de la velocidad crítica, ya que los ejes giratorios se hacen dinámicamente inestables a ciertas velocidades y es posible que desarrollen grandes vibraciones. La velocidad a que este fenómeno se presenta se llama velocidad crítica. En los libros sobre la teoría de vibraciones se indica que la frecuencia de la vibración lateral libre, cuando el eje no esta girando es igual a la velocidad crítica.

Frecuentemente surgen problemas de vibración a la velocidad crítica mínima o fundamental. Para el calculo de la velocidad critica se toma el efecto de una fuerza inercial producto de la velocidad de giro y la masa, ocasionando una deflexión ( $y_i$ ) tal como se muestra en la Fig. 16.

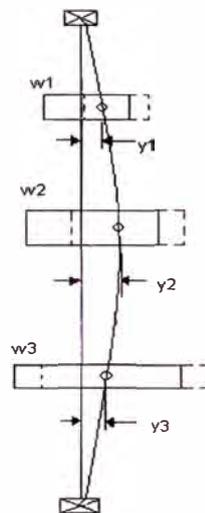


Fig.16. Velocidad Crítica de Múltiples Masas.

Para el caso de ejes verticales se toma la deflexión similar en el caso de un eje horizontal sometido a los pesos mostrados.

La ecuación para determinar esta velocidad para un eje sobre dos soportes con múltiples masas es la siguiente:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g(W_1 y_1 + W_2 y_2 + W_3 y_3 + \dots)}{(W_1 y_1^2 + W_2 y_2^2 + W_3 y_3^2 + \dots)}} \text{ (ciclos/seg).....(4.15)}$$

Expresando la formula 4.15 en términos generales de “n” masas obtenemos:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g(\sum W_n Y_n)}{\sum W_n Y_n^2}}$$

Para nuestro caso que tenemos una masa (m), ubicado a una distancia L y considerando la deformación (y<sub>i</sub>) como una fuerza sometida entre dos apoyos; reemplazando en la ecuación (4.14) y simplificando obtenemos:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{6gEI}{L^3 m}} \text{ (ciclos/seg)..... (4.16)}$$

Donde:  $I = \frac{\pi d^4}{4}$  Momento de inercia del eje.

E= Módulo de Elasticidad.

m= Masa de paletas.

Debe tenerse en cuenta que la velocidad normal de trabajo de un eje debe ser considerablemente inferior o superior a la crítica, de acuerdo a esto reemplazamos el momento de inercia y despejamos el diámetro de la ecuación 4.16, dando como resultado:

$$d^4 = \frac{2 \cdot n^2 \cdot L^3 \cdot m}{3 \cdot \pi \cdot g \cdot E} \dots\dots\dots (4.17)$$

Debe observarse que la ecuación (4.15) ignora el efecto del peso del eje y se supone también que todos los pesos están concentrados. La ecuación no toma en cuenta el efecto de la flexibilidad de los rodamientos y soportes. Esta flexibilidad adicional puede hacer en algunos casos que descienda el valor de la velocidad crítica por debajo de lo indicado por la ecuación. Un eje tiene tantas velocidades críticas como masas giratorias sostiene.

#### 4.03.12. ***Selección del motor-reductor.***

En este caso seleccionaremos un motor-reductor ya que es necesario reducir la velocidad del motor seleccionado a la que se requiere por el agitador. Siendo generalmente el motor-reductor de uso general para estos casos ya que las transmisiones de fuerza por correa, cadena o trenes de engranajes que aún se usan para la reducción de velocidad presentan ciertos inconvenientes.

Al emplear MOTORREDUCTORES se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

Para seleccionar adecuadamente una unidad reducción, en este caso de motor-reductor, se debe tenerse en cuenta la siguiente información básica.

**a) Características de operación**

- Potencia (kw requerida)
- Velocidad (RPM de salida)

**b) Características del trabajo a realizar**

- Determinar factor de servicio que depende de las condiciones de densidad, y viscosidad, etc. (se muestra en el apéndice D-1)
- Duración de servicio horas/día.

*c) Ejecución del equipo*

- Ejes a 180°, ó, 90°.
- Eje de salida horizontal, vertical, etc

Teniendo la información básica, seleccionaremos el motor-reductor más adecuado para nuestra necesidad y debido a la gran variedad de motor-reductores existentes en el mercado se tomará como referencia motor-reductores marca ROSSI (ver Apéndice E-1:3).

Debe tenerse en cuenta que en algunos casos de cálculo puede que no sea necesario un reductor, esto sucede para el caso de tanque de menores capacidades, ya que estos sistemas el material a agitar son pequeñas en volumen y la resistencia que ofrece el material es menor.

## **CAPITULO V.**

### **MODELO COMPUTARIZADO DE DISEÑO**

En este capítulo vamos a realizar un programa que realice los cálculos relacionados al procedimiento de diseño mencionado anteriormente. Para lo cual se mencionamos un breve comentario del programa, se plantea los objetivos del programa a realizar, diagrama de flujo utilizado por el programa, los parámetros de entrada necesarios y por último los resultados obtenidos a partir del programa.

#### **5.01.- Objetivo Del Programa.**

El programa a utilizar debe cumplir con los siguientes objetivos planteados:

- Debe realizar los cálculos necesarios para determinar el diseño adecuado.
- Debe ser interactivo con el usuario.
- Debe ser versátil y fácil de usar.

- Debe permitir evaluar un rango amplio de cálculos.
- Debe ser flexible a las modificaciones que se requiera realizar dentro del programa.
- Debemos obtener resultados con rapidez y sin errores.

### **5.02.- Descripción del Programa a Utilizar.**

Habiendo un sin número de programas (visual Basic, matlab, foxpro, Borland C+, etc.) en el cual cada uno cuenta con ventajas respecto a otros y con una aplicación diferente en cada caso, usaremos el programa mathcad ya que se ajusta a los objetivos planteados.

A continuación describiremos brevemente el programa a utilizar. El Mathcad es un software estándar de cálculo para profesionales técnicos, educandos y estudiantes. Es extremadamente versátil y potente como lenguaje de programación, y sin embargo, resulta tan fácil de aprender a usar como las conocidas hojas de cálculo que pueden encontrarse en el mercado. Además, esta pensado para aprovecharse de conexiones de Internet y trabajar en equipo con otras aplicaciones.

Matchad permite escribir ecuaciones tal y como se acostumbra a verlas, y de este modo aparecerán en pantalla. En un lenguaje de programación, las ecuaciones aparecen de esta forma:

$$X=(-B+SQRT(B**2-4*A*C))/(2*A)$$

En una hoja de cálculo las ecuaciones aparecen en las celdas de este modo:

$$+(B1+SQRT(B1*B1-4*A1*C1))/(2*A1)$$

Suponiendo que de hecho aparezcan estas ecuaciones, pues normalmente solo se puede ver el resultado.

En Matchad una ecuación aparece tal y como se podría ver en una pizarra o en un libro. Y no hay ninguna sintaxis complicada que sea necesario aprender: solo se debe hacer clic sobre los elementos que se desea escribir, y la ecuación tendrá este aspecto:

$$x = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4.a.c}}{2.a}$$

Sin embargo, las ecuaciones de Mathcad son algo más que bonitas imágenes. Se pueden utilizar para resolver prácticamente cualquier problema matemático que se presente, simbólica o numéricamente. También se puede situar texto a su alrededor para documentar el trabajo, o crear fácilmente representaciones bidimensionales y tridimensionales. Incluso se puede ilustrar trabajos con gráficos de otras aplicaciones de Windows.

Matchad viene con un sistema de referencia en línea llamada centro de recursos, que proporciona acceso a muchas formulas útiles, valores de constantes, material de referencia y diagramas, con sólo hacer un clic sobre un botón.

Matchad simplifica y automatiza la documentación de proyectos de ingeniería en los que la comunicación, presentación y cumplimiento de estándares sean requisitos críticos. Combinando ecuaciones, texto y gráficos en un solo trabajo, mathcad facilita el seguimiento de los cálculos más complejos. Las características que facilitan la aplicación de formatos y presentación de documentos son extremadamente útiles, y la posibilidad de imprimir un trabajo exactamente tal y como aparece en pantalla permite llevar un control minucioso del proyecto.

### **5.03.- Recopilación de Datos Necesario.**

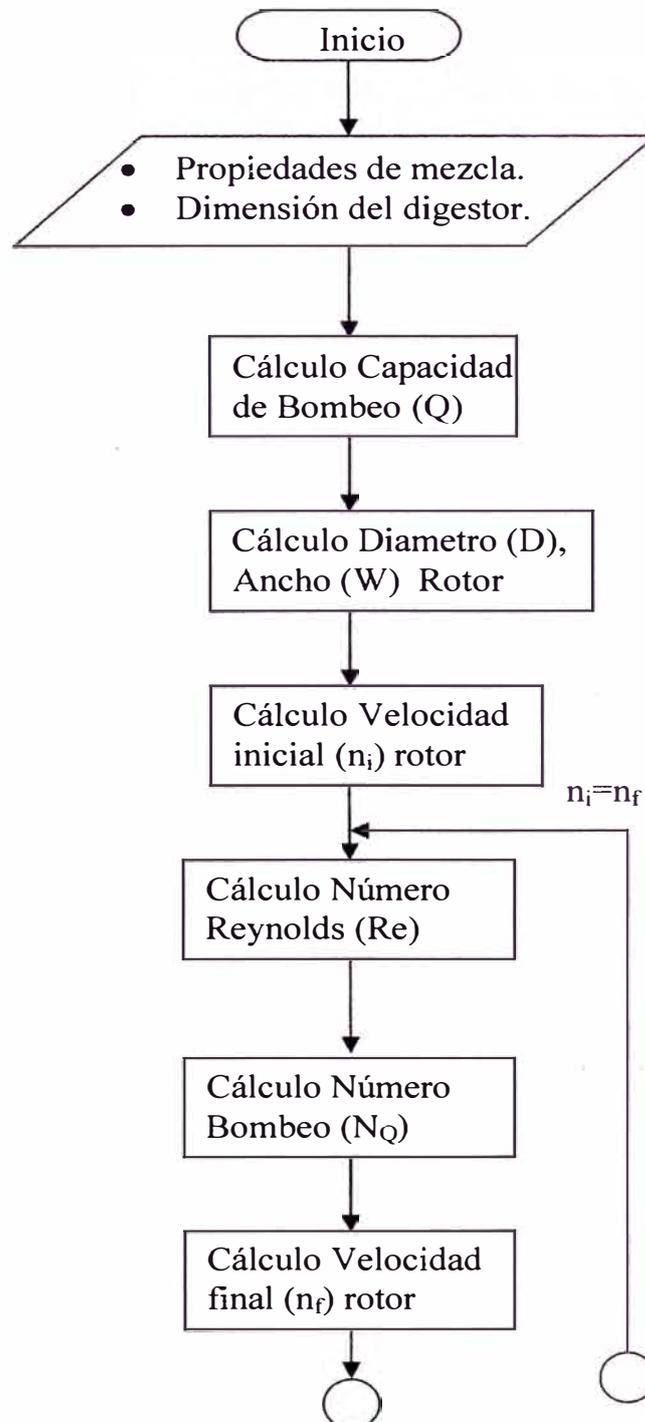
Para el programa definiremos los siguientes datos de entrada aplicado para cualquier cálculo necesario:

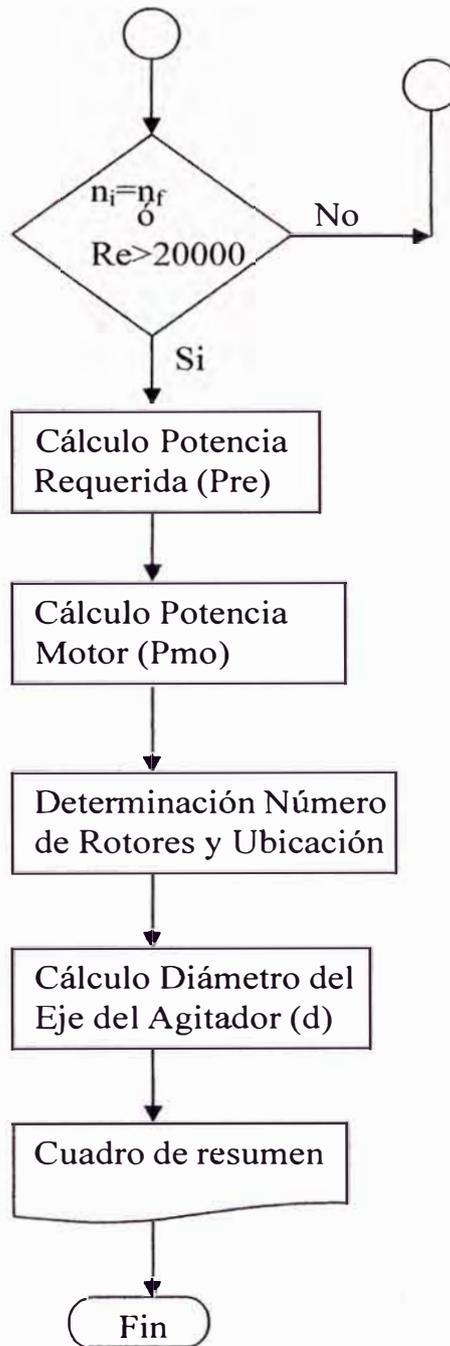
- Propiedades de la mezcla ( Agua-Estíercol):
  - ◆  $\rho$  =Densidad (kg/m<sup>3</sup>);
  - ◆  $\mu$  = viscosidad (Pa.s).
  
- Digestor:
  - ◆  $D_t$  = Diámetro (m),
  - ◆  $V$  =volumen (m<sup>3</sup>).
  
- Eje de agitador:
  - ◆  $L$  = Longitud del eje hasta el acoplamiento (m).

Con estos datos se realizara el cálculo de las dimensiones del agitador, considerando que se utilizara paletas rectas de cuatro aspas. Si se quiere realizar para otras geometrías se variara las relaciones en dimensiones en los agitadores.

#### 5.04.- Diagrama de Flujo del Programa.

Tenemos el siguiente diagrama de flujo a usar en el programa.





### 5.05.- Resultados Obtenidos del Programa.

De acuerdo al diagrama de flujo presentado (Sec. 5.04) se obtiene los resultados al final del programa los cuales son: Dimensiones del impeler (diámetro, ancho), ubicación y numero de impeler, eje del agitador (diámetro), revoluciones del agitador (n), potencia del motor necesario (Pmo).

Además cabe mencionar que se puede realizar el seguimiento de los cálculos ya que el programa así lo permite.

Este programa está aplicado para diseñar las dimensiones del agitador y eje del agitador, si se quiere modificar algunos parámetros constructivos del agitador se puede realizar, para lo cual se sugiere seleccionar el agitador más adecuado que satisfagan sus requerimientos. Con los resultados obtenidos en el programa nos damos una idea para selección más adecuada de los componentes del agitador, el cual dependerá del diseñador y de las condiciones en que se presente la construcción del agitador y digestor.

A partir de los resultados obtenidos seleccionamos la parte constructiva del eje como: dimensión de cubo, canal de chaveta, acoples. Así como también la estructura de soporte para la instalación del motor y agitador, claro está que esto dependerá de las dimensiones del digestor y forma constructiva del digestor.

## **CAPITULO VI.**

### **APLICACIÓN A UN BIODIGESTOR DE 25 M<sup>3</sup>.**

En este capítulo daremos una aplicación del programa para un digestor de 25 m<sup>3</sup>, así como también se hará cálculos para la instalación del agitador de acuerdo a los resultados obtenidos y la forma constructiva del digestor.

#### **6.01.- Antecedentes del Biodigestor.**

El biodigestor, al que se va aplicar el programa de diseño, se encuentra ubicado en la Universidad Nacional de Ingeniería en la Facultad de Ingeniería Mecánica. Este biodigestor se construyó en el mes Enero del 2004 y el funcionamiento se inicia en el mes de Marzo del 2004, este proyecto parte de proyectos anteriores de investigación del uso del biogás en motores de combustión interna.

Para la realización del proyecto fue necesaria la cooperación del Concytec, la Universidad y además con el apoyo de alumnos y profesores de la facultad. El biodigestor tiene una capacidad de 25 m<sup>3</sup> con una producción aproximada de biogás de 4 m<sup>3</sup>/día y bioabono.

## **6.02.- Consideraciones de Operación.**

La planta de biogas se muestra en el plano 1 en el cual el biodigestor se encuentra sobre la superficie y la campana de almacenamiento de biogas se encuentra en otra parte. El principio de operación se inicia con el cargado de material (previamente prefermentado) por la parte superior del digestor y se agrega agua de acuerdo a la proporción que debe mantener la mezcla de 8 a 10% de sólidos, el contenido de agua depende de la materia prima y especialmente del contenido de humedad. Una vez mezclado el material y agua se deja fermentar de acuerdo al tiempo establecido de retención, que en este caso es de 25 días, a partir del cual se obtiene el biogas el cual es almacenado en la otra cámara.

Se debe tener en cuenta que la producción de biogás se realiza en mejores condiciones durante los meses de verano (Enero, febrero, marzo); ya que en los otros meses la producción de biogas disminuye debido a las temperaturas bajas del ambiente, el cual influye en la fermentación de los materiales, siendo necesario un sistema de calentamiento para acelerar la fermentación.

### **6.03.- Definición de Dimensiones y Materia Prima.**

Las dimensiones del digestor son 4 m de diámetro y de 2 m de altura, con una tapa de acero en forma esférica y en la parte inferior se tiene una compuerta rectangular metálica para el desfogue de material de 0.5x 0.4 m. El ingreso del material se realiza por una tapa embridada de 1m de diámetro ubicado en la parte superior y en el centro de la tapa esférica se encuentra una salida de gas, conectado a una tubería de 1" de diámetro.

La materia prima utilizada para el primer ensayo fue estiércol de cuy, el cual fue mezclado con chala de acuerdo a la proporciones de C/N (25 a 30) y se dejó esta mezcla durante un mes manteniéndolo a una temperatura de 50 a 60° C, este procedimiento se denomina "precompos". Luego de haber realizado el "precompos" se procedió el cargado al digestor de 8 toneladas de la mezcla estiércol de cuy con la chala.

Los datos de entrada para el programa será una densidad de mezcla de agua estiércol de 1500 kg/m<sup>3</sup> y una viscosidad de 2500 cP, así como el volumen del digestor de 25m<sup>3</sup> con un diámetro de 4m y 2m de altura.

### **6.04.- Cálculo del Sistema Agitador.**

Para el cálculo del sistema agitador aplicado a un digestor de 25m<sup>3</sup>, se tiene los siguientes datos:

**1.-Datos:**

- Características de Mezcla.

$$\rho = 1500 \frac{kg}{m^3} \quad (\text{Densidad})$$

$$\mu = 2.5 Pa.s \quad (\text{Viscosidad})$$

- Dimensión del Biodigestor.

$$V=25 m^3 \quad (\text{Volumen})$$

$$Dt=4 m. \quad (\text{Diámetro})$$

**2.-Cálculo de capacidad Requerida de Bombeo del Agitador (Q).**

- Diámetro Equivalente.

$$Teq = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}$$

Reemplazando datos  $Teq= 3.169m$

- Capacidad de Bombeo.

Seleccionamos la velocidad de la mezcla dado en la Tabla 8.

$$Vm=0.21m/s.$$

$$Q = \frac{\pi}{4} Vm Teq^2$$

Reemplazando datos  $Q=1.657 m^3 /s.$

### **3.-Cálculo del Diámetro del Agitador (D).**

Seleccionando la relación de diámetros agitador y tanque, el cual se encuentra entre 0.2 a 0.5. Tomando 0.5.

$$D=0.5*Teq$$

Reemplazando  $D=1.585$  m

### **4.- Cálculo del Ancho del Agitador (W).**

Seleccionando la relación de ancho y diámetro del agitador, a partir de la fig.15 tomamos agitador de paletas rectos de 4 aspas, cuya relaciones 1/6.

$$W=1/6*D$$

Reemplazando obtenemos  $W=0.264$  m.

### **5.-Cálculo de la velocidad de giro del Rotor (n).**

Se sabe que la velocidad tangencial según los fabricantes varia entre 1000 y 2000 m/min. En este caso tomamos 1100 m/min.

- Realizamos el cálculo de la velocidad de giro inicial de rotor.

$$\omega = \frac{2.Vt}{D}$$

Reemplazando obtenemos  $\omega=23.139$  rad/s.

- Luego calculamos el número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \cdot w \cdot D^2}{\mu}$$

Reemplazando obtenemos  $Re=3.486 \times 10^4$

- Calculamos el número de Bombeo a partir de la Fig. 14, tomando como datos de entrada  $D/T=0.5$  y  $Re$ ; obtenemos  $Nq=0.6$ .

Se debe tener en cuenta que si  $Re > 2 \times 10^4$ , el  $Nq$  es constante y por lo tanto no requiere iteración y la velocidad calculada es adecuada para el diseño.

- Cálculo de la velocidad final.

$$\omega = \frac{Q}{Nq \cdot D^3}$$

Obtenemos  $\omega = 0.694 \text{ rad/s}$ .

- Al comparar los valores de la velocidad inicial y final son valores diferentes por lo tanto hay que iterar las veces necesarias hasta obtener una igualdad (ver Tabla 14).

TABLA 14

TABLA DE ITERACION

Item	Reynolds	Nq	Velocidad (rad/min)
0	$1.45 \times 10^3$	0.54	46.26
1	$1.162 \times 10^3$	0.56	44.608
2	$1.12 \times 10^3$	0.55	45.419
3	$1.14 \times 10^3$	0.555	<b>45.01</b>

**6.- Cálculo de la Potencia Requerida (Pre).**

Para el cálculo de la potencia definimos el valor de la velocidad de giro que es  $45.01 \text{ min}^{-1}$ , también a partir de la tabla 9 seleccionamos el factor de corrección del número de potencia debido a la viscosidad.

Factor de corrección 1, tomando este valor calculamos el número de potencia corregido:  $N_p = 2.96 * 1 = 2.96$ .

La potencia requerida será:  $P_{re} = N_p \cdot \rho \cdot \omega^3 \cdot D^5$ ; reemplazando datos obtenemos  $P_{re} = 18.726 \text{ kw}$ .

**7.- Cálculo de Potencia Motor (Pmo).**

Considerando las pérdidas a través del reductor de velocidad, las pequeñas desviaciones en la velocidad real y las variaciones en las condiciones del proceso, tenemos una eficiencia de 85%.

Entonces tenemos  $P_{mo} = P_{re} / 0.85 = 22.031 \text{ Kw} = 29.544 \text{ Hp}$ .

### **8.-Cálculo de Numero de Impeler y Ubicación.**

Seleccionamos primero la capacidad de llenado, el cual esta en función del diámetro del digestor y el volumen (ver Tabla 10).

Obtenemos de la tabla 10;  $q=12.218\text{m}^3/\text{m}$ .

Con lo anterior calculamos la altura de llenado.

$$Z = \frac{V}{q}$$

Reemplazando datos obtenemos  $H=2.046\text{m}$ . Por lo tanto la capacidad de llenado es  $Z/Dt=0.512$ ; con este dato vamos a la tabla 11 y obtenemos lo siguiente:

Ubicación del impeler  $Z/3=0.682\text{m}$  y el número de impeler igual a 1.

### **9.- Cálculo del Diámetro del Eje del Agitador (d).**

Para calcular el diámetro definimos el material a utilizar.

- Material SAE 1045, cuyas propiedades mecánicas son:

$$E=2109000 \text{ Kg/cm}^2. \text{ (Módulo de Elasticidad tracción)}$$

$$G=808500 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (Módulo de Elasticidad por Corte)}$$

$$\mu=0.33 \text{ (Coeficiente de Poisson)}$$

$$S_y=4148 \text{ Kg/cm}^2. \text{ (Esfuerzo de Fluencia)}$$

- También tenemos la longitud del eje desde el cubo al acople

$$L=1.8\text{m.}$$

- Torque máximo

$$T_o = \frac{P r e}{\omega \cdot g}$$

Obtenemos  $T_o = 2.546 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}$ ; este torque es teórico ya que debido a la carga de impacto y fatiga en el digestor son intermitente y al encontrarse en voladizo el eje, se debe considerar un factor de corrección por torsión según el código ASME (ver apéndice H-1).

$$\text{Tenemos } T = K_t \cdot T_o = 1.5 \cdot 2.546 \times 10^3 = 3.82 \times 10^3 \text{ Kg}\cdot\text{m.}$$

- Teniendo estos datos, procedemos el cálculo del eje mediante los siguientes criterios:

a. Criterio de Angulo de Deformación Torsional.

De acuerdo a este criterio el ángulo torsional en eje debe tener el siguiente valor de Diseño:

$$\theta = 2.06 \text{ rad/m} \cdot L; \text{ como } L = 1.8\text{m}$$

$$\text{Obtenemos } \theta = 3.78 \text{ rad.}$$

Para obtener el diámetro definimos la siguiente ecuación:

$$\text{Reemplazando datos: } d = \left( \frac{32 \cdot T \cdot L}{\pi \cdot G \cdot \theta} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$d = \left( \frac{32 \times 3.82 \times 10^3 \times 1.8}{\pi \times 808500 \times 3.78 \times 10^4} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Entonces obtenemos **d=39.09 mm**

b. Criterio de Falla.

Para este criterio se debe tener que el esfuerzo equivalente debe ser menor que el esfuerzo limitante ( $S_y$ ); por lo tanto igualares estos esfuerzos para determinar el máximo diámetro que puede tener el eje.

Para todos los criterios de esfuerzo tenemos  $\tau_c = \frac{16.T}{\pi.d^3}$

○ ***Criterio de Máximo Esfuerzo Normal.***

El esfuerzo equivalente es:  $\sigma_{e1} = \tau_c = S_y$

Despejando el diámetro “d”.

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{16.T}{\pi.S_y}}$$

Reemplazando datos:  $d_1 = \sqrt[3]{\frac{16 \times 3.82 \times 10^3}{\pi \cdot 4148 \times 10^4}}$

A partir de la ecuación anterior obtenemos: **d<sub>1</sub> = 77.68 mm.**

○ ***Criterio de Máximo Esfuerzo Cortante.***

El esfuerzo equivalente es:  $\sigma_{e2} = 2 \cdot \tau_c = S_y$

Despejando el diámetro “d”.

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{32.T}{\pi.S_y}}$$

Reemplazando datos:  $d_2 = \sqrt[3]{\frac{32 \times 3.82 \times 10^3}{\pi \times 4148 \times 10^4}}$

A partir de la ecuación anterior obtenemos  $d_2 = 97.87 \text{ mm}$ .

○ ***Criterio de Máximo Deformación.***

El esfuerzo equivalente es:  $\sigma_{e3} = (1 + \mu) \cdot \tau_c = S_y$

Despejando el diámetro “d”.

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot (1 + \mu) \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$$

Reemplazando datos:  $d_3 = \sqrt[3]{\frac{16 \times (1 + 0.33) \times 3.82 \times 10^3}{\pi \times 4148 \times 10^4}}$

A partir de la ecuación anterior obtenemos  $d_3 = 85.43 \text{ mm}$ .

○ ***Criterio de Máximo Energía de Deformación.***

El esfuerzo equivalente es:  $\sigma_{e4} = \sqrt{2 \cdot (1 + \mu)} \cdot \tau_c = S_y$

Despejando el diámetro “d”.

$$d_4 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot \sqrt{2 \cdot (1 + \mu)} \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$$

Reemplazando datos:  $d_4 = \sqrt[3]{\frac{16 \times \sqrt{2 \cdot (1 + 0.33)} \times 3.82 \times 10^3}{\pi \times 4148 \times 10^4}}$

A partir de la ecuación anterior obtenemos  $d_4 = 91.44 \text{ mm}$ .

○ ***Criterio de Máximo Deformación Distorsión.***

El esfuerzo equivalente es:  $\sigma_{e5} = \sqrt{3} \cdot \tau_c = S_y$

Despejando el diámetro “d”.

$$d_5 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot \sqrt{3} \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$$

Reemplazando datos: 
$$d_5 = \sqrt[3]{\frac{16 \times \sqrt{3} \times 3.82 \times 10^3}{\pi \times 4148 \times 10^4}}$$

A partir de la ecuación anterior obtenemos **d<sub>5</sub>=93.29mm.**

De los cinco criterio escogemos el mayor diámetro lo cual nos limitara, por lo tanto el diámetro del eje **d=d<sub>1</sub>=97.87 mm.**

c. Criterio de Velocidad Crítica.

Este criterio reconsidera que la velocidad de operación debe ser diferente a la velocidad crítica; por lo que para definir el diámetro igualaremos las velocidades y obtendremos un diámetro del eje.

○ Tenemos la masa de las paletas m=50Kg.

○ Momento de inercia 
$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{4}$$

De acuerdo a la teoría tenemos que la velocidad crítica se

calcula: 
$$f_c = \sqrt{\frac{6 \cdot g \cdot E \cdot I}{L^3 \cdot m}} \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

Despejando el diámetro obtenemos: 
$$d_c = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot L^3 \cdot m \cdot f^2}{3 \cdot \pi \cdot g \cdot E}}$$

Reemplazando datos: 
$$d_c = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot 1.8^3 \cdot 50 \cdot 45.1^2}{3 \cdot \pi \cdot 9.81 \cdot 2109000 \cdot 10^4 \cdot 3600}} = 3.6 \text{ mm}$$

De acuerdo a los criterios desarrollados tenemos  $41.4 < d < 84.4 \text{ mm}$  y diferente a 3.6 mm, por lo tanto definimos el eje estándar a  $d = 88.9 \text{ mm}$  (3-1/2”).

#### 6.05.- Resultados Obtenidos en el Programa.

Los resultados obtenidos por el programa, se muestra en la siguiente tabla 15:

TABLA 15

TABLA DE RESULTADOS

Item	Descripción	Valores
1	<u>Material Mezclado</u>	
	Densidad	1500 kg/m <sup>3</sup>
	Viscosidad	2.5 Pa.s
2	<u>Dimensiones del digestor</u>	
	Volumen	25 m <sup>3</sup>
	Diámetro	4 m
	Altura de llenado	2.046 m
3	<u>Sistema Agitador</u>	
	Diámetro paletas	1.6 m
	Ancho Paletas	264 mm
	Numero de Impeler	1
	Velocidad de giro	45.01 min <sup>-1</sup>
	Ubicación	0.682 m
	Diámetro de Eje	101.6 mm
	Longitud de Eje	1.8 m
4	<u>Fuerza Motriz</u>	
	Potencia de Motor	22.031 kw
	Torque	3.818x10 <sup>3</sup> kgm

## **6.06.- Elección de Elementos de Transmisión.**

De acuerdo a la Tabla 15, realizamos la selección de elementos necesarios para el sistema de agitación:

### **6.05.1. *Selección de Motor-Reductor.***

A partir del catálogo de motor-reductores ROSSI (ver Apéndice E-1:3). Seleccionamos el motor-reductor coaxial para una potencia de motor de 22 kw y una velocidad de salida del reductor de  $45 \text{ min}^{-1}$  y un factor de servicio igual de 1.1 (Este factor de servicio se determino para un funcionamiento de 8 hr al día, con número de arranque/hora menor de 1 y a una carga moderada. Ver apéndice D-1).

**Con los datos anteriores seleccionamos MR 3I 160-180L de 4 polos, relación de transmisión 30.4,  $P_1=22 \text{ kw}$ ,  $n_2=46.1 \text{ min}^{-1}$  y  $f_s=1.4$**

### **6.05.2. *Selección de Acoplamiento.***

Para poder seleccionar el acoplamiento debemos realizarlo de la siguiente manera:

#### **1. Selección a través del par nominal**

El par TKN de catálogo debe ser mayor que el par existente a la temperatura de funcionamiento. La manera de proceder es la siguiente:

Si no se conoce, el par nominal se puede obtener a través de la fórmula:

$$T_c = 9550. P/n$$

Donde:

P = Potencia nominal instalada (Kw)

n = Velocidad de funcionamiento (r.p.m.)

T<sub>c</sub> = Par nominal instalado (N.m)

Se determina a continuación el par requerido por el acoplamiento:

$$TKN > T_c \cdot F_s.$$

Se debe seleccionar un acoplamiento cuyo par nominal sea superior al producto T<sub>c</sub>.F<sub>s</sub> (factor de servicio). Cuanto mayor sea el par del acoplamiento seleccionado, mayor será la vida del acoplamiento.

## 2. Selección a través del par máximo

Los acoplamientos JAUFLEX pueden soportar pares mayores que los nominales, pero sólo durante un periodo de tiempo corto. Dichos picos de par suelen ocurrir durante el arranque o funcionamiento.

Una vez que se ha seleccionado un acoplamiento según el par nominal tras las diferentes correcciones o factores de servicio, el máximo par de pico de la máquina debe ser comparado con el máximo par del acoplamiento según:

$$TK_{max} > T_c.F_t.F_s$$

En nuestro caso tenemos:

- ✓ Potencia del motor  $P = 22 \text{ kw}$ .
- ✓ Revoluciones de salida  $n = 45 \text{ min}^{-1}$ .
- ✓ Factor de servicio ( $F_s=2$  para masas medias a acelerar).
- ✓ Factor de temperatura ( $F_t=1.2$  para temperatura entre 30 y 40°C y elastómero de poliuretano).
- ✓ Diámetro reductor  $d_1=90 \text{ mm}$ .
- ✓ Diámetro de eje agitador  $d_2=90 \text{ mm}$

a. *Selección del par nominal:*

Por lo tanto  $T_c = 9550 * 22 / 45 = 4669 \text{ N.m}$  y el par requerido  $TKN > T_c.F_t > 4669 * 1.2$ ; Por lo tanto  $TKN > 5603 \text{ N.m} < 6500 \text{ N.m}$

**S-360-DD-VkR** el par nominal es 6500 N.m.

b. *Se compara a continuación los valores picos o máximos:*

$TK_{max} > T_c.ST.SL$  reemplazando  $TK_{max} > 4669 * 1.2 * 2$ ;

$TK_{max} > 11201 \text{ N.m} < 19500 \text{ Nm}$ .

Para el S-360-DD-VkR el par máximo es 19500 N.m.

- c. *Los diámetros de ejes  $d1, d2$  deben ser menores que el máximo diámetro de eje admitido por el S-360-DD-VkR. Por lo tanto  $102/102 < 160 \text{ mm}$ .*

De acuerdo a lo anterior seleccionamos el acople tipo: **S-360-DD-VkR**. (ver apéndice G-1:3).

### 6.05.3. ***Selección de Chaveta en el Cubo.***

De acuerdo al resultado obtenido el diámetro del eje del agitador es 3 pulgadas y de material ANSI 1045, el cual transmite una potencia de 18.7 kw y  $45 \text{ min}^{-1}$ . La chaveta a usar será plana de material ANSI 1020 acabado en frío y la transmisión de vibraciones muy pequeñas por ello tomamos un coeficiente de cálculo de 1.75.

Del apéndice C-1 propiedades de materiales para ANSI 1020, deducimos  $S_y = 66 \text{ Ksi}$ , así, puesto que la resistencia a la compresión de las paletas del agitador y del material ANSI 1045 del eje es mayor que la del material de la chaveta, calculamos los esfuerzos de cizalla y

compresión: 
$$S_s = \frac{0.5 S_y}{C_o} \quad S_c = \frac{S_y}{C_o}$$

Donde:  $S_s$  = Esfuerzo de diseño para cizalla.

$S_c$  = Esfuerzo de diseño por Compresión

$$S_y = 66 \text{ Ksi.}$$

$$C_o = 1.75 \text{ (factor de transmisión)}$$

Reemplazando datos se obtiene  $S_s = 18.85 \text{ Ksi}$  y  $S_c = 37.7 \text{ Ksi}$ .

Y el momento de torsión transmitido es:

$$T = \frac{63000 \cdot CV}{n} = \frac{63000 \cdot 25}{45} = 35000 \text{ pulg-lb} = 35 \text{ pulg-Kips.}$$

Del apéndice A-2, escogemos  $b = 1''$ ,  $t = 3/4''$  para eje de 4 pulgadas de diámetro, de donde se deduce.

$$L = \frac{2T}{S_s \cdot b \cdot d} = \frac{2 \cdot 35}{18.85 \cdot 1 \cdot 4} = 0.92 \text{ pulgadas}, \text{ longitud por Cizalla.}$$

$$L = \frac{4T}{S_c \cdot t \cdot d} = \frac{4 \cdot 35}{37.7 \cdot 1/2 \cdot 4} = 1.24 \text{ pulgadas}, \text{ longitud por compresión.}$$

Donde  $T =$  Torsión máxima

$d =$  diámetro del eje.

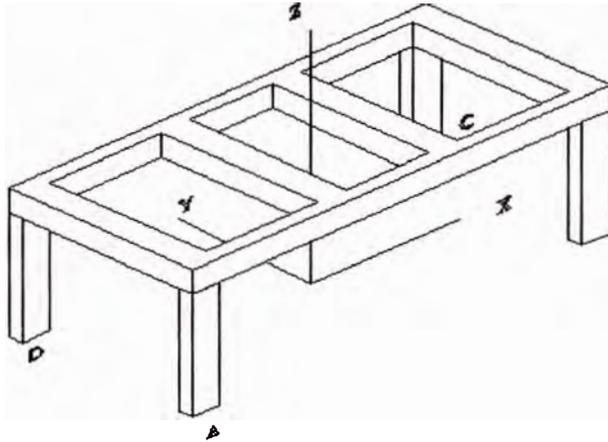
$b =$  ancho del canal.

$t =$  alto de la chaveta.

**De acuerdo al resultado obtenido se toma la mayor longitud  $L = 1 \frac{1}{2}''$  pulgadas con sección transversal de  $1 \times 3/4$  pulgadas.**

### 6.07.- Diseño del Soporte del Sistema Agitador.

Para la instalación del motor-reductor realizaremos el siguiente cálculo de la estructura metálica Fig. 17. que soportara el sistema agitador.



*Fig.17. Soporte Estructural del sistema de Agitación.*

Para determinar los perfiles necesarios debemos calcular las cargas y momentos que son necesarios para soportar el sistema agitador. Debemos calcular el peso total que soporta la estructura.

$$W = \text{Peso paletas} + \text{peso motor-reductor} + \text{peso eje} + \text{peso de acople.}$$

$$W = 34 + 339 + 114.55 + 139.5$$

$$W = 626.05 \text{ Kg.}$$

Tomando un peso  $W = 700 \text{ Kg.}$

También se conoce el torque  $T=3818 \text{ kg.m .}$

1. Cálculo de reacciones y momentos

De la Fig.18 y Fig. 19 planteamos las ecuaciones de equilibrio.

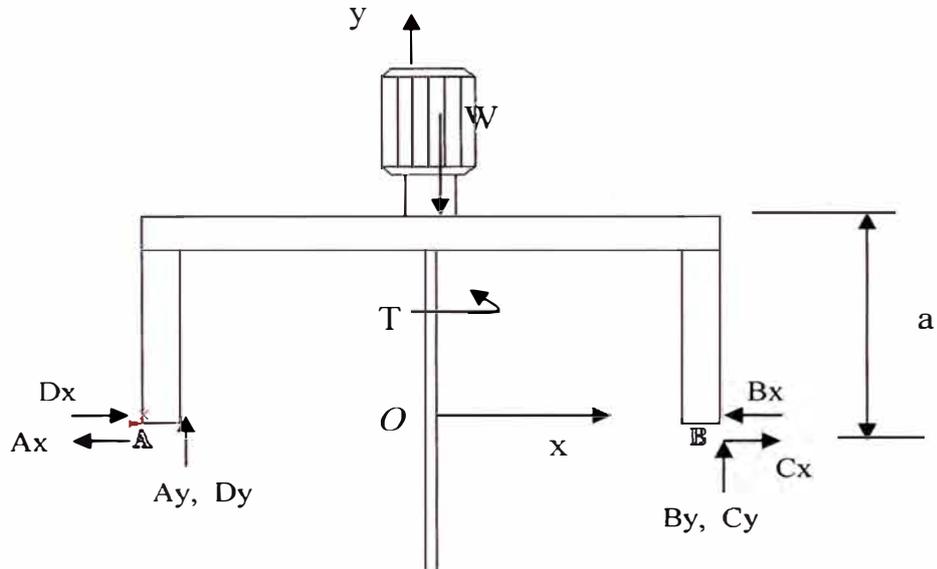


Fig.18. Diagrama de Cuerpo Libre plano x-y.

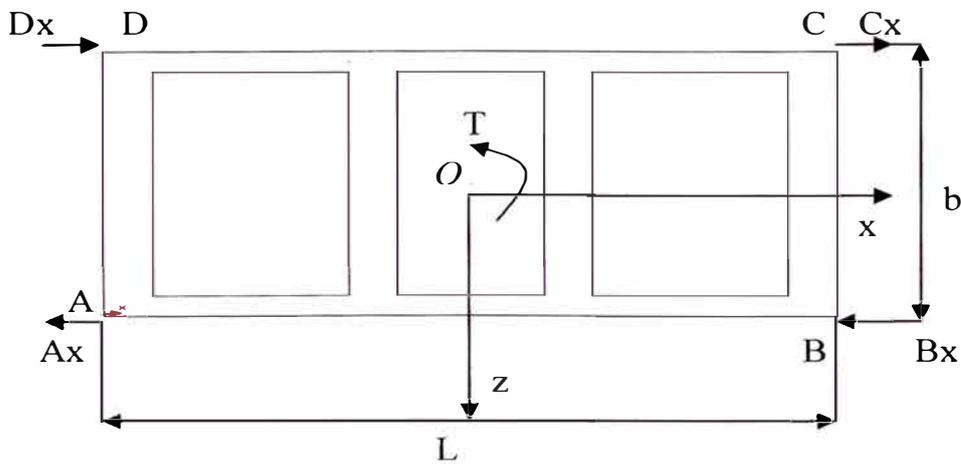


Fig.19. Diagrama de Cuerpo Libre plano z-x.

a) Sumatoria de fuerzas en eje "x" debe ser igual a cero.

$$\sum F_x = 0$$

$$Ax - Bx - Cx + Dx = 0 \dots\dots\dots(6.1)$$

Asumiendo las reacciones son iguales se cumple  $Ax = Bx = Cx = Dx$ .

b) Sumatoria de fuerzas en eje “y” igual a cero.

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay + By + Cy + Dy = W \dots\dots\dots(6.2)$$

Asumiendo que se cumple  $Ay = By = Cy = Dy$

$$\text{Reemplazando en la ecuación (6-2): } Ay = W/4 \dots\dots\dots(6.3)$$

Reemplazando valores  $Ay = 700/4 = 175 \text{ kg}$ .

c) Sumatoria de momentos en el plano x-y con respecto a “o” igual a cero.

$$\sum Mx = 0$$

$$(Ay + By)b/2 = (Cy + Dy)b/2 \dots\dots\dots(6.4)$$

$$\text{Entonces, } Ay + By = Cy + Dy \dots\dots\dots(6.5)$$

d) Sumatoria de momentos en el eje z-y con respecto a “o” igual a cero.

$$\sum My = 0$$

$$T - Cx b/2 - Bx b/2 - Ax b/2 - Dx b/2 = 0 \dots\dots\dots(6.6)$$

$$\text{Reemplazando obtenemos: } T = 2Ax b \dots\dots\dots(6.7)$$

$Ax = 2T/b$ , se conoce los valores  $b = 1000 \text{ mm}$  y  $T = 3818 \text{ kg.m}$

$$Ax = 2 \times 3818 / 1 = 7636 \text{ kg}$$

2. Calculo Estructural del pórtico C-D.

Analizando el pórtico C-D. Se muestra el diagrama de cuerpo libre en la

Fig. 20.

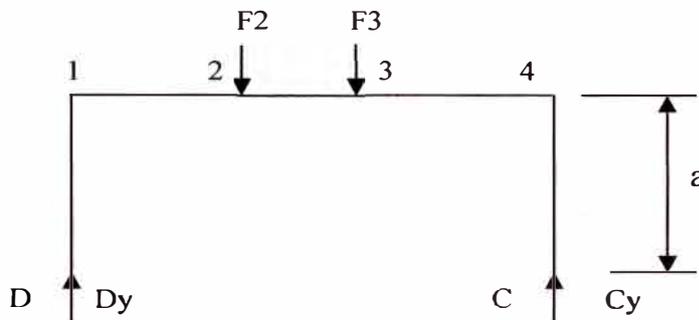
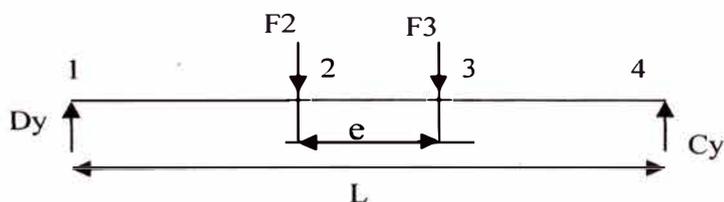


Fig. 20. Diagrama de cuerpo libre pórtico C-D.

Los valores de  $a = 800 \text{ mm}$  ;  $e = 350 \text{ mm}$ . y  $L = 3873 \text{ mm}$ .

2.1 Calculo de momentos en la viga 1-4.



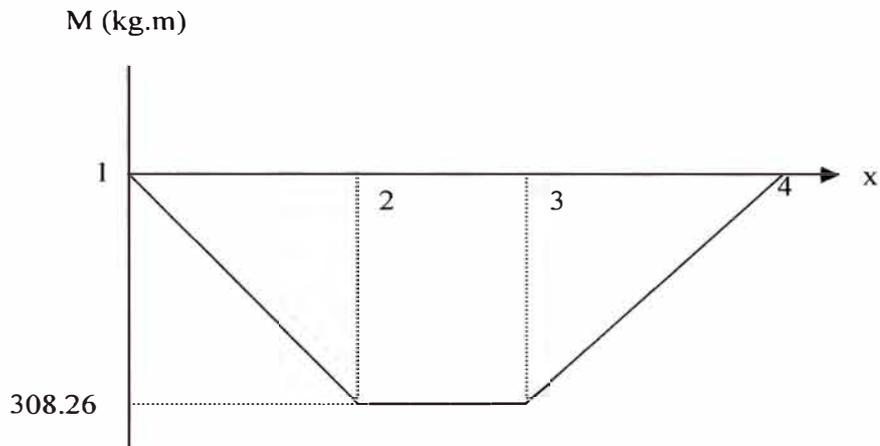
♦  $\sum Fy = 0$

$Cy + Dy = F3 + F2 \dots \dots \dots (6-8)$

Reemplazando los valores en la ecuación (6.8) obtenemos:

$F3 = F2 = 175 \text{ kg}$ .

◆ Diagrama de momento flector.



Del diagrama de momento se obtiene:

$$M_{\max} = 400 \text{ kg.m.}$$

$$M_{\min} = 0 \text{ kg.m}$$

2.2 Cálculo Estructural de la viga-4.

Obtenemos los parámetros de “Tabla Técnica de vigas” considerando un perfil W 4x13.

$$A = 2470 \text{ mm}^2.$$

$$r_x = 43.9 \text{ mm.}$$

$$d = 106 \text{ mm.}$$

$$r_y = 25.5 \text{ mm.}$$

$$b_f = 103 \text{ mm.}$$

$$I_y = 1.61 \times 10^6 \text{ mm}^4.$$

$$S_x = 89.9 \times 10^3 \text{ mm}^3.$$

$$t_f = 8.8 \text{ mm.}$$

$$S_y = 31.2 \times 10^3 \text{ mm}^3.$$

$$t_w = 7.1 \text{ mm.}$$

Relación de Esbeltez

En el extremo izquierdo:

Rotación --con desplazamiento en x e y

- Rotación libre articulado.

$$L = 3873 \text{ mm.}$$

Extremo derecho:  $\frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 3873}{43.9} = 88.22$   
-con desplazamiento  $K_x = 2$ .

-Rotación libre articulado  $K_y = 2$ .

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{2 \times 3873}{25.5} = 303.8 > 200 \quad (\text{Mal})$$

Segundo tanteo: W 6x25

$$A = 4730 \text{ mm}^2. \quad r_x = 68.5 \text{ mm.}$$

$$d = 162 \text{ mm.} \quad r_y = 38.7 \text{ mm.}$$

$$bf = 154 \text{ mm.} \quad I_y = 7.07 \times 10^6 \text{ mm}^4.$$

$$S_x = 274 \times 10^3 \text{ mm}^3. \quad t_f = 11.6 \text{ mm.}$$

$$S_y = 91.8 \times 10^3 \text{ mm}^3. \quad t_w = 8.1 \text{ mm.}$$

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{2 \times 3873}{68.5} = 113.08$$

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{2 \times 3873}{38.7} = 200.1 \quad \text{O.K.}$$

El perfil será adecuado si se cumple la relación de flexión:

$$\frac{fb}{Fb} < 1$$

Cálculo de esfuerzo de flexión permisible (Fb)

Para que la sección sea compacta debe cumplir:

$$bf \geq \frac{l}{330} \quad l : \text{longitud no arriostrada. } L = 3873 \text{ mm.}$$

Como  $bf \geq 3873/330 = 11.74 \text{ mm} < 154 \text{ mm}$ , es compacta pero como no esta arriostrada continuamente, aplicaremos:

$$Fb = \left[ 1 - \frac{(L/r)^2}{2Cc^2 \times Cb} \right] \times 0.6Fy \dots\dots\dots(6.9)$$

$Fy = 25.5 \text{ kg/mm}^2$ , limite de fluencia.

$r$  = radio de giro de la sección en compresión por flexión con respecto al eje “y”

$Cc = 126$  factor de columna para acero A-36.

$L = 3873 \text{ mm}$  long, no arriostrada.

$M1 = 0 \text{ kg.m}$  momento pequeño y con su signo.

M2=400 kg.m momento máximo y con su signo.

$$C_b = 1.75 - 1.05 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3 \quad \dots\dots\dots(6.10)$$

Reemplazando valores en la ecuación (6.11).

$$C_b = 1.75$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{I_f}{A_f + \frac{A_w}{6}}} \quad \dots\dots\dots(6.11)$$

I<sub>f</sub> = inercia del ala de compresión respecto al eje y.

A<sub>f</sub> = Área del ala de la sección.

A<sub>w</sub>/6 = sexta parte del área del alma.

$$\text{Para vigas} \quad I_f = \frac{t_f \cdot b_f^3}{12} = \frac{11.6 \times 154^3}{12} = 3.53 \times 10^6 \text{ mm}^4.$$

$$A_f = b_f \cdot t_f = 154 \times 11.6 = 1786.4 \text{ mm}^2.$$

$$A_w = t_w(d - 2t_f) = 8.1(162 - 2 \times 11.6) = 1124.3 \text{ mm}^2..$$

El radio de giro valdrá:

$$r = \sqrt{\frac{I_f}{A_f + \frac{A_w}{6}}} = \sqrt{\frac{3.53 \times 10^6}{1786.4 + \frac{1124.3}{6}}} = 14.01 \text{ mm}$$

Reemplazando valores en la ecuación (6.9). El esfuerzo de flexión permisible valdrá:

$$Fb = \left[ 1 - \frac{(3873/14.1)^2}{2 \times 126^2 \times 1.75} \right] \times 0.6 \times 25.5$$

$$Fb = 15.22 \text{ kg/mm}^2.$$

$$\text{También: } Fb = \frac{89400Cb}{Ld / Af} = \frac{8940 \times 1.75}{3873 \times 162 / 1786.4} = 44.54 \text{ kg/mm}^2 \text{ no usar.}$$

El esfuerzo de flexión actuante valdrá:

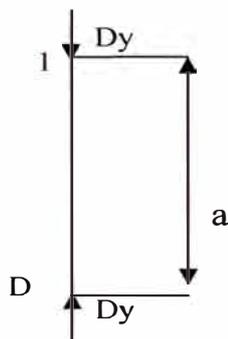
$$fb = \frac{M \text{ max}}{Sx} = \frac{400 \times 10^3}{274 \times 10^3} = 1.46 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Aplicando la relación de flexión:

$$\frac{fb}{Fb} = \frac{1.46}{15.22} = 0.10 < 1 \quad \text{O.K}$$

### 2.1 Cálculo Estructural de la columna D-1.

Calculamos la columna D-1 por ser el más crítico:



Como asimilamos una viga con extremos articulados con un momento en el extremo superior.

Considerando el mismo perfil W 6x25

### Relación de Esbeltez

En el extremo superior:

Rotación –sin desplazamiento.

En x e y- rotación libre articulado.

$L = a = 800 \text{ mm.}$

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 800}{68.5} = 16.7$$

Extremo inferior:

-Sin desplazamiento.

-Rotación libre articulado  $K_x = K_y = 1.$

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{1 \times 800}{38.7} = 20.7 \text{ (Manda)}$$

Sin tener en cuenta la flexión, la columna se flexa más por el menor radio de giro.

Con la mayor relación de esbeltez, leemos:

$$F_a = 245 \text{ kg/mm}^2.$$

El esfuerzo axial calculado.

$$f_a = \frac{Dy}{A} = \frac{175}{4730} = 0.037 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

El perfil será adecuado si se cumple la relación de compresión:

$$\frac{fa}{Fa} = \frac{0.037}{245} = 0.004 < 1 \quad \text{O.K}$$

3. Cálculo Estructural del pórtico A-D.

Analizando el pórtico A-D. Se muestra el diagrama de cuerpo libre en la figura 21.

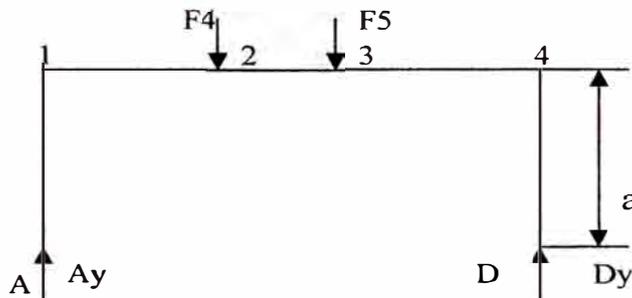
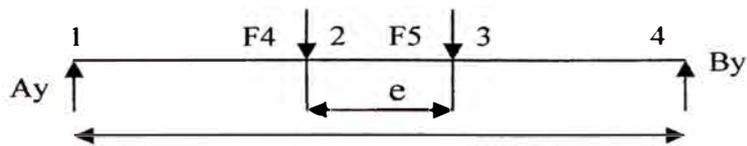


Fig. 21. Diagrama de cuerpo libre pórtico A-D.

Los valores de  $a = 800 \text{ mm}$  y  $e = 350 \text{ mm}$ ,  $R = 1162 \text{ mm}$

3.1 Cálculo de momentos en la viga 1-4.



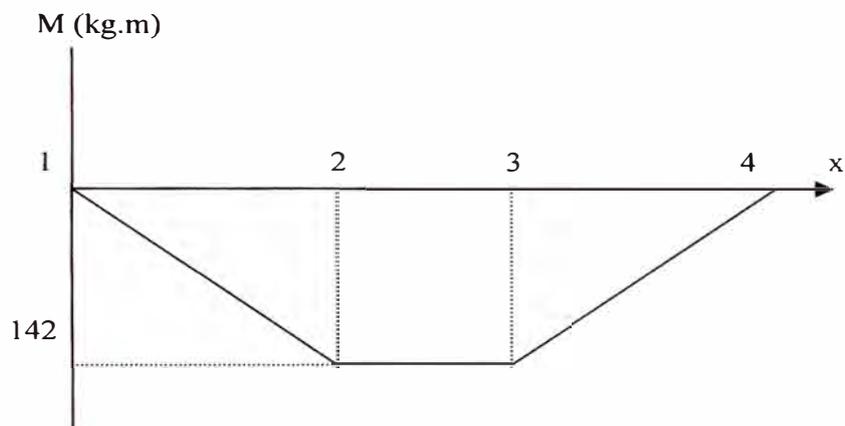
♦  $\sum F_y = 0$

$$Ay + By = F4 + F5 \dots\dots\dots(6.12)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (6.12) obtenemos:

$$F5 = 175 \text{ kg}$$

◆ Diagrama de momento flector.



Del diagrama de momento se obtiene:

$$M_{\max} = 142 \text{ kg.m.}$$

$$M_{\min} = 0 \text{ kg.m}$$

3.2 Cálculo Estructural de la viga 1-4.

Tomamos el mismo perfil del marco C-D: W 6x 25

$$A = 4730 \text{ mm}^2.$$

$$r_x = 68.5 \text{ mm.}$$

$$d = 162 \text{ mm.}$$

$$r_y = 38.7 \text{ mm.}$$

$$b_f = 154 \text{ mm.}$$

$$I_y = 7.07 \times 10^6 \text{ mm}^4.$$

$$S_x = 274 \times 10^3 \text{ mm}^3.$$

$$t_f = 11.6 \text{ mm.}$$

$$S_y = 91.8 \times 10^3 \text{ mm}^3.$$

$$t_w = 8.1 \text{ mm.}$$

Cálculo de esfuerzo de flexión permisible (Fb)

Para que la sección sea compacta debe cumplir:

$$bf \geq \frac{l}{330} \quad l: \text{longitud no arriostrada. } l= 1162 \text{ mm.}$$

Como  $bf \geq 1162/330=3.52 \text{ mm} < 154 \text{ mm}$ , es compacta pero como no esta arriostrada continuamente, aplicaremos:

$$Fb = \left[ 1 - \frac{(L/r)^2}{2Cc^2xCb} \right] x 0.6Fy \quad \dots\dots\dots (6.13)$$

$$Cb = 1.75 - 1.05 \left( \frac{M1}{M2} \right) + 0.3 \left( \frac{M1}{M2} \right)^2 \leq 2.3 \quad \dots\dots\dots (6.14)$$

Reemplazando en la ecuación (6.14).

$Cb= 1.75$  y como la sección de la columna es la misma que la viga se tendrá el mismo radio de giro:

Radio de giro:  $r=14.01 \text{ mm}$

Reemplazando valores en la ecuación (6-13). El esfuerzo de flexión permisible valdrá:

$$Fb = \left[ 1 - \frac{(1162/14.01)^2}{2x126^2 x1.75} \right] x 0.6x25.5$$

$Fb =13.41 \text{ kg/mm}^2$ .

$$\text{Tambi3n: } F_b = \frac{89400Cb}{Ld / Af} = \frac{8940 \times 1.75}{1162 \times 162 / 1786.4} = 1484.68 \text{ kg/mm}^2 \text{ no usar.}$$

Aplicando la relaci3n de flexi3n:

$$\frac{fb}{F_b} = \frac{2.37}{13.41} = 0.20 < 1 \quad \text{O.K}$$

Al observar el diagrama de cuerpo libre presenta las mismas fuerzas analizadas para el caso de la columna D-1. Por lo tanto el caculo ser3 el mismo y se obtendr3 el mismo resultado.

De acuerdo a los c3lculos realizados seleccionamos del ap3ndice F-1:2

**Se concluye que la viga a usar ser3 W6x25.**

## **CAPITULO VII.**

### **COSTOS Y PRESUPUESTOS.**

En este capítulo se realizara un análisis de costo par fabricación y instalación del agitador, específicamente el análisis se realizará para el caso del agitador de 25 m3. En otros casos se realizara otro análisis el cual se puede basarse en el siguiente análisis.

#### **7.01.- Presupuesto de Instalación y Construcción.**

En la elaboración del prosupuesto de instalación y construcción del sistema de agitación, se ha tomado en cuenta los costos directos e indirectos que intervienen en la construcción e instalación del agitador.

7.01.1. **Costos Directos.**

Los cuales están conformados por materia prima y la mano de obra directa.

1. Materia Prima Directo:

Los materiales que intervienen en la construcción son:

TABLA 16

TABLA DE COSTO DE MATERIA PRIMA

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PESO (kg)	IMPORTE (\$)
1.-Agitador				
• Rotor				
Paletas de acero estructural de 1/2".	m <sup>2</sup>	0.78	77.76	46.65
Bocina de tubo schule80 de 4-1/2 " φ	mm	284	4.82	3.89
• Eje				
Barra de acero 1045 4"φ.	m	1.8	114.55	68.73
2.-Soporte				
• Viga W6x25	m	15	558	362.7
3.-Sistema motriz				
• Motor-reductor	Pza	1	339	3625
• Acople S360DD VkR	Pza	1	139.5	1800
4.-Acabado				
• Pintura anticorrosivo	m <sup>2</sup>	3	.....	20
<b>TOTAL DE MATERIA PRIMA</b>				<b>\$5926.97</b>

2. Mano de obra Directa

Se considera a aquella que interviene en forma directa e importante en la transformación del material (obrero Calificado).

Para la instalación del sistema de agitación tomaremos 2 días.

TABLA 17

MANO DE OBRA DIRECTA

DESCRIPCION	CANTIDAD PERSONAL	NUMERO DE DIAS	JORNAL (\$)	TOTAL (\$)
Sistema Agitador	2	2	28	112
Soporte	2	2	28	112
Instalación	3	2	28	148
			Costo total Mano de Obra Directa	372

7.01.2. **Costos indirectos**

Estos costos están conformados principalmente por el material indirecto y la mano de obra indirecta y todos los gastos incurridos en el taller que no pueden ser cargados a unidades o trabajos específicos.

Se denomina materiales indirectos, aquellos que son necesarios para obtener el producto final del producto pero que su consumo con respecto al producto es tan pequeño o su valorización tan compleja, que seria laborioso realizar esta evaluación y los resultados serian no muy confiables si se les trataran como materiales directos. Ejemplo de

materiales indirectos lo constituye: aceites lubricantes, waype, materiales de limpieza, etc.

La mano de obra indirecta puede ser definida por oposición a la mano de obra directa, es decir que es aquella que no afecta ni la composición ni la constitución del producto final. A la mano de obra indirecta se denomina también no productiva. Como ejemplo podemos citar los sueldos de los jefes de taller, capataces, controladores, etc.

Se entiende por otros gastos como aquellos en que se incurre en el taller pero que no pueden ser ubicados dentro los gastos ya citados de materiales indirectos o mano de obra indirecta. Como por ejemplo mencionaremos la energía eléctrica, luz, calefacción, aire comprimido, depreciación de maquina y depreciación de edificios, etc.

Como se observa la determinación se estos costos indirectos incurridos no se puede determinar exactamente, se toma un porcentaje de 10% mas del costo de mano de obra. Este porcentaje se obtiene en base a la práctica que se aplica en talleres del medio.

Por lo tanto el costo indirecto:

$$\text{Costo Indirecto} = \text{M.O} + 10\% \text{ Costo M.O}$$

Obtenemos:

$\text{Costo Indirecto} = \$ 409$
-----------------------------------

**7.02.- Inversión.**

El costo total de la construcción e instalación del sistema de agitación da como resultado una inversión que debe cubrir el total de los costos directos e indirectos y es de:

Obtenemos:

$\text{Inversión} = \text{Costo Directo} + \text{Costo Indirecto} + \text{Utilidad}$
--

$\text{Inversión} = \$5926.97 + \$372 + \$409 + 1347.59 = \$ 8055.56$
---

TABLA 18

RESUMEN DE COSTOS GENERALES

Descripción	Costo (\$)	Total (\$)
<b>1. Costos Directos</b>		<b>6298.97</b>
<b>1.1. Materia Prima</b>		<b>5926.97</b>
Agitador (Rotor & Eje)	119.27	
Soporte Agitador	362.7	
Sistema Motriz (Motor, Acople)	5425.0	
Recubrimiento (Pintura)	20	
<b>1.2. Mano Obra</b>		<b>372.0</b>
Sistema Agitador	112	
Soporte de Agitador	112	
Instalación	148	
<b>2.- Costos Indirectos</b>		<b>409.0</b>
+ 10% M.O	409.0	
<b>3. Utilidad</b>		<b>1347.59</b>
20% (C.D+C.I)	1347.59	
<b>4. Inversión Total</b>		<b>8055.56</b>

### 7.03.- Tiempo de Retorno de Inversión.

Para evaluar el tiempo de retorno de inversión debemos de calcular la producción mensual que se obtendrá en el digestor de 25 m<sup>3</sup>, tanto del biogas como el biofertilizante. Por lo tanto se debe considerar lo siguiente:

- Producción Biogas (Vg) = Vol. Digestor/1.4 = 25/1.4 = 17.86 m<sup>3</sup>/día.
- Tiempo de Retención (Tr) = 20 días.
- Volumen de Carga (Vc) = Vol. Digestor/Tr = 25/20= 1.25 m<sup>3</sup>/día.
- Cantidad de Biofertilizante (Qb) = 500x Vc = 500x1.25 = 625 kg.

TABLA 19

TABLA DE RETORNO DE INVERSION

Descripción	Cant./día	Cant. / Mensual	Costo Unit.(\$)	Total Mensual(\$)
Producción Biogas (m <sup>3</sup> )	17.86	357.2	5.65	2018.18
Producción de Biofertilizante (Kg)	625	12500	0.42	5250.00
<b>Total</b>				<b>7268.18</b>
Utilidad Total (20%)				1453.64
<u>Estimación del Tiempo de Retorno</u>				
Inversión Total en Sistema de Agitación				\$ 8055.56
<b>Tiempo de retorno de inversión</b>				<b>6 meses</b>

Por lo tanto de la Tabla 19 se obtiene que el tiempo de retorno de inversión será de 6 meses.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- 1) Se recomienda un estudio muy detallado de las condiciones de mezcla y operación en el cual funciona el agitador dentro del digestor, estos parámetros influyen en la selección del tipo de agitador, así como determinar la velocidad adecuada de funcionamiento del agitador.
- 2) Con la utilización de agitadores se espera obtener un aumento de 50% en producción de biogas; así como también se espera disminuir en un 50% el tiempo de retención, ya que el agitador produce un mezclado mas uniforme entre el agua y el material permitiendo el desarrollo de la fermentación con mayor rapidez, así como también evita la formación de capa de nata perjudicial para el escape del gas del interior de la capa.
- 3) Para digestores de mayor capacidad de  $189 \text{ m}^3$  se recomienda usar agitadores por la parte lateral de tipo hélice, ya que este tipo de agitadores tienen su mayor uso en tanques de  $1000 \text{ m}^3$ .

- 4) El procedimiento de diseño de agitadores hasta  $50 \text{ m}^3$ , se basa en que muchos digestores a nivel rural se encuentra hasta esta capacidad, y a nivel industrial podemos encontrar hasta  $1000 \text{ m}^3$  y en cuyo caso se tendrá en cuenta otras consideraciones para el diseño como dimensiones del digestor y el nivel de agitación que se quiere obtener.
- 5) El programa permite evaluar los parámetros de: revoluciones del agitador, numero de agitadores, ubicación de agitadores, dimensiones del agitador (diámetro del rotor, ancho del alabe, diámetro del eje), potencia del motor. Estos parámetros se obtienen de acuerdo a la selección que se realice del tipo de agitador.
- 6) Para el caso práctico de digestor de  $25 \text{ m}^3$  se ha evaluado con estiércol de cuy, previamente mezclado con chala y pasto para obtener una relación C/N de 35 el cual es lo más optimo para este tipo de estiércol. En el digestor, esta mezcla se ha adicionado agua y bacterias procedentes del estomago de la vaca.
- 7) Los resultados obtenidos del programa para el caso práctico del digestor  $25 \text{ m}^3$  son: motor de 30 Hp, acoplado a un reductor 30/1 cuyo velocidad de salida  $45 \text{ min}^{-1}$ , esta velocidad puede ser variado de acuerdo al requerimiento de agitación ya que en muchos casos no se tiene datos exacto de la velocidad adecuada de agitación.
- 8) El sistema de agitación, para el caso práctico, consiste de un agitador vertical de cuatro paletas rectas cuyo diámetro es de 1.6 m, las paletas son radiales y rectas de acuerdo a la referencia encontrada de agitadores para digestores. En cuanto al eje se ha hecho los cálculos de acuerdo a los criterios de deformación torsional, criterio de falla y velocidad crítica, obteniendo como resultado un eje SAE 1045

de Ø 4". También se evaluó para el caso de 6 paletas obteniéndose un eje SAE 1045 de Ø 4-1/4" y potencia de motor de 38.5 hp, esta opción se descartó debido a los costos que implicaría fabricarlo por lo que se decidió trabajar con 4 paletas.

- 9) La base que soporta el sistema de agitación se realizara de vigas W6x25, estas vigas se ha seleccionado de acuerdo a un cálculo de estructura, considerando los pesos del motor, eje, acople, agitador y reductor, así como las dimensiones del digestor.
- 10) La inversión para la realización del sistema de agitación son de 8055.56 dólares, este costo puede ser de alguna manera mejorado de acuerdo al material usado y la cantidad de mano de obra utilizadas.
- 11) El financiamiento para la construcción del sistema de agitación se realizara de acuerdo a la producción que se obtenga de producir biogas y bioabono como también deducir los gastos de operación y mantenimiento de la planta y a partir de ello se puede estimar el tiempo de recuperación de la inversión. En estos momentos no se cuenta con estos datos ya que se ha realizado la primera carga y recién se va a realizar las pruebas de producción.
- 12) La producción de biogás con el sistema agitador se espera obtener una producción de 17.86 m<sup>3</sup>/día, biofertilizante de 625 kg/día y con costos de \$ 5.65/m<sup>3</sup> y \$ 0.42/kg respectivamente. Con estos datos obtenemos que el tiempo de retorno de inversión es de 6 meses.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alva Dávila, Fortunato, Diseño de Elementos de Maquinas 2, Pool Producciones, Lima, Perú, 2004.
2. Chohey, Nicholas & Hicks, Tyler, Manual de Cálculos de Ingeniería Química, Mc-Graw Hill, México, 1986.
3. Charon, Pierre, Calculo Práctico de Vigas, Pórticos y Marcos, Técnicos Asociados S.A., Barcelona, España, 1979.
4. Días Mosto, Jorge, Contabilidad de Costos Industriales, Universo S.A., Lima, Perú, 1973.
5. Jiménez Pérez, José Carlos, Matchad & User's Guide, Anaya Multimedia S.A. Madrid, España, 1999.
6. J.M. Coulson, J.F Richarson, Ingeniería Química Operaciones Básicas (Tomo II), Reverte, México, 1981.
7. Lehniger, Albert, Bioenergética, Alfa Omega, Lima, Perú, 1986.
8. McCabe & Smith & Harriot, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, Mc-Graw Hill, México, 2002.
9. McCormac, Jack, Diseño de Estructuras Metálicas, Alfa Omega, México, 1989.
10. Nonnast, Robert, El Proyectista de Estructuras Metálicas, Paraninfo, Madrid, España, 1999.
11. Oliveros Dollohue, Alfredo, Tecnología Energética y Desarrollo, Tarea, Lima, Perú, 1990.
12. Perry, Robert H., Biblioteca del Ingeniero Químico (Vol. V), Mc- Graw Hill, México, 1986.

13. Pineda, Manuel & Cabello, Purificación, Energía de la Biomasa: Realidades y Perspectivas, Tarea, Lima, Perú, 1998.
14. Polimeni & Fabozzi & Adelberg, Contabilidad de Costos, Mc-Graw Hill, Interamericana S.A., Colombia, Tercera Edición, 1999.
15. Spotts, M.F, Proyecto de Elementos de Maquinas, Reverte S.A., Barcelona, España, 1966.
16. William, T. Thomson, Teoría de Vibraciones, Pretince- Hall Hispanoamericana S.A., México, 1993.
17. Zapata Baglietto, Luis, Diseño Estructural en Acero, Colegio de Ingenieros, Lima, Perú, 1997.
18. <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/producerdos/encuentros.htm>
19. <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rcpp.htm>
20. [www.kriegfischer.de](http://www.kriegfischer.de)
21. <http://www.canales.ideal.es/waste/biomasa.htm>
22. <http://www.geocities.comRainForest/Vines/6274/info.mes.htm>
23. [http://www.ProcesosVirtuales.com/Gratis/Diseno\\_Procesos.asp](http://www.ProcesosVirtuales.com/Gratis/Diseno_Procesos.asp)

# **APENDICE**

- PROGRAMA DE CÁLCULO DE SISTEMA DE AGITACION PARA 4 PALETAS.....A-1:12
- PROGRAMA DE CÁLCULO DE SISTEMA DE AGITACION PARA 6 PALETAS.....A-13:24
- PROPIEDADES TIPICAS DE MATERIALES.....B-1: 2
- DIMENSIONES DE CHAVETAS.....C-1
- FACTOR DE SERVICIO.....D-1: 2
- MOTOR REDUCTOR MARCA “ROSSI”.....E-1: 3
- VIGAS “H” ALAS ANCHAS (WF) STANDARD AMERICANO.....F-1: 2
- ACOPLAMIENTO MARCA “JUARE”.....G-1: 3
- CONSTANTES SEGÚN CODIGO ASME.....H-1

**PROGRAMA DE CALCULO DE SISTEMA DE AGITACION**  
**PARA BIODIGESTORES HASTA 50M3**  
**(Caso 4-Paletas)**

Para realizar los calculos relacionados al sistema de agitacion se debe seguir los siguientes pasos:

**1. Datos de Entreda Necesarios.**

- Caracteristicas Fisicas de la Mezcla.

$$\rho := 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ .....(Densidad)}$$

$$\mu := 2.5 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s} \text{ .....(Viscosidad)}$$

- Dimension de Biodigestor.

$$V := 25 \cdot \text{m}^3 \text{ .....(Volumen)}$$

$$Dt := 4 \cdot \text{m} \text{ .....(Diametro)}$$

**2. Cálculo de la Capacidad Requerida de Bombeo del Agitador (Q).**

- Diametro Equivalente.

$$Teq := \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi}}$$

$$Teq = 3.169 \text{ m}$$

- Capacidad de Bombeo.

Seleccionamos la velocidad de la mezcla dado en la Tabla 1. El cual varia de 0.03 a 0.3 m/s.

Seleccionamos la velocidad..

$$Vm := 0.21 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q := \frac{\pi}{4} \cdot Vm \cdot Teq^2$$

$$Q = 1.657 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Tabla 1  
Velocidad de Mezclado

Escala de Agitación	Velocidad de mezclado pie/min (m/s)	Descripción
1	6 (0.03)	Los niveles de agitación 1 y 2 son característicos de la aplicación que requieren velocidades de flujo mínimas para alcanzar el resultado del proceso.
2	12 (0.06)	Los agitadores de nivel 2 serán capaces de: <ul style="list-style-type: none"> <li>? Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si las diferencias de sus <math>\rho_e</math> (gravidades específicas) son menores que 0.1.</li> <li>? Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la viscosidad del más viscoso es menor que 100 veces la del otro.</li> <li>? Establecer un control completo de lodo.</li> <li>? Producir una superficie llana pero en movimiento, del espesado.</li> </ul>
3	18 (0.09)	Los niveles de agitación 3 al 6 son características de las velocidades de fluido usados en muchos procesos de industrias químicas.
4	24 (0.12)	Los agitadores del nivel 6 serán capaces de:
5	30 (0.15)	<ul style="list-style-type: none"> <li>? Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la diferencia de sus <math>\rho_e</math> son menores que 0.6</li> <li>? Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la viscosidad del más viscoso es menor que 10000 veces del otro.</li> <li>? Suspender sólidos (&lt;2%) con rangos de sedimentación entre 2 a 4 pie/min.</li> <li>? Producir ondas superficiales a bajas viscosidades.</li> </ul>
6	36 (0.18)	
7	42 (0.21)	Los niveles de agitación del 7 al 10 son característicos de las aplicaciones que quieren altas velocidades de flujo para obtener el resultado del proceso tal como en los reactores.
8	48 (0.24)	Los agitadores del nivel 10 son capaces de:
9	54 (0.27)	<ul style="list-style-type: none"> <li>? Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la diferencia de sus gravidades específicas son menores que 1.0</li> <li>? Mezclar fluidos hasta uniformizarlos si la viscosidad del más viscoso es menor que 100000 veces la del otro.</li> <li>? Suspender los sólidos (&lt;2%) con velocidades de sedimentación entre 4 y 6 pie/min.</li> <li>? Proveer un oleaje sobre la superficie a bajas viscosidades.</li> </ul>
10	60 (0.30)	

**3. Cálculo de Diametro del Agitador (D).**

Seleccionamos la relacion de diametros agitador y tanque, el cual se encuentra entre 0.2 a 0.5 .En este caso seleccionamos:

$$r := 0.5$$

$$D := r \cdot Teq$$

$$D = 1.585 \text{ m}$$

**4. Cálculo de Ancho del Agitador (W).**

Seleccionamos la relacion de ancho y diametro del agitador, esta relación depende de la geometria del agitador. Algunas de estas relaciones se encuentra en la Fig.1.

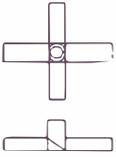
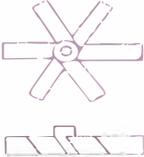
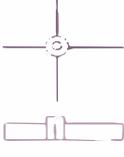
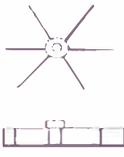
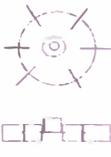
 <p>W/D = 1/5</p>	 <p>W/D = 1/5</p>	 <p>W/D = 1/6</p>	 <p>W/D = 1/6</p>	 <p>W/D = 1/5</p>
Alabe inclinado(P-4)	Alabe inclinado (P-6)	Alabe recto (S-4)	Alabe recto (S-6)	Tipo disco (D-6)
Np=1.37	Np=1.7	Np=2.96	Np=3.86	Np=5.46

Fig 1. Valores del número de potencia en condiciones turbulentas Np, para diferentes configuracionesde impulsor.

Nota: w/D es la razón del ancho real del alabe respecto al diámetro del impulsor.

$$k := \frac{1}{6} \dots\dots\dots \text{(Para Agitadores de paletas rectos de 4 aspas)}$$

$$W := k \cdot D$$

$$W = 0.264 \text{ m}$$

## 5. Cálculo de la Velocidad giro del Rotor (n).

- La velocidad tangencial según los fabricantes varia entre 1000 y 2000 m/min. para lo cual tomaremos:

$$V_t := 1100 \cdot \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

- Calculamos la velocidad de giro inicial del rotor.

$$w := \frac{2V_t}{D}$$

$$w = 23.139 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (\text{Valor inicial})$$

- Calculamos el número de Reynold.

$$\text{Re}(w) := \frac{\rho \cdot w \cdot D^2}{\mu} \quad \boxed{\text{Re}(w) = 3.486 \times 10^4}$$

- Calculamos el número de Bombeo de Fig.2 con los datos de  $D/T=0.5$  y el Numero de Reynolds.

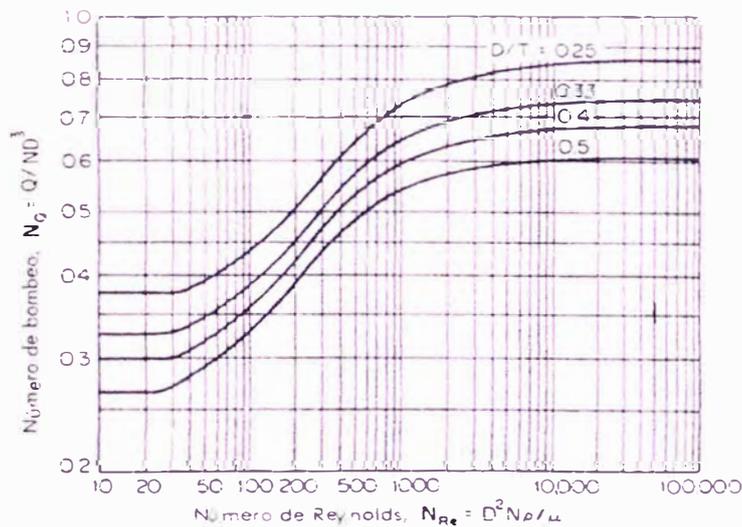


Fig.2. Número de Bombeo en función del número de Reynolds del Impulsor.

$$N_q := 0.60$$

Si el número reynolds( $Re$ ) es mayor a 20000, donde el número de bombeo( $N_q$ ) es constante, no se requiere iteración y la velocidad calculada es adecuada para el diseño.

- Calculamos la velocidad final.

$$f(Nq) := \frac{Q}{Nq \cdot D^3} \quad \boxed{f(Nq) = 0.694 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

- Al comparar los valores de la velocidad inicial y final se tiene valores diferentes, por lo tanto debemos realizar las iteraciones siguientes:

item	Velocidad	Reynolds	Num. Bombeo*	Velocidad Angular.
0	$w_0 := f(Nq) \text{Re}(w_0) = 1.045 \times 10^3 Nq := 0.54$			$f(Nq) = 46.26 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$
1	$w_1 := f(Nq) \text{Re}(w_1) = 1.162 \times 10^3 Nq := 0.56$			$f(Nq) = 44.608 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$
2	$w_2 := f(Nq) \text{Re}(w_2) = 1.12 \times 10^3 Nq := 0.55$			$f(Nq) = 45.419 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$
3	$w_3 := f(Nq) \text{Re}(w_3) = 1.14 \times 10^3 Nq := 0.555$			$f(Nq) = 45.01 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$

## 6. Cálculo de la Potencia Requerida (Pre)

- Para el cálculo de la potencia definimos el valor de la velocidad de giro.

$$w := f(Nq) \quad \text{El número de Reynolds sera: } \boxed{\text{Re}(w) = 1.13 \times 10^3}$$

- Determinamos el factor de Corrección del número de potencia debido a la viscosidad, el cual esta en función del Número de Reynolds.

Tabla 2

Reynolds ( $N_{Re}$ )	Factor (C)	Reynolds ( $N_{Re}$ )	Factor (C)
1000	1	150	0.93
700	1	100	0.91
500	0.99	80	0.90
400	0.98	70	0.89
300	0.97	60	0.88
200	0.95	50	0.87

De tabla 2 determinamos el factor de corrección.  $c := 1$

- El número de potencia corregida es:

$N_p := 2.96$  (Número de potencia para Agitadores de paletas Planas de 4 aspas, ver Fig.1)

$$N_p := c \cdot N_p *$$

$$N_p = 2.96$$

- Potencia requerida:

$$P_{re} := N_p \cdot \rho \cdot \omega^3 \cdot D^5$$

$$P_{re} = 18.726 \text{ kW} \quad P_{re} = 25.112 \text{ hp}$$

### 7. Cálculo de potencia Motor ( $P_{mo}$ ).

Considerando las pérdidas a través del reductor de velocidad, las pequeñas desviaciones en la velocidad real (que implica el cálculo de la potencia elevada al cubo) y las variaciones en las condiciones del proceso (densidad y viscosidad), por ello tomamos una eficiencia de 85%.

$$\eta := 85\% *$$

$$P_{mo} := \frac{P_{re}}{\eta}$$

$$P_{mo} = 22.031 \text{ kW} \quad P_{mo} = 29.544 \text{ hp}$$

### 8. Cálculo de Número de Impeler y ubicación.

- Seleccionamos la capacidad de llenado ( $q$ ), el cual esta en función de diámetro del digestor y el volumen ver tabla 3.

De tabla 3 obtenemos:

$$q := 12.218 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{m}} *$$

Tabla 3  
 Datos de Capacidad, Para Recipientes Cilindricos.

Diámetro del Recipiente		Volumen del Recipiente Cilíndrico		Profundidad y Volumen de la Cabeza del Recipiente			
ft-in	In	Lado recto, gal/in	Lote cuadrado, gal	Cabeza cóncava estándar		Cabeza ASME, cóncava y bridada	
				Profund. d.(in)	Vol. gal	Profund. (in)	Vol. (gal)
3 ft	36	4.4	159	4.9	11	6.0	16
3 ft 6 in	42	5.99	252	5.7	18	7.2	25
4 ft	48	7.83	376	6.5	27	8.0	37
4 ft 6 in	54	9.91	535	7.3	38	9.0	53
5 ft	60	12.2	734	8.1	52	10	78
5 ft 6 in	66	14.8	977	8.9	70	11	104
6 ft	72	17.6	1269	9.7	90	12	135
6 ft 6 in	78	20.7	1631	11	114	14	170
7 ft	84	24.0	2041	11	142	15	212
7 ft 6 in	90	27.5	2478	12	174	15	261
8 ft	96	31.3	3007	13	212	16	314
8 ft 6 in	102	35.3	3607	14	254	18	375
9 ft	108	39.6	4287	15	301	19	446
9 ft 6 in	114	44.1	5035	15	353	20	524
10 ft	120	48.9	5873	16	414	21	612
10 ft 6 in	126	54	6799	17	480	22	705
11 ft	132	59	7817	18	560	23	806
11 ft 6 in	138	65	8932	20	665	24	926
12 ft	144	70	10148	20	735	25	995

- Calculamos la altura de llenado de acuerdo a la siguiente formula.

$$Z := \frac{V}{q} *$$

$$Z = 2.046 \text{ m}$$

- Entonces la Capacidad de llenado es:

$$\frac{Z}{Dt} = 0.512$$

- Seleccionamos de la Tabla 4, el número de impeler y la ubicación del impeler se encuentra en  $Z/3$ .

Tabla 4  
Ubicación y Número de Impeler.

Viscosidad, cP (Pa.s)	Nivel Máximo, Z/T	Número de Impulsores	Claro del impulsor	
			Inferior	Superior
<25,000 (<25)	1.4	1	Z/3	-
<25,000 (<25)	2.1	2	T/3	(2/3)Z
>25,000 (>25)	0.8	1	Z/3	-
>25,000 (>25)	1.6	2	T/3	(2/3)Z

Ubicación del impeler desde la base del digestor:  $\frac{Z}{3} = 0.682 \text{ m}$

El número de impeler:  $\text{Num}_{\text{impeler}} := 1$

### 9. Cálculo de Diámetro de Eje del Agitador (d).

Para calcular el diámetro definiremos lo siguiente:

- Material de eje SAE 1045 y cuyas propiedades mecánicas son:

$$E := 2109000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Módulo de elasticidad})$$

$$G := 808500 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Módulo de elasticidad por corte})$$

$$u := 0.33 \quad (\text{Coeficiente poisson})$$

$$S_y := 4148 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Esfuerzo de fluencia})$$

- Longitud del eje del agitador, cuya longitud es desde el cubo al acoplamiento.

$$L := 1.8 \cdot m$$

- Torque Máximo ( $T_0$ ).

$$T := \frac{P_{re}}{w \cdot g}$$

$$T = 2.546 \times 10^3 \text{ kg} \cdot m$$

Debido a las cargas intermitentes y al encontrarse en voladizo tenemos un factor de corrección.

$$k := 1.5 \quad T := k \cdot T$$

Obtenemos al reemplazar:

$$T = 3.818 \times 10^3 \text{ kg} \cdot m$$

Para determinar el diametro aplicaremos los siguientes criterios :

### 1. Angulo de Deformación Torsional.

De acuerdo a este criterio el ángulo torsional debe tener el siguiente valor de diseño:

$$\theta := 2.06 \frac{\text{rad}}{m} \cdot L \quad *$$

$$\theta = 3.708 \text{ rad} \quad \dots\dots(\text{ángulo de deformación.})$$

Para obtener el diametro definimos la siguiente ecuación:

$$d := \left( \frac{32 \cdot T \cdot L}{\pi \cdot G \cdot \theta} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$d = 39.091 \text{ mm}$$

### 2. Criterio de falla.

En este caso verificaremos si el diametro calculado cumple con los siguientes criterios de falla mostrado en el Tabla 5. Para todos los casos analizados el único esfuerzo actuante en el eje es el cortante y el esfuerzo limitante es  $S_y$ , esto debido unicamente al torque a que esta sometido.

Definimos el esfuerzo cortante

$$\tau_c := \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d^3}$$

Y el esfuerzo limitante

$$S_y = 4.148 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Tabla 5

Criterio	Esfuerzo	Diametros	
• Máximo esfuerzo Normal.	$\sigma_1 := \tau_c$	$d := \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$	$d = 77.684 \text{ mm}$
• Máximo esfuerzo cortante.	$\sigma_2 := 2 \cdot \tau_c$	$d := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$	$d = 97.876 \text{ mm}$
• Máximo deformación	$\sigma_3 := (1 + u) \cdot \tau_c$	$d := \sqrt[3]{\frac{16(1 + u) \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$	$d = 85.431 \text{ mm}$
• Máximo energía de formación.	$\sigma_4 := \sqrt{2 \cdot (1 + u)} \cdot \tau_c$	$d := \sqrt[3]{\frac{16\sqrt{2 \cdot (1 + u)} \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$	$d = 91.442 \text{ mm}$
• Máximo deformacion distorsion.	$\sigma_5 := \sqrt{3} \cdot \tau_c$	$d := \sqrt[3]{\frac{16\sqrt{3} \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$	$d = 93.294 \text{ mm}$

De acuerdo al cuadro mostrada se elige el mayor diametro de los cinco criterios

### 3.Criterio Velocidad Crítica.

En este caso calculamos la velocidad critica del agitador, debido a la masa del agitador, siendo la velocidad de operacion menor o mayor a la velocidad crítica.

Masa del agitador  $m := 50 \cdot \text{kg}$

El momento de inercia del eje se define  $I := \frac{\pi \cdot d^4}{4}$

Teniendo estos datos determinamos la velocidad crítica:

$$\omega_c := \sqrt{\frac{6 \cdot g \cdot E \cdot I}{L^3 \cdot m}}$$

Despejando el diametro obtenemos:

$$d := \sqrt[4]{\frac{2 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot L^3}{3 \cdot \pi \cdot g \cdot E}} \quad d = 3.602 \text{ mm}$$

## 10. Cuadro de Resumen .

Item	Descripción	Valores
1	<u>Materia Mezclada</u>	
	Densidad .....	$\rho = 1.5 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
	Viscosidad .....	$\mu = 2.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
2	<u>Dimensiones del Digestor</u>	
	Volumen .....	$V = 25 \text{ m}^3$
	Diametro .....	$D_t = 4 \text{ m}$
	Altura de llenado.....	$Z = 2.046 \text{ m}$
3	<u>Agitador</u>	
	Diametro paletas .....	$D = 1.585 \text{ m}$
	Ancho paletas .....	$W = 0.264 \text{ m}$
	Número de impeler.....	$\text{Num}_{\text{impeler}} = 1$
	Giro de Paletas.....	$w = 45.01 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$
	Ubicación.....	$\frac{Z}{3} = 0.682 \text{ m}$
	Diametro de eje.....	$d := 101.6 \text{ mm}; \quad d = 4 \text{ in}$

Longitud de eje.....  $L = 1.8\text{ m}$

4 Fuerza Motriz

Potencia de Motor.....  $P_{mo} = 22.031\text{ kW}$   $P_{mo} = 29.544\text{ hp}$

5 Principales Fuerzas

Torque.....  $T = 3.818 \times 10^3\text{ kgm}$

**PROGRAMA DE CALCULO DE SISTEMA DE AGITACION**  
**PARA BIODIGESTORES HASTA 50M3**  
**(Caso 6-paletas)**

Para realizar los calculos relacionados al sistema de agitacion se debe seguir los siguientes pasos:

**1. Datos de Entreda Necesarios.**

- Caracteristicas Fisicas de la Mezcla.

$$\rho := 1500 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{.....(Densidad)}$$

$$\mu := 2.5 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s} \quad \text{.....(Viscosidad)}$$

- Dimension de Biodigestor.

$$V := 25 \cdot \text{m}^3 \quad \text{.....(Volumen)}$$

$$Dt := 4 \cdot \text{m} \quad \text{.....(Diametro)}$$

**2. Cálculo de la Capacidad Requerida de Bombeo del Agitador (Q).**

- Diametro Equivalente.

$$Teq := \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi}}$$

$$Teq = 3.169 \text{ m}$$

- Capacidad de Bombeo.

Seleccionamos la velocidad de la mezcla dado en la Tabla 1. El cual varia de 0.03 a 0.3 m/s.

Seleccionamos la velocidad..

$$Vm := 0.21 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q := \frac{\pi}{4} \cdot Vm \cdot Teq^2$$

$$Q = 1.657 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

**Tabla 1**  
**Velocidad de Mezclado**

Escala de Agitación	Velocidad de mezclado pie/min (m/s)	Descripción
1	6 (0.03)	Los niveles de agitación 1 y 2 son característicos de la aplicación que requieren velocidades de flujo mínimas para alcanzar el resultado del proceso.
2	12 (0.06)	Los agitadores de nivel 2 serán capaces de: <ul style="list-style-type: none"> <li>? Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si las diferencias de sus <math>\rho_e</math> (gravidades específicas) son menores que 0.1.</li> <li>? Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la viscosidad del más viscoso es menor que 100 veces la del otro.</li> <li>? Establecer un control completo de lodo.</li> <li>? Producir una superficie llana pero en movimiento, del espesado.</li> </ul>
3	18 (0.09)	Los niveles de agitación 3 al 6 son características de las velocidades de fluido usados en muchos procesos de industrias químicas.
4	24 (0.12)	Los agitadores del nivel 6 serán capaces de: <ul style="list-style-type: none"> <li>? Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la diferencia de sus <math>\rho_e</math> son menores que 0.6</li> <li>? Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la viscosidad del más viscoso es menor que 10000 veces del otro.</li> <li>? Suspender sólidos (&lt;2%) con rangos de sedimentación entre 2 a 4 pie/min.</li> <li>? Producir ondas superficiales a bajas viscosidades.</li> </ul>
5	30 (0.15)	
6	36 (0.18)	
7	42 (0.21)	Los niveles de agitación del 7 al 10 son característicos de las aplicaciones que quieren altas velocidades de flujo para obtener el resultado del proceso tal como en los reactores.
8	48 (0.24)	Los agitadores del nivel 10 son capaces de: <ul style="list-style-type: none"> <li>? Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la diferencia de sus gravidades específicas son menores que 1.0</li> <li>? Mezclar fluidos hasta uniformizarlos si la viscosidad del más viscoso es menor que 100000 veces la del otro.</li> <li>? Suspender los sólidos (&lt;2%) con velocidades de sedimentación entre 4 y 6 pie/min.</li> <li>? Proveer un oleaje sobre la superficie a bajas viscosidades.</li> </ul>
9	54 (0.27)	
10	60 (0.30)	

**3. Cálculo de Diametro del Agitador (D).**

Seleccionamos la relacion de diametros agitador y tanque, el cual se encuentra entre 0.2 a 0.5 .En este caso seleccionamos:

$$r := 0.5$$

$$D := r \cdot Teq$$

$$D = 1.585 \text{ m}$$

**4. Cálculo de Ancho del Agitador (W).**

Seleccionamos la relacion de ancho y diametro del agitador, esta relación depende de la geometria del agitador. Algunas de estas relaciones se encuentra en la Fig.1.

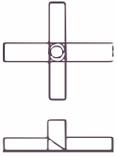
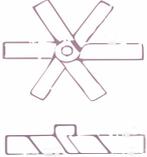
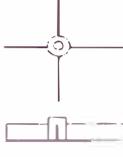
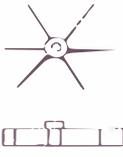
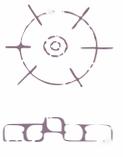
 <p>W/D = 1/5</p>	 <p>W/D = 1/5</p>	 <p>W/D = 1/6</p>	 <p>W/D = 1/6</p>	 <p>W/D = 1/5</p>
Alabe inclinado(P-4)	Alabe inclinado (P-6)	Alabe recto (S-4)	Alabe recto (S-6)	Tipo disco (D-6)
Np=1.37	Np=1.7	Np=2.96	Np=3.86	Np=5.46

Fig 1. Valores del número de potencia en condiciones turbulentas Np, para diferentes configuracionesde impulsor.

Nota: w/D es la razón del ancho real del alabe respecto al diámetro del impulsor.

$$k := \frac{1}{6} \quad \dots\dots\dots \text{(Para Agitadores de paletas rectos de 6 aspas)}$$

$$W := k \cdot D$$

$$W = 0.264 \text{ m}$$

## 5. Cálculo de la Velocidad giro del Rotor (n).

- La velocidad tangencial según los fabricantes varia entre 1000 y 2000 m/min. para lo cual tomaremos:

$$V_t := 1100 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

- Calculamos la velocidad de giro inicial del rotor.

$$w := \frac{2V_t}{D}$$

$$w = 23.139 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (\text{Valor inicial})$$

- Calculamos el número de Reynold.

$$\text{Re}(w) := \frac{\rho \cdot w \cdot D^2}{\mu} \quad \boxed{\text{Re}(w) = 3.486 \times 10^4}$$

- Calculamos el número de Bombeo de Fig.2 con los datos de  $D/T=0.5$  y el Numero de Reynolds.

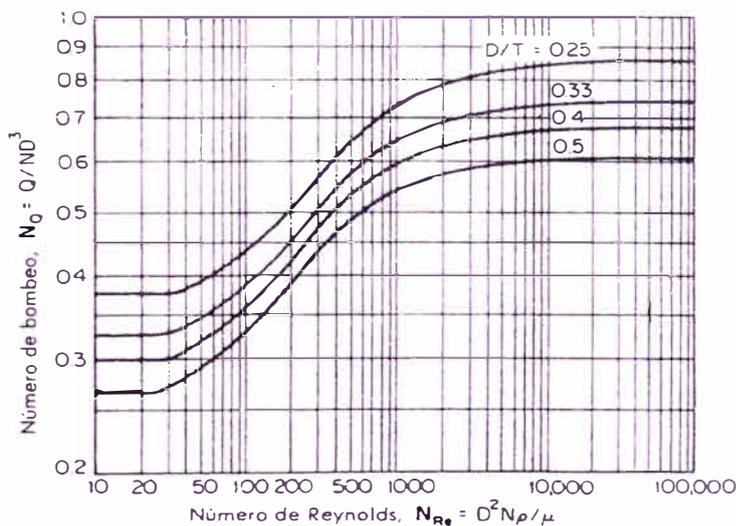


Fig.2. Número de Bombeo en función del número de Reynolds del Impulsor.

$$N_q := 0.60$$

Si el número reynolds(Re) es mayor a 20000, donde el número de bombeo(Nq) es constante, no se requiere iteración y la velocidad calculada es adecuada para el diseño.

- Calculamos la velocidad final.

$$f(Nq) := \frac{Q}{Nq \cdot D^3} \quad \boxed{f(Nq) = 0.694 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

- Al comparar los valores de la velocidad inicial y final se tiene valores diferentes, por lo tanto debemos realizar las iteraciones siguientes:

item	Velocidad	Reynolds	Num. Bombeo*	Velocidad Angular.
0	$w_0 := f(Nq)$	$Re(w_0) = 1.045 \times 10^3$	$Nq := 0.54$	$f(Nq) = 46.26 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$
1	$w_1 := f(Nq)$	$Re(w_1) = 1.162 \times 10^3$	$Nq := 0.56$	$f(Nq) = 44.608 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$
2	$w_2 := f(Nq)$	$Re(w_2) = 1.12 \times 10^3$	$Nq := 0.55$	$f(Nq) = 45.419 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$
3	$w_3 := f(Nq)$	$Re(w_3) = 1.14 \times 10^3$	$Nq := 0.555$	$f(Nq) = 45.01 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$

## 6. Cálculo de la Potencia Requerida (Pre)

- Para el cálculo de la potencia definimos el valor de la velocidad de giro.

$$w := f(Nq) \quad \text{El número de Reynolds sera: } \boxed{Re(w) = 1.13 \times 10^3}$$

- Determinamos el factor de Corrección del número de potencia debido a la viscosidad, el cual esta en función del Número de Reynolds.

Tabla 2

Reynolds	Factor	Reynolds	Factor
( $N_{Re}$ )	(C)	( $N_{Re}$ )	(C)
1000	1	150	0.93
700	1	100	0.91
500	0.99	80	0.90
400	0.98	70	0.89
300	0.97	60	0.88
200	0.95	50	0.87

De tabla 2 determinamos el factor de corrección.  $c := 1$

- El número de potencia corregida es:

$N_p := 3.86$  (Número de potencia para Agitadores de paletas Planas de 6 aspas, ver Fig.1)

$$N_p := c \cdot N_p *$$

$$N_p = 3.86$$

- Potencia requerida:

$$P_{re} := N_p \cdot \rho \cdot \omega^3 \cdot D^5$$

$$P_{re} = 24.42 \text{ kW}$$

$$P_{re} = 32.748 \text{ hp}$$

## 7. Cálculo de potencia Motor ( $P_{mo}$ ).

Considerando las pérdidas a través del reductor de velocidad, las pequeñas desviaciones en la velocidad real (que implica el cálculo de la potencia elevada al cubo) y las variaciones en las condiciones del proceso (densidad y viscosidad), por ello tomamos una eficiencia de 85%.

$$\eta := 85\% *$$

$$P_{mo} := \frac{P_{re}}{\eta}$$

$$P_{mo} = 28.73 \text{ kW}$$

$$P_{mo} = 38.527 \text{ hp}$$

## 8. Cálculo de Número de Impeler y ubicación.

- Seleccionamos la capacidad ( $q$ ), el cual está en función de diámetro del digestor y el volumen ver tabla 3.

De tabla 3 obtenemos:

$$q := 12.218 \cdot \frac{m^3}{m} *$$

Tabla 3  
 Datos de Capacidad, Para Recipientes Cilindricos.

Diámetro del Recipiente		Volumen del Recipiente Cilíndrico		Profundidad y Volumen de la Cabeza del Recipiente			
ft- in	In	Lado recto, gal/in	Lote cuadrado, gal	Cabeza cóncava estándar		Cabeza ASME, cóncava y bridada	
				Profund. d.(in)	Vol. gal	Profund. (in)	Vol. (gal)
3 ft	36	4.4	159	4.9	11	6.0	16
3 ft 6 in	42	5.99	252	5.7	18	7.2	25
4 ft	48	7.83	376	6.5	27	8.0	37
4 ft 6 in	54	9.91	535	7.3	38	9.0	53
5 ft	60	12.2	734	8.1	52	10	78
5 ft 6 in	66	14.8	977	8.9	70	11	104
6 ft	72	17.6	1269	9.7	90	12	135
6 ft 6 in	78	20.7	1631	11	114	14	170
7 ft	84	24.0	2041	11	142	15	212
7 ft 6 in	90	27.5	2478	12	174	15	261
8 ft	96	31.3	3007	13	212	16	314
8 ft 6 in	102	35.3	3607	14	254	18	375
9 ft	108	39.6	4287	15	301	19	446
9 ft 6 in	114	44.1	5035	15	353	20	524
10 ft	120	48.9	5873	16	414	21	612
10 ft 6 in	126	54	6799	17	480	22	705
11 ft	132	59	7817	18	560	23	806
11 ft 6 in	138	65	8932	20	665	24	926
12 ft	144	70	10148	20	735	25	995

- Calculamos la altura de llenado de acuerdo a la siguiente formula.

$$Z := \frac{V}{q} *$$

$$Z = 2.046 \text{ m}$$

- Entonces la relacion Capacidad de llenado es:

$$\frac{Z}{Dt} = 0.512$$

Seleccionamos de la Tabla 4, el número de impeler y la ubicación del impeler se encuentra en  $Z/3$ .

Tabla 4  
Ubicación y Número de Impeler.

Viscosidad, cP (Pa.s)	Nivel Máximo, Z/T	Número de Impulsores	Claro del impulsor	
			Inferior	Superior
<25,000 (<25)	1.4	1	Z/3	-
<25,000 (<25)	2.1	2	T/3	(2/3)Z
>25,000 (>25)	0.8	1	Z/3	-
>25,000 (>25)	1.6	2	T/3	(2/3)Z

Ubicación del impeler desde la base del digestor:  $\frac{Z}{3} = 0.682 \text{ m}$

El número de impeler:  $\text{Num}_{\text{impeler}} := 1$

### 9. Cálculo de Diametro de Eje del Agitador (d).

Para calcular el diametro definaremos lo siguiente:

- Material de eje SAE 1045 y cuyas propiedades mecanicas son:

$$E := 2109000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Módulo de elasticidad})$$

$$G := 808500 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Módulo de elasticidad por corte})$$

$$u := 0.33 \quad (\text{Coeficiente poisson})$$

$$S_y := 4148 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Esfuerzo de fluencia})$$

- Longitud del eje del agitador, cuya longitud es desde el cubo al acoplamiento.

$$L := 1.8 \cdot m$$

- Torque Máximo ( $T_0$ ).

$$T := \frac{P_{re}}{w \cdot g}$$

$$T = 3.319 \times 10^3 \text{ kg} \cdot m$$

Debido a las cargas intermitentes y al encontrarse en voladizo tenemos un factor de corrección.

$$k := 1.5 \quad T := k \cdot T$$

Obtenemos al reemplazar:

$$T = 4.979 \times 10^3 \text{ kg} \cdot m$$

Para determinar el diametro aplicaremos los siguientes criterios :

### 1. Angulo de Deformación Torsional.

De acuerdo a este criterio el ángulo torsional debe tener el siguiente valor de diseño:

$$\theta := 2.06 \frac{\text{rad}}{m} \cdot L \quad *$$

$$\theta = 3.708 \text{ rad} \quad \dots\dots(\text{ángulo de deformación.})$$

Para obtener el diametro definimos la siguiente ecuación:

$$d := \left( \frac{32 \cdot T \cdot L}{\pi \cdot G \cdot \theta} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$d = 41.774 \text{ mm}$$

### 2. Criterio de falla.

En este caso verificaremos si el diámetro calculado cumple con los siguientes criterios de falla mostrado en el Tabla 5. Para todos los casos analizados el único esfuerzo actuante en el eje es el cortante y el esfuerzo limitante es  $S_y$ , esto debido unicamente al torque a que esta sometido.

Definimos el esfuerzo cortante

$$\tau_c := \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d^3}$$

Y el esfuerzo limitante

$$S_y = 4.148 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Tabla 5

Criterio	Esfuerzo equivalente	Diametros
• Máximo esfuerzo Normal.	$\sigma_1 := \tau_c$	$d := \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">d = 84.872 mm</span>
• Máximo esfuerzo cortante.	$\sigma_2 := 2 \cdot \tau_c$	$d := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">d = 106.932 mm</span>
• Máximo deformación	$\sigma_3 := (1 + u) \cdot \tau_c$	$d := \sqrt[3]{\frac{16(1 + u) \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">d = 93.336 mm</span>
• Máximo energía de formación.	$\sigma_4 := \sqrt{2 \cdot (1 + u)} \cdot \tau_c$	$d := \sqrt[3]{\frac{16\sqrt{2 \cdot (1 + u)} \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">d = 99.903 mm</span>
• Máximo deformacion distorsion.	$\sigma_5 := \sqrt{3} \cdot \tau_c$	$d := \sqrt[3]{\frac{16\sqrt{3} \cdot T}{\pi \cdot S_y}}$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">d = 101.926 mm</span>

De acuerdo al cuadro mostrada se elige el mayor diametro de los cinco criterios

### 3.Criterio Velocidad Crítica.

En este caso calculamos la velocidad critica del agitador, debido a la masa del agitador, siendo la velocidad de operacion menor o mayor a la velocidad crítica.

Masa del agitador  $m := 50 \cdot \text{kg}$

El momento de inercia del eje se define  $I := \frac{\pi \cdot d^4}{4}$

Teniendo estos datos determinamos la velocidad crítica:

$$\omega_c := \sqrt{\frac{6 \cdot g \cdot E \cdot I}{L^3 \cdot m}}$$

Despejando el diametro obtenemos:

$$d := \sqrt[4]{\frac{2 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot L^3}{3 \cdot \pi \cdot g \cdot E}} \quad d = 3.602 \text{ mm}$$

### 10. Cuadro de Resumen .

Item	Descripción	Valores
1	<u>Materia Mezclada</u>	
	Densidad .....	$\rho = 1.5 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
	Viscosidad .....	$\mu = 2.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
2	<u>Dimensiones del Digestor</u>	
	Volumen .....	$V = 25 \text{ m}^3$
	Diametro .....	$D_t = 4 \text{ m}$
	Altura de llenado.....	$Z = 2.046 \text{ m}$
3	<u>Agitador</u>	
	Diametro paletas .....	$D = 1.585 \text{ m}$
	Ancho paletas .....	$W = 0.264 \text{ m}$
	Número de impeler.....	$\text{Num}_{\text{impeler}} = 1$
	Giro de Paletas.....	$w = 45.01 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$
	Ubicación.....	$\frac{Z}{3} = 0.682 \text{ m}$
	Diametro de eje.....	$d := 106.93 \text{ mm} \quad d = 4.21 \text{ in}$

	Longitud de eje.....	$L = 1.8\text{ m}$
4	<u>Fuerza Motriz</u>	
	Potencia de Motor.....	$P_{mo} = 28.73\text{ kW}$ , $P_{mo} = 38.527\text{ hp}$
5	<u>Principales Fuerzas</u>	
	Torque.....	$T = 4.979 \times 10^3\text{ kg m}$

## B-1

**TABLA A-1 PROPIEDADES TÍPICAS DE MATERIALES**

Para todos los aceros forjados:

*Módulo de elasticidad en tracción o compresión,  $E = 2\,199\,000$  kg/cm<sup>2</sup> (o bien  $30 \times 10^6$  psi).* (Para hierro dulce,  $E = 1\,968\,000$  kg/cm<sup>2</sup>, o bien  $28 \times 10^6$  psi.)

*Módulo de elasticidad en cizalladura o torsión,  $G = 808\,500$  kg/cm<sup>2</sup> (o bien  $11.5 \times 10^6$  psi).* (Para hierro dulce,  $G = 703\,000$  kg/cm<sup>2</sup>, o bien  $10 \times 10^6$  psi.)

*La resistencia de fluencia en torsión (cizalladura) está comprendida frecuentemente entre  $0.5s_u$  y  $0.6s_u$ . Se emplea  $0.6s_u$ .*

*Límite de fatiga de una probeta pulida, flexión invertida, aproximadamente  $s_u/2$ .*

*Límite de fatiga en torsión invertida, aproximadamente  $0.6s_u$ .*

*El coeficiente de Poisson es aproximadamente de 0.25 a 0.33. Se emplea 0.3 para el acero.*

*La densidad es aproximadamente 7.85 kg/dm<sup>3</sup> (o bien 0.284 lb/pulg<sup>3</sup>). (Para hierro dulce, 7.75 kg/dm<sup>3</sup>, o bien 0.28 lb/pulg<sup>3</sup>.)*

MATERIAL N.º AISI	ESTADO (c)	MÁXIMA RESISTENCIA				RESISTENCIA DE FLUENCIA EN TRACCIÓN		ALARGAMIENTO EN 5.08 cm (2 pulg)	REDUCCIÓN DE ÁREA	NDg (BHS)
		$s_u$		$s_y(d)$		$s_y$				
		kg/cm <sup>2</sup>	ksi	kg/cm <sup>2</sup>	ksi	kg/cm <sup>2</sup>	ksi			
hierro dulce cero forjado	Laminado simple	3 374(a)	48(a)	2 531	36	1 757(a)	25(a)	35		
1010(k)	Estirado en frío	4 710	67	3 515	50	3 867	55	25	57	137
1015(k)	Estirado en frío	5 413	77	4 077	58	4 429	63	25	63	170
1020	Laminado simple	4 569	65	3 445	49	3 374	48	36	59	143
1020	Normalizado	4 499	64	3 797*	54*	3 515	50	39	69	131
1020	Recoetdo	4 007	57	3 023	43	2 952	42	36.5	66	111
1020(k)	Estirado en frío	5 483	78	4 077	58	4 640	66	20	59	156
1022	Laminado simple	5 062	72	3 797	54	3 656	52	35	67	149
1030	Laminado simple	5 624	80	4 218	60	3 586	51	32	56	179
1035	Laminado simple	5 976	85	4 499	64	3 867	55	29	58	190
1045	Laminado simple	6 749	96	5 062	72	4 148	59	22	45	215
1095	Normalizado	9 913	141	7 381	105	5 624	80	8	16	285
31113(k)	Acabado en frío	5 835	83	4 359	62	5 062	72	14	40	170
31113	Laminado simple	4 921	70			3 163	45	25	40	138
31118	Laminado simple	5 273	75	3 937	56	3 234	46	32	70	149
31118(k)	Estirado en frío	5 624	80	4 218	60	5 273	75	16	57	180
3144	OQT 1000 (538° C)	8 296	118	6 187	88	5 835	83	19	46	235
340	OQT 1200 (649° C)	7 945	113	5 905	84	6 468	92	21	61	229
3B45	OQT 800 (427° C)	13 147	187	9 843	140	12 303	175	16	56	
3317(e)	OQT 1000 (538° C)	7 451	106	5 554	79	4 991	71	27	72	220
3340(e)	OQT 1000 (538° C)	9 632	137	7 241	103	8 437	120	22	60	285
3150	OQT 1000 (538° C)	10 616	151	7 945	113	9 140	130	16	54	300
3250(e)	QT 1000 (538° C)	11 670	166	8 577	122	10 264	146	16	52	340
3063	OQT 1000 (538° C)	12 655	180	9 491	135	11 249	160	14	43	375
3130	WQT 1100 (593° C)	8 929	127	6 679	95	8 015	114	18	62	260
3130(e)	Estirado en frío	8 577	122	6 398	91	7 381	105	16	45	242
3340(e)	Estirado en frío	8 577	122	6 398	91	7 381	105	15	45	240
34640(e)	OQT 1000 (538° C)	10 686	152	7 311	104	9 140	130	19	56	310
35140(e)	OQT 1000 (538° C)	10 546	150	7 945	113	8 999	128	19	55	310
35140(e)	Estirado en frío	7 381	105	5 554	79	6 187	88	18	52	210
3630	Estirado en frío 10	8 085	115	6 046	86	7 030	100	22	53	230
3640	OQT 1000 (538° C)	11 249	160	8 437	120	10 546	150	16	55	330
38760	OQT 800 (427° C)	15 468	220	11 600	165	14 068	200	12	43	420
39255	OQT 1000 (538° C)	12 655	180	9 491	135	11 249	160	15	32	350
39440	OQT 1000 (538° C)	10 686	152	7 311	104	9 491	135	18	61	310
39850	OQT 1100 (593° C)	12 655	180	9 491	135	11 108	158	15	48	300

## FERROSOS FORJADOS («DULCES»)

El coeficiente de dilatación térmica (lineal) es de 0,0000126 cm/cm-°C (o bien 0,000007 pulg/pulg-°F). (Para hierro dulce es de 0,0000117 cm/cm-°C, o bien 0,0000065 pulg/pulg-°F.) Varía apreciablemente con un cambio grande de temperatura. Véase § 2.22 para aplicaciones criogénicas.

Notas: Una B precediendo al número AISI indica Bessemer, como B1113; la C delante indica acero Siemens-Martin, como C1020. (a) Valores mínimos. (b) Recocido. (c) QT 1000 indica «templado y revenido a 1000° F» (o sea a 538° C), etc. Las expresiones OQT o bien WQT significan que el correspondiente tratamiento térmico se efectúa «en aceites» (oil), o bien «en agua» (water), respectivamente. (d) La *resistencia máxima en cizalladura* se ha tomado arbitrariamente igual a 0,75 de la «máxima resistencia a la tracción»; excepto los valores señalados con asterisco \* que son valores de ensayo. (e) Probeta de 25,40 mm (una pulgada). (f) Torsión. (g) Recocido en factoría. (h) Estirado en frío. (i) Véase § 2.2 para definición. (j) Muesca en V Charpy, 21,1° C (o bien 70° F). (k) Las propiedades dependen de la magnitud del trabajo en frío.

ROCK.	IZOD		MAQUIL- NABI- LIDAD (i)	ALGUNOS USOS TÍPICOS. OBSERVACIONES
	kgm	pie-lb		
B60			50(h)	ASIM A85-36, A41-36.
			50	Barras, tiras, chapa, placa. Perfiles estrados en frío.
	18,94(j)	137(j)	50	Barras, chapas.
B79	8,84	64	64	Acero estructural; placa, chapa, tira, alambre.
B74	9,95	72		Calidad de cementación.
B66	11,06	80		Aplicaciones generales.
B83			62	Piezas diversas de máquinas, forjadas en frío; barras.
B81	8,29	60	70(h)	Aplicaciones generales.
B88	7,60	55	60	Piezas de maquinaria.
B91	6,22	45	57	Piezas de máquinas. Pueden ser tratadas térmicamente.
B96	4,14	30	51	Ejes grandes.
C25	0,41	3	39	Herramientas, muelles. Usualmente, tratadas térmicamente.
B87			135	Mecanizado fácil; alto contenido de azufre.
B76				Mecanizado fácil; alto contenido de azufre.
B81	11,06	80	82	Mecanizado fácil; ordinariamente sin soldadura.
	15,20(j)	110(j)	85	Tabla AT 8 para C1117.
C22	4,97	36	65(b)	Mecanizado fácil. Alto contenido de azufre.
C31	13,13	95	45(g)	(1,75 % Mn). Acero al manganeso.
C42				1345 con boro para mejorar la templabilidad.
B97	11,75	85	55(h)	(3 1/2 % Ni). Engranajes, forros (camisas) de bomba, etc.
C30	6,91	50	31	(3 1/2 % Ni). Engranajes, etc.
C32	6,36	46		(1,25 % Ni, 0,8 % Cr). Engranajes, pernos, ejes, etc.
C36,5	4,14	30	55(b)	(1,85 % Ni, 1,05 % Cr). Engranajes, etc.
C40	8,15	59		(0,25 % Mo). Ejes, barras, etc.
C25	11,75	85	65(b)	0,95 % Cr, 0,20 % Mo). Ejes, piezas forjadas, pasadores, tubos para aviación.
			45(g)	(1,85 % Ni, 0,8 % Cr, 0,25 % Mo). Aplicaciones generales.
C33	5,66	41	55(b)	(1,85 % Ni, 0,25 % Mo).
C32			60(b)	(0,80 % Cr). Engranajes, ejes, pasadores, etc.
			60(g)	(0,55 % Ni, 0,5 % Cr, 0,2 % Mo).
C35	4,97	36	60(b)	(0,55 % Ni, 0,50 % Cr, 0,20 % Mo).
C46	2,62	19	50(b)	(0,55 % Ni, 0,50 % Cr, 0,25 % Mo). Herramientas, engranajes, pernos.
C36	0,96	7	45(b)	(2,00 % Si, 0,82 % Mn). Muelles, cinceles, herramientas.
C33	10,09	73	60(b)	(0,45 % Ni, 0,4 % Cr, 0,11 % Mo).
C37	6,91	50	50(b)	(1 % Ni, 0,8 % Mn, 0,8 % Cr, 0,25 % Mo). Servicio pesado; aplicaciones generales.

## C-1

### DIMENSIONES DE CHAVETAS

Las tolerancias de  $t$  pueden ser numéricamente las mismas indicadas, negativas en chavetas planas y positivas en chavetas de cuña.

DIAMETRO DEL EJE (inclusive)		$B$		$t$		TOLERANCIA EN $b$	
Pulg	mm	Pulg	Mm	Pulg	mm	Pulg	mm
½-9/16	12.7-14.3	1/8	3.2	3/32	2.4	-0.0020	-0.0508
5/8-7/8	15.9-22.2	3/16	4.8	1/8	3.2	-0.0020	-0.0508
15/16-1 1/4	23.8-31.7	1/4	6.4	1/16	4.8	-0.0020	-0.0508
1 5/16-1 3/8	33.3-34.9	5/16	7.9	1/4	6.4	-0.0020	-0.0508
1 7/16-1 3/4	36.5-44.4	3/8	9.5	1/4	6.4	-0.0020	-0.0508
1 13/16-2 1/4	46.0-57.1	1/2	12.7	3/8	9.5	-0.0025	-0.0635
2 5/16-2 3/4	58.7-69.8	5/8	15.9	7/16	11.1	-0.0025	-0.0635
2 7/8-3 1/4	73.0-82.5	3/4	19.1	1/2	12.7	-0.0025	-0.0635
3 3/8-3 3/4	85.7-95.2	7/8	22.2	5/8	15.9	-0.0030	-0.0762
3 7/8-4 1/2	98.4-114.3	1	25.4	3/4	19.1	-0.0030	-0.0762
4 ¾-5 1/2	120.7-139.7	1 1/4	31.7	7/8	22.2	-0.0030	-0.0762
5 ¾-6	146.1-152.4	1 1/2	38.1	1	25.4	-0.0030	-0.0762



## 4. SELECCIÓN DE LOS REDUCTORES

Para elegir el tipo de reductor adecuado para el tipo de aplicación es necesario conocer el par  $T_{2a}$  (daNm) y la velocidad en salida  $n_2$  ( $\text{min}^{-1}$ ), donde esta última, según la velocidad en entrada  $n_1$  ( $\text{min}^{-1}$ ) determinará su relación de transmisión  $i$  con la relación siguiente:

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

De otra manera, si se conoce la potencia instalada  $P'$  (kW) y las revoluciones en entrada  $n_1$  ( $\text{min}^{-1}$ ), se determina el par  $T_{2a}$  (daNm) utilizando la siguiente relación:

$$T_{2a} = \frac{955 \times P'}{n_1}$$

En cual, por sencillez, no consideramos el rendimiento del reductor.

Señaladamente es preciso definir el factor de aplicación  $f_s$  que se determina, indicativamente, según los parámetros siguientes:

- Máquina operadora (Consultar la **tab. 10** referente a la clasificación de las aplicaciones).
- Utilización diaria
- Frecuencia de arranque

Identifica un coeficiente multiplicador del par aplicado  $T_{2a}$ . ver **tab. 9** presentada a continuación.

El par requerido efectivo en salida  $T_{2\text{eff}}$  se vuelve:

$$T_{2\text{eff}} = T_{2a} \times f_s$$

**Tab 9**

		U	Uniforme		
			Horas de funcionamiento al día		
			Menos de 1	de 1 a 8	de 8 a 24
Nº arranque/hora	Menos de 6	0,7	0,9	1,1	
	De 6 a 60	0,9	1,2	1,4	
	Más de 60	1,2	1,5	1,7	
		M	Moderado		
			Horas de funcionamiento al día		
			Menos de 1	de 1 a 8	de 8 a 24
Nº arranque/hora	Menos de 6	0,9	1,1	1,3	
	De 6 a 60	1,1	1,4	1,6	
	Más de 60	1,4	1,7	2	
		H	Pesado		
			Horas de funcionamiento al día		
			Menos de 1	de 1 a 8	de 8 a 24
Nº arranque/hora	Menos de 6	1	1,3	1,7	
	De 6 a 60	1,4	1,7	2	
	Más de 60	1,7	2,1	2,5	

## CLASIFICACIÓN APLICACIONES

Compresores, ventiladores		Maquinarias para industria alimentaria		Industria petrolera	
Compresores axiales y radiales	U	Máquinas para llenar botellas y contenedores	U	Bombas conductoras	M
Compresores en torre de refrigeración	M	Machacadoras de caña	M	Equipo perforador giratorio	H
Compresores de tiro inducido	M	Cuchillos para caña	H	<b>Máquinas para papel</b>	
Compresores de émbolos giratorios	M	Muela para caña	H	Calandrias	H
Compresores turbo	U	Amasadora	H	Manguito	H
<b>Industria química</b>		Cubas para rendido (cristalizantes)	H	Tambor secador	H
Compresores (materiales líquidos)	U	Máquinas para embalaje	U	Cilindro secador	H
Compresores (materiales semilíquidos)	M	Cortadoras para remolachas	M	Refinadora	H
Compresores (pesadas)	M	Máquinas para lavar remolachas	M	Desfibradora para pasta	H
Compresores (ligeras)	U			Rodillos aspiradores	H
Compresores de refrigeración	M			Prensas aspiradoras	H
Compresores de secado	M			Prensas en húmedo	H
Compresores	M			Batanes	H
		<b>Máquinas para construcciones</b>			
<b>Compresores</b>		Hormigoneras	M	<b>Máquinas para plástico</b>	
Compresores de émbolo	H	Montacargas	M	Calandrias	M
Compresores turbo	M	Máquinas para construir carreteras	M	Lagares	M
				Extrudidoras	M
<b>Transportadores</b>		<b>Generadores y transformadores</b>		Mezcladoras	M
Transportadora de placas	M	Transformadores de frecuencia	H	<b>Bombas</b>	
Transportadora de asfalto	M	Generadores	H	Bomba centrífuga (líquidos ligeros)	U
Transportadoras de cinta de saco	M	Generadores para equipos de soldar	H	Bomba centrífuga (líquidos viscosos)	H
Transportadoras de cinta (materias primarias)	M	<b>Lavanderías</b>		Bombas de émbolos	H
Transportadoras (mercancía en trozos)	H	Inversores	M	Bombas de pulsión	H
Transportadoras de cangilones para harinas	U	Lavadoras	M	Bombas de presión	H
Transportadoras de cadena	M	Planchadoras	M	<b>Máquinas para caucho</b>	
Transportadoras	M	<b>Laminadores para metales</b>		Calandrias	M
Transportadoras	H	Cizallas para laminadores	H	Extrudidoras	H
Transportadoras inclinadas	H	Transmisiones por cadena	M	Mezcladoras	M
Transportadoras de cinta en acero	M	Laminadores en frío	H	Amasadoras	H
Transportadoras para personas	M	Plantas para fundición continua	H	Laminadoras	H
Transportadoras de cóclea	M	Bancadas refrigeradoras	M	<b>Máquinas para labrar piedras y tratar arcillas</b>	
Transportadoras de cinta cóncavo	M	Cizallas para despunte	H	Molino de martillos	H
Transportadoras de cabrestante	M	Laminadores para piezas planas medias y pesadas	H	Laminador para refinar	H
		Trenes desbastadores y lingotes	H	Interruptor	H
<b>Grúas</b>		Manipuladores	H	Prensas para ladrillos	H
Grúa del brazo	M	Cizalla para planchas	H	Horno giratorio	H
Grúa de montacargas	U	Rectificador de rodillos	M	Laminadores de tubo	H
Grúa giratorio	M	Tablas de rodillos (pesadas)	H	<b>Máquinas textiles</b>	
Grúa de traslación	H	Tablas de rodillos (ligeras)	H	Dosificadores	M
		Máquinas para soldar tubos	M	Telares	M
<b>Dragas</b>		Máquinas bobinadoras (juntas hilos)	M	Máquinas para estampar y teñir	M
Dragas de cangilones	H	Bancos de dibujo de hilo	M	Cubas para curtir	M
Dragas portaherramientas	H	<b>Máquinas para trabajar metales</b>		Batanes	M
Dragas para maniobras	M	Contrájes, ejes en línea	U	<b>Tratamiento con agua</b>	
Dragas	M	Prensa para embutir en caliente	H	Ventiladores	M
Dragas giratorio	M	Martillos	H	Bomba de caracol	M
Dragas de traslación	H	Guías auxiliares, máquinas herramientas	U	<b>Máquinas para labrar la madera</b>	
Dragas (en orugas)	H	Guías principales, máquinas herramientas	M	Descortezadoras	H
Dragas de traslación (raíles)	M	Máquinas para acepillar metales	H	Máquinas de acepillar	M
		Enderezadora para plancha	H	Bastidor para sierras	H
		Prensas	H	Máquinas para labrar la madera	U
		Prensas para moldes	H		
		Cizallas	M		
		Máquinas para plegadoras de metales	M		

8 - Programa de fabricación (motorreductores)  
8 - Programa de fabrico (motorreductores)



$P_1$ kW	$n_2$ min <sup>-1</sup>	$M_2$ daNm	$f_s$	Reductor - Motor Reductor - Motor	$i$	
1)				2)		
<b>15</b>	53,2	258	2,36	MR 3I 160 - 160 L	4	26,3
	53,6	257	0,85	MR 3I 125 - 160 L	4	26,1
	53,6	257	1,12	MR 3I 126 - 160 L	4	26,1
	56,6	248	2,24	MR 2I 160 - 180 L	6	15,9
	58,8	234	1,8	MR 3I 140 - 160 L	4	23,8
	59,3	232	0,95	MR 3I 125 - 160 L	4	23,6
	59,3	232	1,25	MR 3I 126 - 160 L	4	23,6
	59,3	232	2,65	MR 3I 160 - 160 L	4	23,6
	65,2	211	1,06	MR 3I 125 - 160 L	4	21,5
	65,2	211	1,4	MR 3I 126 - 160 L	4	21,5
	68,6	201	2	MR 3I 140 - 160 L	4	20,4
	69,1	203	0,9	MR 2I 125 - 160 L	4	20,3
	70,4	199	0,95	MR 2I 125 - 180 L	6	12,8
	70,4	199	1,18	MR 2I 126 - 180 L	6	12,8
	70,4	199	1,7	MR 2I 140 - 180 L	6	12,8
	73,9	190	2,5	MR 2I 160 - 160 L	4	19
	75,9	181	2	MR 3I 140 - 160 L	4	18,4
	76,2	180	1,25	MR 3I 125 - 180 L	4	18,4
	76,2	180	1,7	MR 3I 126 - 180 L	4	18,4
	78,3	179	2	MR 2I 140 - 180 L	6	11,5
	79,1	178	1,18	MR 2I 125 - 180 L	6	11,4
	79,1	178	1,5	MR 2I 126 - 180 L	6	11,4
	80,8	174	3	MR 2I 160 - 160 L	4	17,3
	84,7	162	1,4	MR 3I 125 - 160 L	4	16,5
	84,7	162	1,8	MR 3I 126 - 160 L	4	16,5
	88,2	159	1,18	MR 2I 125 - 160 L	4	15,9
	88,2	159	1,5	MR 2I 126 - 160 L	4	15,9
	88,2	159	2,12	MR 2I 140 - 160 L	4	15,9
	98	143	2,5	MR 2I 140 - 160 L	4	14,3
	99	142	1,4	MR 2I 125 - 160 L	4	14,1
	99	142	1,8	MR 2I 126 - 160 L	4	14,1
	110	127	1,6	MR 2I 125 - 160 L	4	12,7
	110	127	2,12	MR 2I 126 - 160 L	4	12,7
	114	123	0,75	MR 2I 100 - 160 L	4	12,3
	114	123	0,95	MR 2I 101 - 160 L	4	12,3
	123	114	1,8	MR 2I 125 - 160 L	4	11,4
	123	114	2,24	MR 2I 126 - 160 L	4	11,4
	126	111	0,9	MR 2I 100 - 160 L	4	11,1
	126	111	1,12	MR 2I 101 - 160 L	4	11,1
	137	103	2	MR 2I 125 - 160 L	4	10,2
	137	103	2,65	MR 2I 126 - 160 L	4	10,2
	140	101	1	MR 2I 100 - 160 L	4	10
	140	101	1,32	MR 2I 101 - 160 L	4	10
	162	93	2,24	MR 2I 125 - 160 L	4	9,24
	162	87	1,12	MR 2I 100 - 160 L	4	8,67
	162	87	1,4	MR 2I 101 - 160 L	4	8,67
	167	84	2,5	MR 2I 125 - 160 L	4	8,4
	178	79	1,32	MR 2I 100 - 160 L	4	7,85
178	79	1,7	MR 2I 101 - 160 L	4	7,85	
195	72	2,8	MR 2I 125 - 160 L	4	7,19	
196	72	1,4	MR 2I 100 - 160 L	4	7,14	
196	72	1,9	MR 2I 101 - 160 L	4	7,14	
214	66	1,6	MR 2I 100 - 160 L	4	6,53	
214	66	2	MR 2I 101 - 160 L	4	6,53	
217	65	3,15	MR 2I 125 - 160 L	4	6,46	
248	57	1,8	MR 2I 100 - 160 L	4	5,65	
248	57	2,36	MR 2I 101 - 160 L	4	5,65	
274	51	2	MR 2I 100 - 160 L	4	5,11	
274	51	2,65	MR 2I 101 - 160 L	4	5,11	
342	41,1	2,24	MR 2I 100 - 160 L	4	4,1	
<b>18,5</b>	20,7	821	0,9	MR 3I 180 - 180 M	4	67,8
	20,8	817	0,75	MR 3I 160 - 180 M	4	67,4
	23,5	722	1,12	MR 3I 180 - 180 M	4	59,6
	24,3	697	0,85	MR 3I 160 - 180 M	4	57,5
	26,4	643	1,32	MR 3I 180 - 180 M	4	53,1
	26,5	640	0,95	MR 3I 160 - 180 M	4	52,8
	30,3	560	1,12	MR 3I 160 - 180 M	4	46,2
	30,4	557	1,5	MR 3I 180 - 180 M	4	46

$P_1$ kW	$n_2$ min <sup>-1</sup>	$M_2$ daNm	$f_s$	Reductor - Motor Reductor - Motor	$i$	
1)				2)		
<b>18,5</b>	32,3	525	0,75	MR 3I 140 - 180 M	4	43,4
	33	514	1,7	MR 3I 180 - 180 M	4	42,5
	35	485	1,25	MR 3I 160 - 180 M	4	40
	35,6	476	0,9	MR 3I 140 - 180 M	4	39,3
	35,7	475	1,7	MR 3I 180 - 180 M	4	39,2
	39,9	425	0,95	MR 3I 140 - 180 M	4	35,1
	40,1	423	2	MR 3I 180 - 180 M	4	34,9
	40,3	420	1,4	MR 3I 160 - 180 M	4	34,7
	43,8	388	1,06	MR 3I 140 - 180 M	4	32
	44,2	384	0,8	MR 3I 126 - 180 M	4	31,7
	46,1	368	1,7	MR 3I 160 - 180 M	4	30,4
	46,3	366	2,36	MR 3I 180 - 180 M	4	30,2
	47,6	356	1,12	MR 3I 140 - 180 M	4	29,4
	48,1	353	0,75	MR 3I 126 - 180 M	4	29,1
	51,3	331	2,65	MR 3I 180 - 180 M	4	27,3
	52,6	323	1,25	MR 3I 140 - 180 M	4	26,6
	53,2	319	1,9	MR 3I 160 - 180 M	4	26,3
	53,6	317	0,9	MR 3I 126 - 180 M	4	26,1
	58,8	288	1,5	MR 3I 140 - 180 M	4	23,8
	59,3	286	0,75	MR 3I 125 - 180 M	4	23,6
	59,3	286	1	MR 3I 126 - 180 M	4	23,6
	59,3	286	2,12	MR 3I 160 - 180 M	4	23,6
	65,2	260	0,85	MR 3I 125 - 180 M	4	21,5
	65,2	260	1,12	MR 3I 126 - 180 M	4	21,5
	68,2	249	2,36	MR 3I 160 - 180 M	4	20,5
	68,6	247	1,7	MR 3I 140 - 180 M	4	20,4
	73,9	234	2	MR 2I 160 - 180 M	4	19
	75,9	223	1,7	MR 3I 140 - 180 M	4	18,4
	76,2	223	1	MR 3I 125 - 180 M	4	18,4
	76,2	223	1,32	MR 3I 126 - 180 M	4	18,4
	80,8	214	2,36	MR 2I 160 - 180 M	4	17,3
	84,7	200	1,12	MR 3I 125 - 180 M	4	16,5
	84,7	200	1,5	MR 3I 126 - 180 M	4	16,5
	85,8	202	0,9	MR 2I 125 - 180 M	4	16,3
	88	197	2,8	MR 2I 180 - 180 M	4	15,9
	101	172	3,35	MR 2I 160 - 180 M	4	13,9
	110	158	1,18	MR 2I 125 - 180 M	4	12,8
	110	158	1,5	MR 2I 126 - 180 M	4	12,8
	110	158	2	MR 2I 140 - 180 M	4	12,8
	116	149	3,75	MR 2I 160 - 180 M	4	12,1
	122	142	2,5	MR 2I 140 - 180 M	4	11,5
	123	141	1,4	MR 2I 125 - 180 M	4	11,4
	123	141	1,8	MR 2I 126 - 180 M	4	11,4
	137	126	1,6	MR 2I 125 - 180 M	4	10,2
	137	126	2,12	MR 2I 126 - 180 M	4	10,2
	145	119	0,75	MR 2I 100 - 180 M	4	9,64
	145	119	0,95	MR 2I 101 - 180 M	4	9,64
	152	114	1,8	MR 2I 125 - 180 M	4	9,24
	152	114	2,36	MR 2I 126 - 180 M	4	9,24
	162	107	0,9	MR 2I 100 - 180 M	4	8,67
	162	107	1,12	MR 2I 101 - 180 M	4	8,67
	167	104	2	MR 2I 125 - 180 M	4	8,4
167	104	2,65	MR 2I 126 - 180 M	4	8,4	
178	97	1,06	MR 2I 100 - 180 M	4	7,85	
178	97	1,32	MR 2I 101 - 180 M	4	7,85	
195	89	2,36	MR 2I 125 - 180 M	4	7,19	
196	88	1,12	MR 2I 100 - 180 M	4	7,14	
196	88	1,5	MR 2I 101 - 180 M	4	7,14	
214	81	1,25	MR 2I 100 - 180 M	4	6,53	
214	81	1,7	MR 2I 101 - 180 M	4	6,53	
217	80	2,65	MR 2I 125 - 180 M	4	6,46	
248	70	1,5	MR 2I 100 - 180 M	4	5,65	
248	70	1,9	MR 2I 101 - 180 M	4	5,65	
274	63	1,6	MR 2I 100 - 180 M	4	5,11	
274	63	2,12	MR 2I 101 - 180 M	4	5,11	
342	51	1,8	MR 2I 100 - 180 M	4	4,1	
342	51	2,24	MR 2I 101 - 180 M	4	4,1	

1) Potencias para servicio continuo S1; para servicios S2... S10 es posible aumentarlas (cap. 2b); proporcionalmente  $M_2$  aumenta y  $f_s$  disminuye.  
2) Para la designación completa para el pedido, ver el cap. 3.

1) Potências para serviço contínuo S1; para serviços S2... S10 é possível aumentá-las (ver o cap. 2b); proporcionalmente  $M_2$  aumenta e  $f_s$  diminui.  
2) Relativamente à designação completa para o pedido, ver o cap. 3.

8 - Programa de fabricación (motorreductores)  
8 - Programa de fabrico (motorreductores)



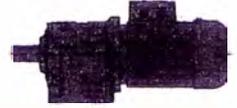
$P_1$ kW	$n_2$ min <sup>-1</sup>	$M_2$ daN m	$f_s$	Reductor - Motor Redutor - Motor	$i$
1)				2)	
22	19,3	1046	0,85	MR 3I 180 - 200 L	6 46,7
	20,7	976	0,75	MR 3I 180 - 180 L	4 67,8
	21,7	931	0,95	MR 3I 180 - 200 L	6 41,5
	23,5	859	0,95	MR 3I 180 - 180 L	4 59,6
	26,4	765	1,12	MR 3I 180 - 180 L	4 53,1
	26,5	761	0,85	MR 3I 160 - 180 L	4 52,8
	30,3	666	0,95	MR 3I 160 - 180 L	4 46,2
	30,4	663	1,25	MR 3I 180 - 180 L	4 46
	33	612	1,4	MR 3I 180 - 180 L	4 42,5
	35	577	1,06	MR 3I 160 - 180 L	4 40
	35,6	566	0,75	MR 3I 140 - 180 L	4 39,3
	35,7	565	1,4	MR 3I 180 - 180 L	4 39,2
	38	530	1,7	MR 3I 180 - 200 L	6 23,7
	39,9	506	0,8	MR 3I 140 - 180 L	4 35,1
	40,1	502	1,7	MR 3I 180 - 180 L	4 34,9
	40,3	500	1,18	MR 3I 160 - 180 L	4 34,7
	42,1	479	1,8	MR 3I 180 - 200 L	6 21,4
	43,8	461	0,9	MR 3I 140 - 180 L	4 32
	46,1	437	1,4	MR 3I 160 - 180 L	4 30,4
	46,3	435	2	MR 3I 180 - 180 L	4 30,2
	47,6	424	0,95	MR 3I 140 - 180 L	4 29,4
	51,3	393	2,24	MR 3I 180 - 180 L	4 27,3
	52,6	384	1,06	MR 3I 140 - 180 L	4 26,6
	53,2	379	1,6	MR 3I 160 - 180 L	4 26,3
	55,9	368	1,9	MR 2I 180 - 200 L	6 16,1
	57,6	357	1,4	MR 2I 160 - 200 L	6 15,6
	58,8	343	1,25	MR 3I 140 - 180 L	4 23,8
	58,8	343	2,24	MR 3I 180 - 180 L	4 23,8
	59,3	340	0,85	MR 3I 126 - 180 L	4 23,6
	59,3	340	1,8	MR 3I 160 - 180 L	4 23,6
	60,8	339	2,24	MR 2I 180 - 200 L	6 14,8
	63	327	1,6	MR 2I 160 - 200 L	6 14,3
	65,2	309	0,95	MR 3I 126 - 180 L	4 21,5
	68,2	296	2	MR 3I 160 - 180 L	4 20,5
	68,6	294	1,4	MR 3I 140 - 180 L	4 20,4
	70,4	292	0,8	MR 2I 126 - 200 L	6 12,8
	70,4	292	1,12	MR 2I 140 - 200 L	6 12,8
	71,7	287	2,36	MR 2I 180 - 180 L	4 19,5
	73,9	279	1,7	MR 2I 160 - 180 L	4 19
	75,9	266	1,4	MR 3I 140 - 180 L	4 18,4
	76,2	265	0,85	MR 3I 125 - 180 L	4 18,4
	76,2	265	1,12	MR 3I 126 - 180 L	4 18,4
	77,9	264	2,8	MR 2I 180 - 180 L	4 18
	78,3	263	1,4	MR 2I 140 - 200 L	6 11,5
	79,1	260	1	MR 2I 126 - 200 L	6 11,4
	80,8	255	2	MR 2I 160 - 180 L	4 17,3
	84,7	238	0,95	MR 3I 125 - 180 L	4 16,5
	84,7	238	1,25	MR 3I 126 - 180 L	4 16,5
	86,4	238	1,7	MR 2I 140 - 200 L	6 10,4
	87,5	235	3,35	MR 2I 180 - 180 L	4 16
88	234	2,36	MR 2I 180 - 180 L	4 15,9	
88	234	0,9	MR 2I 125 - 200 L	6 10,2	
88	234	1,18	MR 2I 126 - 200 L	6 10,2	
100	206	1,8	MR 2I 140 - 200 L	6 9	
101	205	2,8	MR 2I 160 - 180 L	4 13,9	
101	204	1	MR 2I 125 - 200 L	6 8,91	
101	204	1,25	MR 2I 126 - 200 L	6 8,91	
110	188	1	MR 2I 125 - 180 L	4 12,8	
110	188	1,25	MR 2I 126 - 180 L	4 12,8	
110	188	1,7	MR 2I 140 - 180 L	4 12,8	
116	177	3,15	MR 2I 160 - 180 L	4 12,1	
122	169	2,12	MR 2I 140 - 180 L	4 11,5	
123	167	1,18	MR 2I 125 - 180 L	4 11,4	
123	167	1,5	MR 2I 126 - 180 L	4 11,4	
134	153	2,5	MR 2I 140 - 180 L	4 10,4	
137	150	1,4	MR 2I 125 - 180 L	4 10,2	
137	150	1,8	MR 2I 126 - 180 L	4 10,2	
150	137	2,8	MR 2I 140 - 180 L	4 9,31	
152	136	1,5	MR 2I 125 - 180 L	4 9,24	

$P_1$ kW	$n_2$ min <sup>-1</sup>	$M_2$ daN m	$f_s$	Reductor - Motor Redutor - Motor	$i$	
1)				2)		
22	152	136	2	MR 2I 126 - 180 L	4 9,24	
	167	123	1,7	MR 2I 125 - 180 L	4 8,4	
	167	123	2,24	MR 2I 126 - 180 L	4 8,4	
	195	106	1,9	MR 2I 125 - 180 L	4 7,19	
	195	106	2,65	MR 2I 126 - 180 L	4 7,19	
	217	95	2,12	MR 2I 125 - 180 L	4 6,46	
	274	75	2,5	MR 2I 125 - 180 L	4 5,11	
	30	30	917	0,85	MR 3I 180 - 200 L	4 46,7
		33,7	816	1,06	MR 3I 180 - 200 L	4 41,5
		38,7	710	0,85	MR 3I 160 - 200 L	4 36,2
38,9		707	1,12	MR 3I 180 - 200 L	4 36	
42,1		653	1,25	MR 3I 180 - 200 L	4 33,2	
44,7		616	1	MR 3I 160 - 200 L	4 31,3	
45,7		602	1,25	MR 3I 180 - 200 L	4 30,7	
51,3		536	1,5	MR 3I 180 - 200 L	4 27,3	
51,5		534	1,06	MR 3I 160 - 200 L	4 27,2	
52,6		523	0,8	MR 3I 140 - 200 L *	4 26,6	
58,8		468	0,9	MR 3I 140 - 200 L *	4 23,8	
58,9		467	1,25	MR 3I 160 - 200 L	4 23,8	
59,2		465	1,8	MR 3I 180 - 200 L	4 23,7	
65,6		420	2	MR 3I 180 - 200 L	4 21,4	
68		405	1,5	MR 3I 160 - 200 L	4 20,6	
68,6		401	1	MR 3I 140 - 200 L *	4 20,4	
75,2		366	2	MR 3I 180 - 200 L	4 18,6	
75,7		363	1,6	MR 3I 160 - 200 L	4 18,5	
75,9		362	1	MR 3I 140 - 200 L *	4 18,4	
87		323	2	MR 2I 180 - 200 L	4 16,1	
87,2		316	1,9	MR 3I 160 - 200 L	4 16,1	
89,6		313	1,5	MR 2I 160 - 200 L	4 15,6	
94,5		297	2,5	MR 2I 180 - 200 L	4 14,8	
98		286	1,8	MR 2I 160 - 200 L	4 14,3	
106		264	3	MR 2I 180 - 200 L	4 13,2	
107		263	2	MR 2I 160 - 200 L	4 13,1	
110		256	0,9	MR 2I 126 - 200 L	4 12,8	
110		256	1,25	MR 2I 140 - 200 L	4 12,8	
122		231	1,6	MR 2I 140 - 200 L	4 11,5	
122		230	2,36	MR 2I 160 - 200 L	4 11,5	
123		228	0,9	MR 2I 125 - 200 L	4 11,4	
123		228	1,12	MR 2I 126 - 200 L	4 11,4	
134		209	1,8	MR 2I 140 - 200 L	4 10,4	
137		205	1	MR 2I 125 - 200 L	4 10,2	
137		205	1,32	MR 2I 126 - 200 L	4 10,2	
141		199	2,8	MR 2I 160 - 200 L	4 9,94	
156		180	1,9	MR 2I 140 - 200 L	4 9	
157		179	1,12	MR 2I 125 - 200 L	4 8,91	
157		179	1,4	MR 2I 126 - 200 L	4 8,91	
172		164	2,24	MR 2I 140 - 200 L	4 8,15	
175	160	1,25	MR 2I 125 - 200 L	4 8		
175	160	1,6	MR 2I 126 - 200 L	4 8		
192	146	2,65	MR 2I 140 - 200 L	4 7,29		
194	145	1,4	MR 2I 125 - 200 L	4 7,23		
194	145	1,8	MR 2I 126 - 200 L	4 7,23		
213	132	1,6	MR 2I 125 - 200 L	4 6,57		
213	132	2	MR 2I 126 - 200 L	4 6,57		
224	125	2,8	MR 2I 140 - 200 L	4 6,25		
249	113	1,8	MR 2I 125 - 200 L	4 5,63		
249	113	2,36	MR 2I 126 - 200 L	4 5,63		
277	101	2	MR 2I 125 - 200 L	4 5,06		
277	101	2,65	MR 2I 126 - 200 L	4 5,06		
350	80	2,24	MR 2I 125 - 200 L	4 4		
37	33,7	1006	0,85	MR 3I 180 - 225 S	4 41,5	
	38,9	872	0,9	MR 3I 180 - 225 S	4 36	
	42,1	805	1,06	MR 3I 180 - 225 S	4 33,2	
	44,7	759	0,8	MR 3I 160 - 225 S	4 31,3	
	45,7	743	1,06	MR 3I 180 - 225 S	4 30,7	

- 1) Potências para serviço contínuo S1; para serviços S2 ... S10 é possível aumentá-las (ver o cap. 2b); proporcionalmente  $M_2$  aumenta y  $f_s$  diminuye.  
2) Para la designación completa para el pedido, ver el cap. 3.  
\* Forma constructiva BSR (ver cuadro cap. 2b).  
\* Para temperatura ambiente > 30 °C consultarnos para la verificación de la potencia térmica.

- 1) Potências para serviço contínuo S1; para serviços S2 ... S10 é possível aumentá-las (ver o cap. 2b); proporcionalmente  $M_2$  aumenta e  $f_s$  diminui.  
2) Relativamente à designação completa para o pedido, ver o cap. 3.  
\* Forma construtiva BSR (ver a tabela do cap. 2b).  
\* Para temperatura ambiente > 30 °C entrar em contacto connosco para a verificação da potência térmica.

8 - Programa de fabricación (motorreductores)  
8 - Programa de fabrico (motorreductores)



$P_1$ kW	$n_2$ min <sup>-1</sup>	$M_2$ daN m	$f_s$	Reductor - Motor Redutor - Motor	$i$	
1)				2)		
<b>37</b>	<b>51,3</b>	661	1,25	<b>MR 3I 180 - 225 S</b>	4 27,3	
	<b>51,5</b>	658	0,9	<b>MR 3I 160 - 225 S</b>	4 27,2	
	<b>58,9</b>	576	1	<b>MR 3I 160 - 225 S</b>	4 23,8	
	<b>59,2</b>	573	1,5	<b>MR 3I 180 - 225 S</b>	4 23,7	
	<b>65,6</b>	517	1,6	<b>MR 3I 180 - 225 S</b>	4 21,4	
	<b>68</b>	499	1,18	<b>MR 3I 160 - 225 S</b>	4 20,6	
	<b>75,2</b>	451	1,7	<b>MR 3I 180 - 225 S</b>	4 18,6	
	<b>75,7</b>	448	1,32	<b>MR 3I 160 - 225 S</b>	4 18,5	
	<b>87,2</b>	389	1,5	<b>MR 3I 160 - 225 S</b>	4 16,1	
	<b>106</b>	325	2	<b>MR 2I 180 - 225 S</b>	4 13,1	
	<b>110</b>	316	1,5	<b>MR 2I 160 - 225 S</b>	4 12,8	
	<b>116</b>	299	2,36	<b>MR 2I 180 - 225 S</b>	4 12,1	
	<b>120</b>	289	1,8	<b>MR 2I 160 - 225 S</b>	4 11,7	
	<b>130</b>	266	2,8	<b>MR 2I 180 - 225 S</b>	4 10,8	
	<b>131</b>	265	2	<b>MR 2I 160 - 225 S</b>	4 10,7	
	*	<b>140</b>	247	1,25	<b>MR 2I 140 - 225 S</b>	4 10
	*	<b>149</b>	232	2,36	<b>MR 2I 160 - 225 S</b>	4 9,37
	*	<b>150</b>	231	3	<b>MR 2I 180 - 225 S</b>	4 9,33
	*	<b>156</b>	223	1,6	<b>MR 2I 140 - 225 S</b>	4 9
	*	<b>172</b>	202	1,8	<b>MR 2I 140 - 225 S</b>	4 8,15
*	<b>172</b>	201	2,8	<b>MR 2I 160 - 225 S</b>	4 8,12	
*	<b>192</b>	180	2,12	<b>MR 2I 140 - 225 S</b>	4 7,29	
*	<b>224</b>	155	2,24	<b>MR 2I 140 - 225 S</b>	4 6,25	
*	<b>248</b>	140	2,24	<b>MR 2I 140 - 225 S</b>	4 5,65	
<b>45</b>	*	<b>42,1</b>	979	0,9	<b>MR 3I 180 - 225 M</b>	4 33,2
	*	<b>45,7</b>	904	0,85	<b>MR 3I 180 - 225 M</b>	4 30,7
	*	<b>51,3</b>	804	1	<b>MR 3I 180 - 225 M</b>	4 27,3
	*	<b>58,9</b>	700	0,85	<b>MR 3I 160 - 225 M</b>	4 23,8
	*	<b>59,2</b>	697	1,18	<b>MR 3I 180 - 225 M</b>	4 23,7
	*	<b>65,6</b>	629	1,32	<b>MR 3I 180 - 225 M</b>	4 21,4
	*	<b>68</b>	607	0,95	<b>MR 3I 160 - 225 M</b>	4 20,6
	*	<b>75,2</b>	549	1,32	<b>MR 3I 180 - 225 M</b>	4 18,6
	*	<b>75,7</b>	545	1,06	<b>MR 3I 160 - 225 M</b>	4 18,5
	*	<b>87,2</b>	473	1,25	<b>MR 3I 160 - 225 M</b>	4 16,1
	*	<b>106</b>	396	1,7	<b>MR 2I 180 - 225 M</b>	4 13,1
	*	<b>110</b>	384	1,18	<b>MR 2I 160 - 225 M</b>	4 12,8
	*	<b>116</b>	364	2	<b>MR 2I 180 - 225 M</b>	4 12,1

$P_1$ kW	$n_2$ min <sup>-1</sup>	$M_2$ daN m	$f_s$	Reductor - Motor Redutor - Motor	$i$		
1)				2)			
<b>45</b>	<b>120</b>	351	1,4	<b>MR 2I 160 - 225 M</b>	4 11,7		
	<b>130</b>	324	2,36	<b>MR 2I 180 - 225 M</b>	4 10,8		
	<b>131</b>	322	1,7	<b>MR 2I 160 - 225 M</b>	4 10,7		
	*	<b>140</b>	301	1,06	<b>MR 2I 140 - 225 M</b>	4 10	
	*	<b>149</b>	282	1,9	<b>MR 2I 160 - 225 M</b>	4 9,37	
	*	<b>150</b>	281	2,5	<b>MR 2I 180 - 225 M</b>	4 9,33	
	*	<b>156</b>	271	1,32	<b>MR 2I 140 - 225 M</b>	4 9	
	*	<b>172</b>	245	1,5	<b>MR 2I 140 - 225 M</b>	4 8,15	
	*	<b>172</b>	244	2,24	<b>MR 2I 160 - 225 M</b>	4 8,12	
	*	<b>192</b>	219	2,5	<b>MR 2I 160 - 225 M</b>	4 7,29	
	*	<b>192</b>	219	1,7	<b>MR 2I 140 - 225 M</b>	4 7,29	
	*	<b>221</b>	191	2,5	<b>MR 2I 160 - 225 M</b>	4 6,34	
	*	<b>224</b>	188	1,8	<b>MR 2I 140 - 225 M</b>	4 6,25	
	*	<b>248</b>	170	1,8	<b>MR 2I 140 - 225 M</b>	4 5,65	
	<b>55</b>	**	<b>51,3</b>	983	0,85	<b>MR 3I 180 - 250 M*</b>	4 27,3
		**	<b>59,2</b>	852	1	<b>MR 3I 180 - 250 M*</b>	4 23,7
**		<b>65,6</b>	769	1,12	<b>MR 3I 180 - 250 M*</b>	4 21,4	
**		<b>75,2</b>	671	1,12	<b>MR 3I 180 - 250 M*</b>	4 18,6	
*		<b>106</b>	483	1,32	<b>MR 2I 180 - 250 M</b>	4 13,1	
*		<b>110</b>	469	0,95	<b>MR 2I 160 - 250 M</b>	4 12,8	
*		<b>116</b>	445	1,6	<b>MR 2I 180 - 250 M</b>	4 12,1	
*		<b>120</b>	429	1,18	<b>MR 2I 160 - 250 M</b>	4 11,7	
*		<b>130</b>	396	1,9	<b>MR 2I 180 - 250 M</b>	4 10,8	
*		<b>131</b>	394	1,32	<b>MR 2I 160 - 250 M</b>	4 10,7	
*		<b>149</b>	345	1,6	<b>MR 2I 160 - 250 M</b>	4 9,37	
*		<b>150</b>	343	2,12	<b>MR 2I 180 - 250 M</b>	4 9,33	
*		<b>166</b>	310	2,12	<b>MR 2I 180 - 250 M</b>	4 8,43	
*		<b>172</b>	299	1,8	<b>MR 2I 160 - 250 M</b>	4 8,12	
*		<b>191</b>	270	2,12	<b>MR 2I 180 - 250 M</b>	4 7,35	
*		<b>192</b>	268	2	<b>MR 2I 160 - 250 M</b>	4 7,29	
*	<b>221</b>	233	2,12	<b>MR 2I 160 - 250 M</b>	4 6,34		
<b>75</b>	**	<b>136</b>	516	1,25	<b>MR 2I 180 - 280 S</b>	4 10,3	
	**	<b>148</b>	475	1,5	<b>MR 2I 180 - 280 S</b>	4 9,48	
	**	<b>166</b>	423	1,8	<b>MR 2I 180 - 280 S</b>	4 8,44	
	**	<b>191</b>	367	1,8	<b>MR 2I 180 - 280 S</b>	4 7,31	
	**	<b>212</b>	331	1,8	<b>MR 2I 180 - 280 S</b>	4 6,6	
	**	<b>243</b>	289	1,8	<b>MR 2I 180 - 280 S</b>	4 5,76	

- 1) Potencias para servicio continuo S1; para servicios S2... S10 es posible **aumentarlas** (cap. 2b); proporcionalmente  $M_2$  aumenta y  $f_s$  disminuye.  
2) Para la designación completa para el pedido, ver el cap. 3.  
\* Forma constructiva **BSR** (ver cuadro cap. 2b).  
\* Para temperatura ambiente > 30 °C consultarnos para la verificación de la potencia térmica.  
\*\* Consultarnos para la verificación de la potencia térmica.

- 1) Potências para serviço contínuo S1; para serviços S2... S10 é possível **aumentá-las** (ver o cap. 2b); proporcionalmente  $M_2$  aumenta e  $f_s$  diminui.  
2) Relativamente à designação completa para o pedido, ver o cap. 3.  
\* Forma construtiva **BSR** (ver a tabela do cap. 2b).  
\* Para temperatura ambiente > 30 °C entrar em contacto connosco para a verificação da potência térmica.  
\*\* Entrar em contacto connosco para a verificação da potência térmica.

F-1

▪ Vigas “H” Alas Anchas (WF) Standard Americano

DIMENSIONES Y PESO UNITARIO

DESIGNACION pulxlb/pie *	AREA DE SECCION A Pulg. <sup>2</sup>	ALTURA d Pulg.	ALA		ESPESOR ALMA tw Pulg.	PESO Kg/m
			ANCHO bf Pulg.	EPESOR tf Pulg.		
			4 X 13	3.83		
6 X 15	4.43	5.99	5.990	0.260	0.230	22.32
6 X 20	5.87	6.20	6.020	0.365	0.260	29.76
<b>6 X 25</b>	<b>7.34</b>	<b>6.38</b>	<b>6.080</b>	<b>0.455</b>	<b>0.320</b>	<b>37.20</b>
8 X 18	5.26	8.14	5.250	0.330	0.230	26.79
8 X 24	7.08	7.93	6.495	0.400	0.245	35.72
8 X 31	9.13	8.00	7.995	0.435	0.285	46.13
8 X 35	10.3	8.12	8.020	0.495	0.310	52.09
10 X 22	6.49	1.17	5.750	0.360	0.240	32.74
10 X 30	8.84	10.47	5.81	0.510	0.300	44.64
10 X 33	9.71	9.73	7.960	0.435	0.290	49.11
10 X 49	14.4	9.98	10.000	0.560	0.340	72.92
12 X 26	7.65	12.22	6.490	0.380	0.230	38.69
12 X 40	11.8	11.94	8.005	0.515	0.295	59.53
12 X 65	19.10	12.12	12.000	0.605	0.390	96.73
14 X 30	8.85	13.84	6.730	0.385	0.270	44.64
14 X 38	11.20	14.10	6.770	0.515	0.310	56.55
14 X 43	12.6	13.66	7.995	0.530	0.305	63.99
14 X 53	15.60	13.92	8.060	0.660	0.370	78.87
14 X 61	17.90	13.89	9.995	0.645	0.375	90.78
16 X 36	10.60	15.86	6.985	0.430	0.295	53.57
18 X 55	16.20	18.11	7.530	0.630	0.390	81.85
21 X 73	21.50	21.24	8.295	0.740	0.455	108.60

\* Longitud Standard: 30'

**F-2**

**CARACTERISTICAS DE LA SECCION PARA EL DISEÑO**

DESIGNACION pulg x lb/pie *	AREA	EJE X - X			EJE Y - Y		
		I	S	r	I	S	r
		Pulg. <sup>4</sup>	Pulg. <sup>3</sup>	Pulg.	Pulg. <sup>4</sup>	Pulg. <sup>3</sup>	Pulg.
4 X 13	3.83	11.3	5.46	1.72	3.86	1.90	1.00
6 X 15	4.43	29.1	9.72	2.56	9.32	3.11	1.46
6 X 20	5.87	41.4	13.40	2.66	13.30	4.41	1.50
6 X 25	7.34	53.4	16.70	2.70	17.10	5.61	1.52
8 X 18	5.26	61.9	15.20	3.43	7.97	3.04	1.23
8 X 24	7.08	82.8	20.90	3.42	18.30	5.63	1.61
8 X 31	9.13	110.0	27.50	3.47	37.10	9.27	2.02
8 X 35	10.3	127.0	310.20	3.51	42.60	10.60	2.03
10 X 22	6.49	118.0	23.20	4.27	11.40	3.97	1.33
10 X 30	8.84	170.0	32.40	4.38	16.70	5.75	1.37
10 X 33	9.71	170.0	35.00	4.19	36.60	9.20	1.94
10 X 49	14.4	272.0	54.60	4.35	93.40	18.70	2.54
12 X 26	7.65	204.0	33.40	5.17	17.30	5.34	1.51
12 X 40	11.8	310.0	51.90	5.13	44.10	11.00	1.93
12 X 65	19.10	533.0	87.90	5.28	174.00	29.10	3.02
14 X 30	8.85	291.0	42.00	5.73	19.60	5.82	1.49
14 X 38	11.20	385.0	54.60	5.87	26.70	7.88	1.55
14 X 43	12.6	428.0	62.70	5.82	45.20	11.30	1.89
14 X 53	15.60	541.0	77.80	5.89	57.70	14.30	1.92
14 X 61	17.90	640.0	92.20	5.98	107.00	21.50	2.45
16 X 36	10.60	448.0	56.50	6.51	24.50	7.00	1.52
18 X 55	16.20	890.0	98.30	7.41	44.90	11.90	1.67
21 X 73	21.50	1600.0	151.00	8.64	70.60	17.00	1.81

I= Momento de inercia

S= Módulo de sección alrededor del eje

r= Radio de rotación alrededor del eje.

Fuente: Tabla técnica de productos FIERRO TRADI S.A

## Descripción

El acoplamiento JAUFLEX emplea un elemento elástico, que proporciona la flexibilidad torsional requerida y suavidad en la transmisión del par. A través de la selección adecuada del elemento elástico así como del tamaño, se pueden evitar choques y vibraciones torsionales en el eje conducido.

La concepción del acoplamiento JAUFLEX permite absorber las desalineaciones radiales y angulares entre ejes, así como la mayoría de los desplazamientos axiales producidos por dilataciones de ejes o por pequeños movimientos en cimentaciones y apoyos.

Aunque el acoplamiento JAUFLEX pueda tolerar algunos pequeños errores en la alineación de las máquinas, siempre es mejor obtener una buena alineación para que el acoplamiento pueda posteriormente acomodar posteriores movimientos entre ejes.

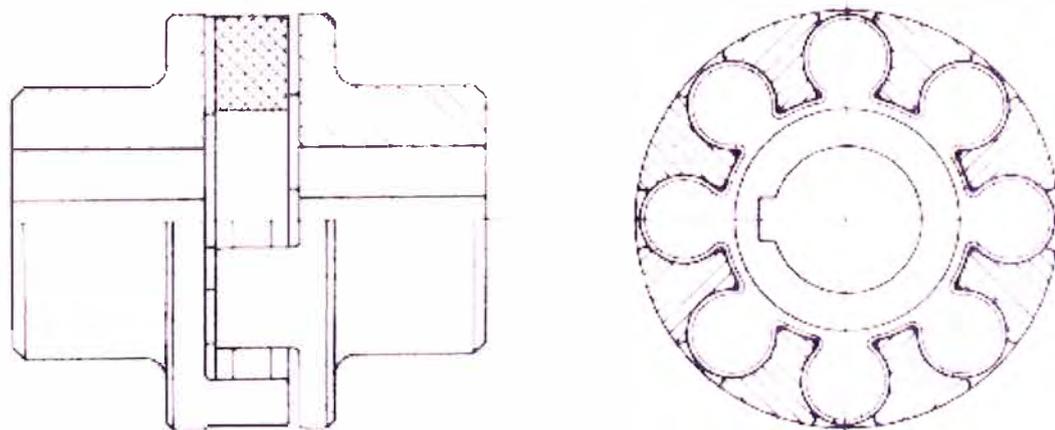
Los mangones del acoplamiento JAUFLEX tienen forma de tapon, fabricados enteramente en acero. Los alojamientos del elemento flexible están totalmente mecanizados.

El elemento elástico es una corona a modo de barril interconectada por un anillo, por lo que es una pieza única fácil de montar y desmontar. Existen tres tipos de elastómero de diferentes durezas. Se puede seleccionar ya sea un elemento con mayor dureza y por consiguiente una mayor capacidad de transmisión de par o un elemento blando para una transmisión suave. Los elementos elásticos eliminan la transmisión de vibraciones torsionales a través de su elasticidad y su alto coeficiente de amortiguamiento.

Del mismo modo, el aire circula a ambos lados del elemento elástico obteniéndose una buena evacuación del calor generado.

Las principales características de los acoplamientos JAUFLEX son:

- Capacidad de absorber desalineaciones radiales, angulares y axiales.
- Es comparativamente pequeño en tamaño y ligero en peso.
- Tiene un desequilibrio residual pequeño, como consecuencia de que ya mecanizado y el elemento elástico ligero está fabricado con precisión. Así mismo se puede proceder al equilibrado si se estima oportuno (VDI-2000 Q=6.3 o Q=2.5).
- La larga duración del elemento elástico está asegurada por el latón acabado en las superficies de apoyo.
- No requiere lubricación y es necesario un mantenimiento mínimo.
- Aislante eléctricamente de por sí, no existiendo contacto metal-metal entre los dos mangones.

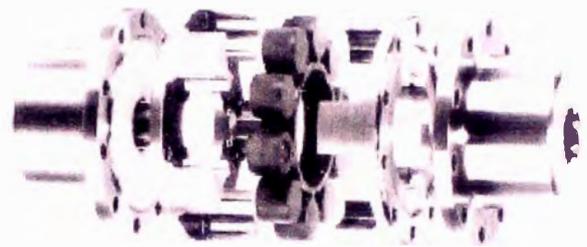
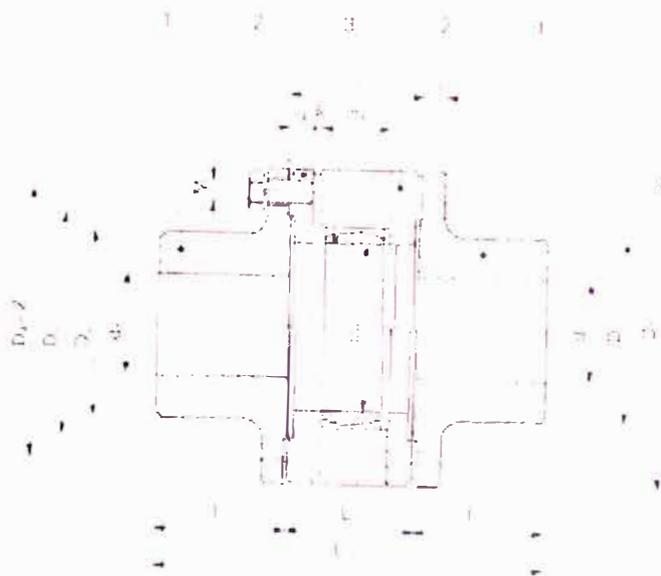


## Ejecuciones

Existen numerosas ejecuciones partiendo de diseños standard. Sin embargo, el departamento de Ingeniería de Jaure puede estudiar ejecuciones especiales para cumplir los requisitos exigidos por el cliente. Entre los diseños estándar y especiales figurar:

- Ejecución base con mangones estándar "S-A" o mangones largos "S-AL" (utilizados para disminuir las tensiones en las clavetas).
- Ejecución que permite el desmontaje del acoplamiento sin desplazar las máquinas tipo "GDD".
- Ejecución con polea de freno, ya sea con polea fundida "S-APF" o con polea en acero "S-APA".
- Ejecución con eje intermedio "S-XFC" con doble rodilla de guiado.
- Ejecución con volante "S-X" y "S-Z", que conecta volantes o bridas con ejes o bridas, y "S-XC", que conecta volantes con juntas universales.
- Ejecución con disco de freno "SDDL", "SDF" y "STW".
- Ejecución "SLP" y "SBR" con limitador de par.
- Ejecución desmontable "SES".





Tipo SDD	d <sub>1</sub>		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub> H7/h3	D <sub>4</sub>	Z (1)	M	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	S	h <sub>1</sub>	d <sub>R</sub>	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	M <sub>A</sub> (2)	J (3)	Peso
	min. mm	max. mm																		
S 85 DD	10	38	85	60	60	72,5	6	M6	43	8	8	4	21	31	46	43	129	1	0,0021	3
S 100 DD	10	42	105	65	65	87	6	M8	49	10	10,5	5	21	42	56	53	151	2,5	0,0067	6,3
S 125 DD	13	55	126	80	80	106	6	M10	56	11	11	5	29	52	61	58	170	4,9	0,0166	7,9
S 145 DD	13	60	145	90	95	120	6	M12	60,5	12	13,5	5	31	61	71	68	189	8,6	0,0266	11,9
S 170 DD	18	80	170	115	120	115	8	M12	71,5	12,5	13,5	5	31	90	71	68	217	8,6	0,0503	16,7
S 200 DD	20	95	200	135	140	170	8	M14	98,5	14,5	14,5	6	40	100	81	77	271	13,5	0,1189	30,5
S 220 DD	28	110	220	150	170	200	10	M14	110	17,5	15,5	7	41	115	86	81	301	13,5	0,2361	48,7
S 260 DD	32	130	260	180	200	230	10	M16	112,5	22,5	16,5	8	52	140	101	96	321	21	0,4557	60,5
S 300 DD	40	145	300	200	220	260	10	M20	131,5	22	19	8	57	162	111	106	369	41	0,9090	103
S 360 DD	45	160	360	225	230	280	12	M20	172	25	26	8	62	215	126	125	409	41	1,825	163
S 400 DD	80	170	400	240	230	280	14	M22	172	25	26	8	62	250	120	125	469	95	2,2620	173,5

Ejemplo de designación del acoplamiento: S-200 DD-3KR

En el acoplamiento SDD, el conjunto elástico formado por las piezas 2 y 3 puede montarse y desmontarse sin necesidad de desplazar las máquinas, a condición de que la cota L sea respetada.

Para características técnicas y capacidad de par véase Pág. 5

Elementos elásticos en tres diferentes durezas (PB30, VKR y VK60E).

(1) N.º de tornillos

(2) Par de apriete de los tornillos.

(3)  $G[D=4]$

## H-1

- **CONSTANTES SEGUN CODIGO ASME**

Naturaleza de la carga	Valores para	
	Km	Kt
<i><u>Ejes Fijos:</u></i>		
Carga Aplicada Gradualmente.	1.0	1.0
Carga Aplicada Repentinamente.	1.5-2.0	1.5-2.0
<i><u>Ejes Giratorios:</u></i>		
Carga Constante o Aplicada Gradualmente.	1.5	1.0
Cargas Aplicadas Bruscamente, solamente pequeños impactos.	1.5-2.0	1.0-1.5
Cargas Aplicadas Bruscamente, grandes impactos.	2.0-3.0	1.5-3.0

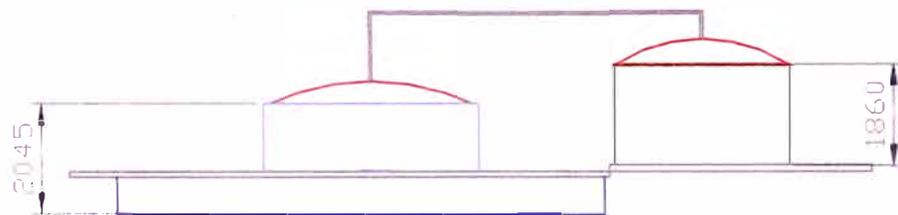
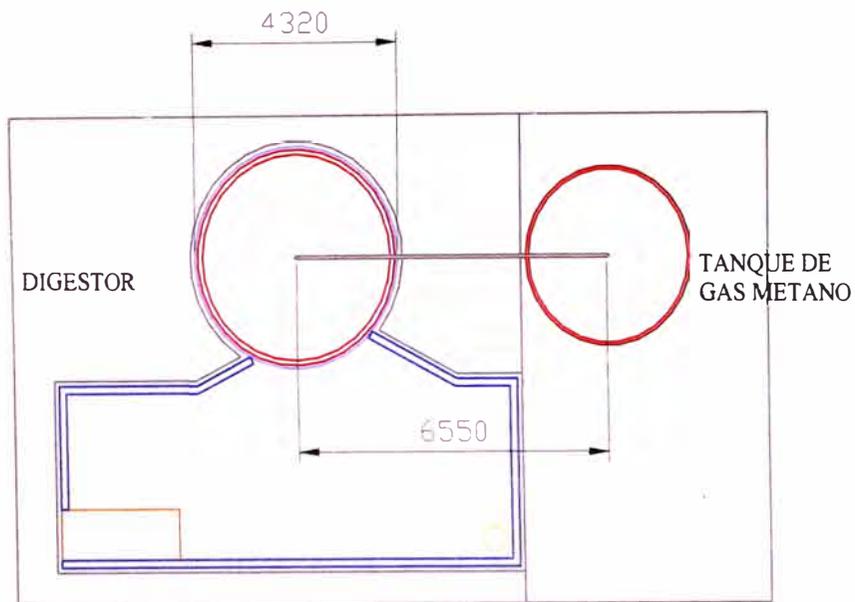
Donde:

Km: Coeficiente numérico combinado para impacto y fatiga aplicable en cada caso al momento flector calculado.

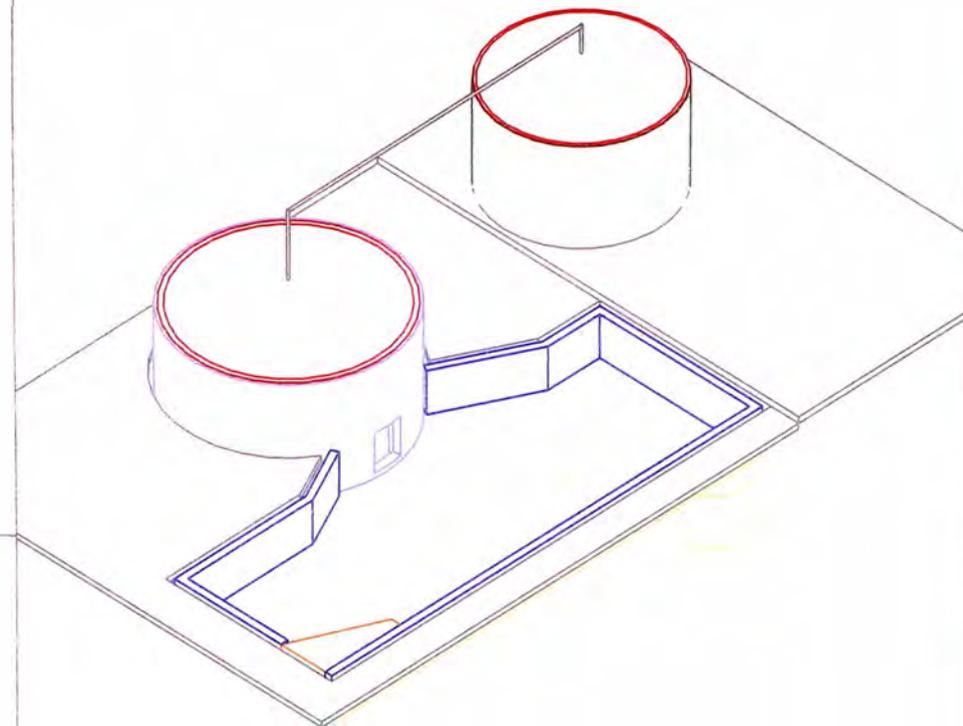
Kt: Coeficiente correspondiente aplicable al momento torsor calculado.

# **PLANOS**

- PLANTA DE BIODIGESTION .....PLANO N° 1
- INSTALACION SISTEMA AGITADOR.....PLANO N° 2
- SISTEMA AGITADOR.....PLANO N° 3
- BASTIDOR SISTEMA AGITADOR.....PLANO N° 4
- ACOPLAMIENTO TIPO S-360-DD-VKR.....PLANO N° 5
- MOTOR-REDUCTOR COAXIAL.....PLANO N° 6



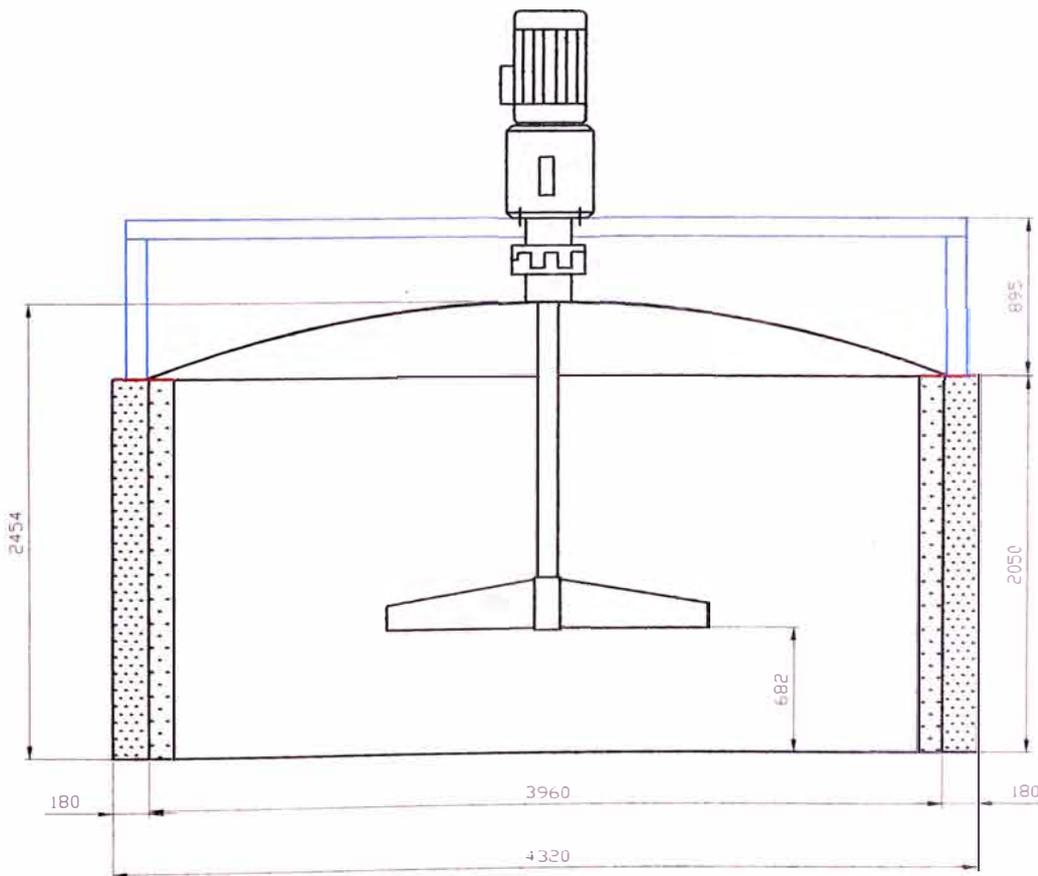
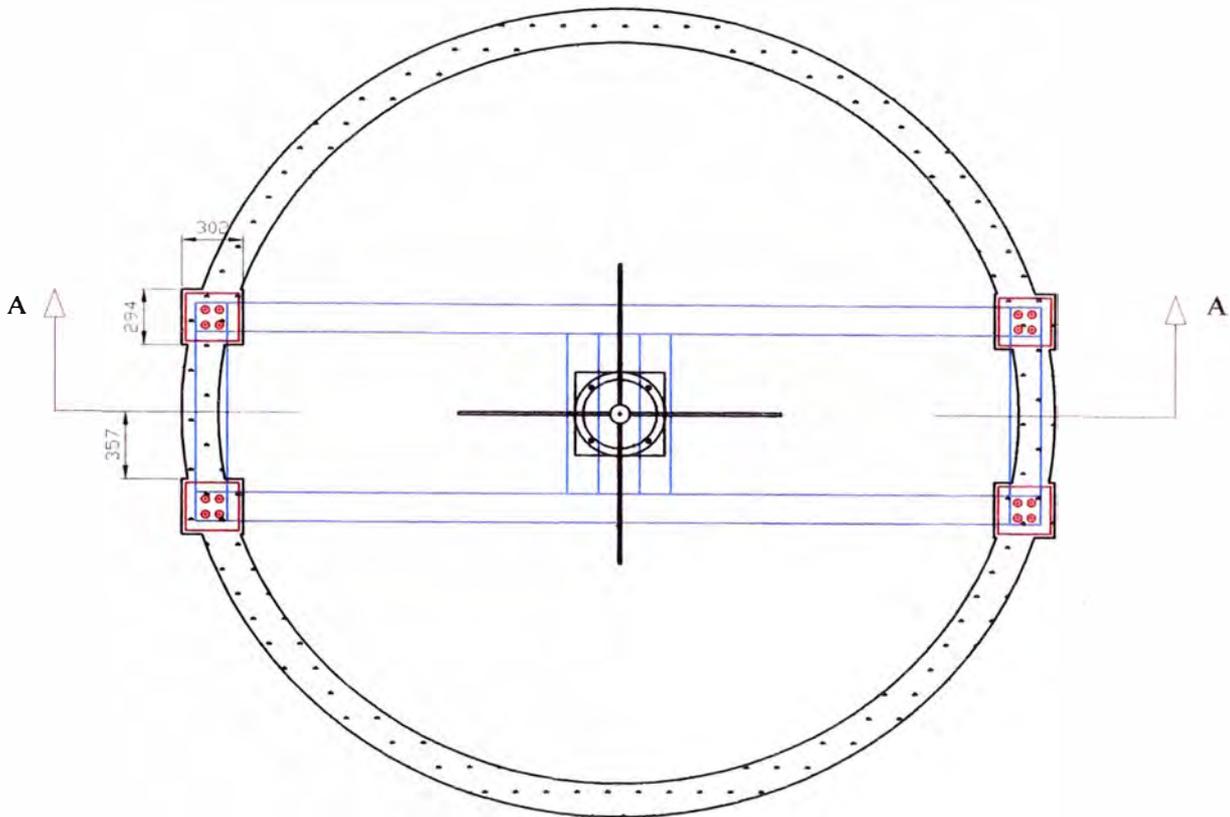
BIOABONO



FIM

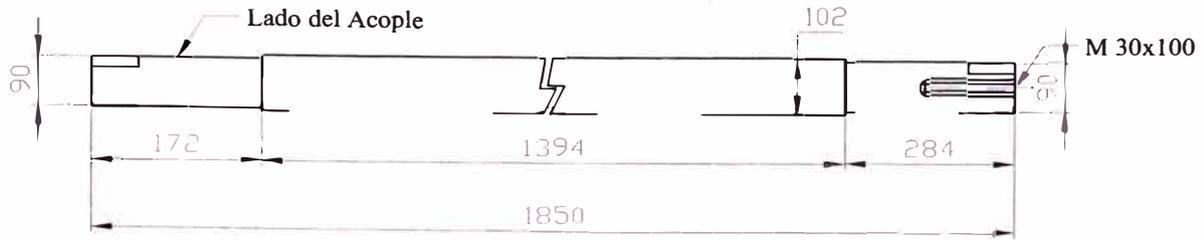
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

CODIGO	DESIGNACION		ESCALA
P001	PLANTA DE BIODIGESTION		INDICADA
PLANO N°	DIBUJADO POR	REVISADO POR	FECHA
01	Luis Cuba Bautista	Ing. Jorge Avila	25/04/2005

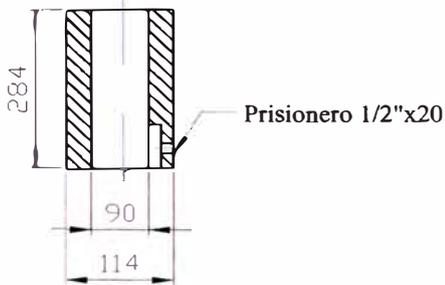


SECCION A-A

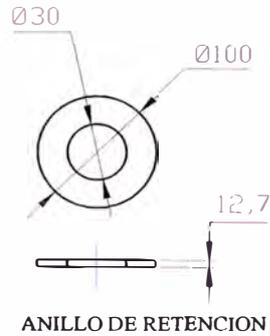
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>				
	CODIGO	DESIGNACION		ESCALA
	P001	INSTALACION SISTEMA AGITADOR		INDICADA
<b>FIM</b>	PLANO N°	DIBUJADO POR	REVISADO POR	FECHA
	02	Luis Cuba Bauñista	Ing. Jorge Avila	25/04/2005



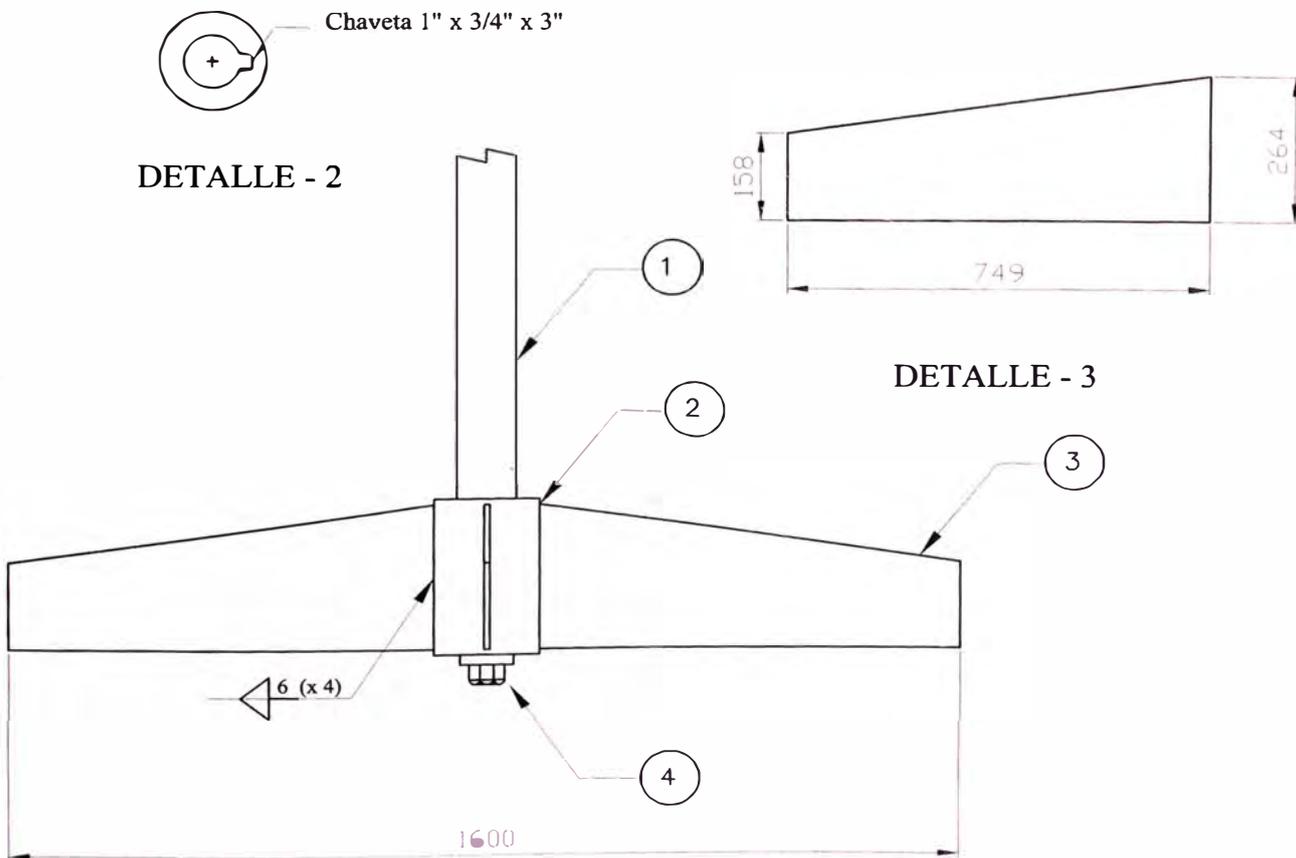
DETALLE - 1



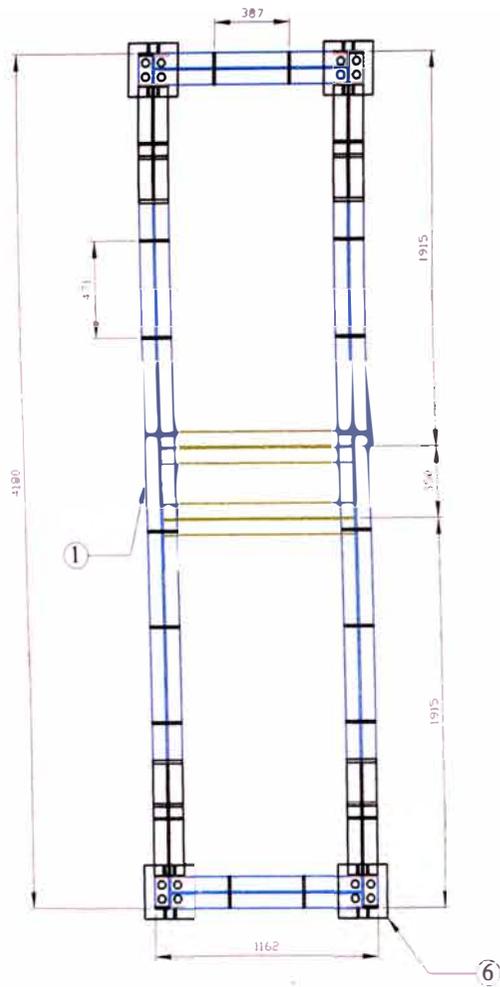
DETALLE - 2



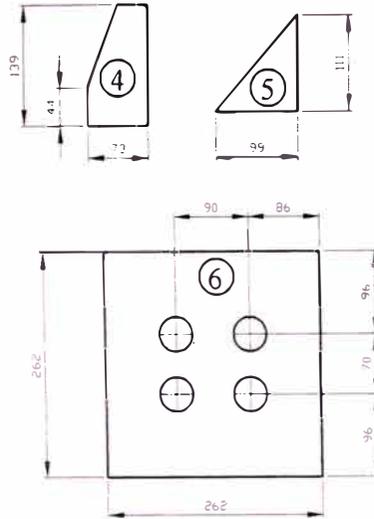
DETALLE - 3



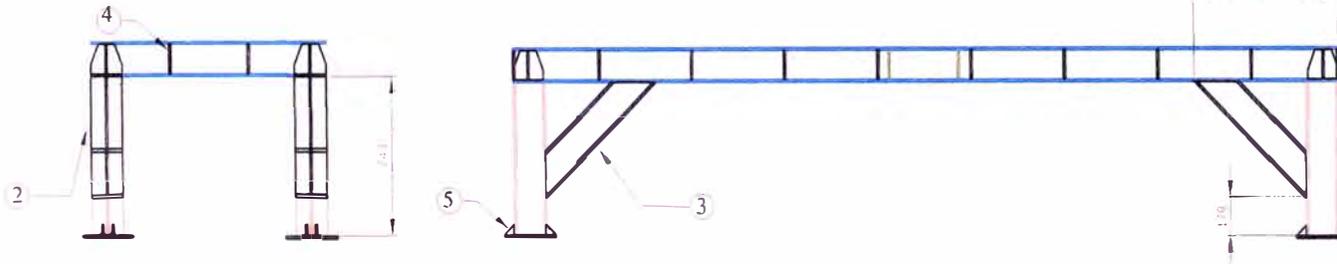
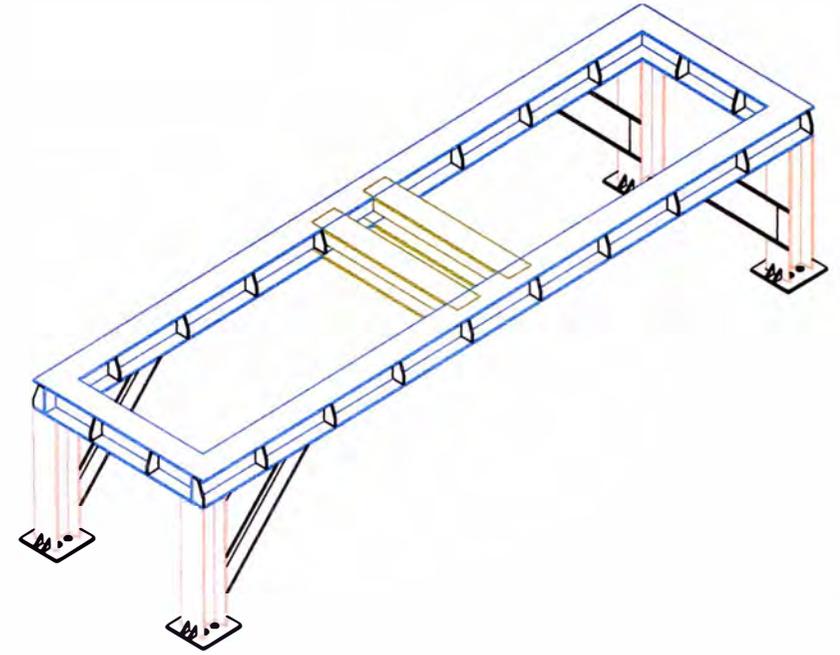
ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT.
4	PERNO DE SUJECCION	M 30X100 G8	1
3	PALETA A 90° C/UNO	PL LAC 1/2"	4
2	BOCINA EJE	Tubo sch 80 Ø 4"	1
1	EJE AGITADOR	SAE 1045	1
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>			
	CODIGO	DESIGNACION	ESCALA
	P001	SISTEMA AGITADOR	INDICADA
<b>FIM</b>	PLANO N°	DIBUJADO POR	REVISADO POR
	03	Luis Cuba Bautista	Ing. Jorge Avila
			FECHA
			25/04/2005



CARTELAS



BASE DE ANCLAJE



ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT.
6	BASE ANCLAJE	PL 1/2" LAC	4
5	CARTELA COLUMNA	PL 3/8" LAC	16
4	CARTELA BASTIDOR	PL 3/8" LAC	64
3	REFUERZO	VIGA H6X25	4
2	COLUMNA	VIGA H 6 X 25	1
1	BASTIDOR SUPERIOR	VIGA H 6 X 25	1

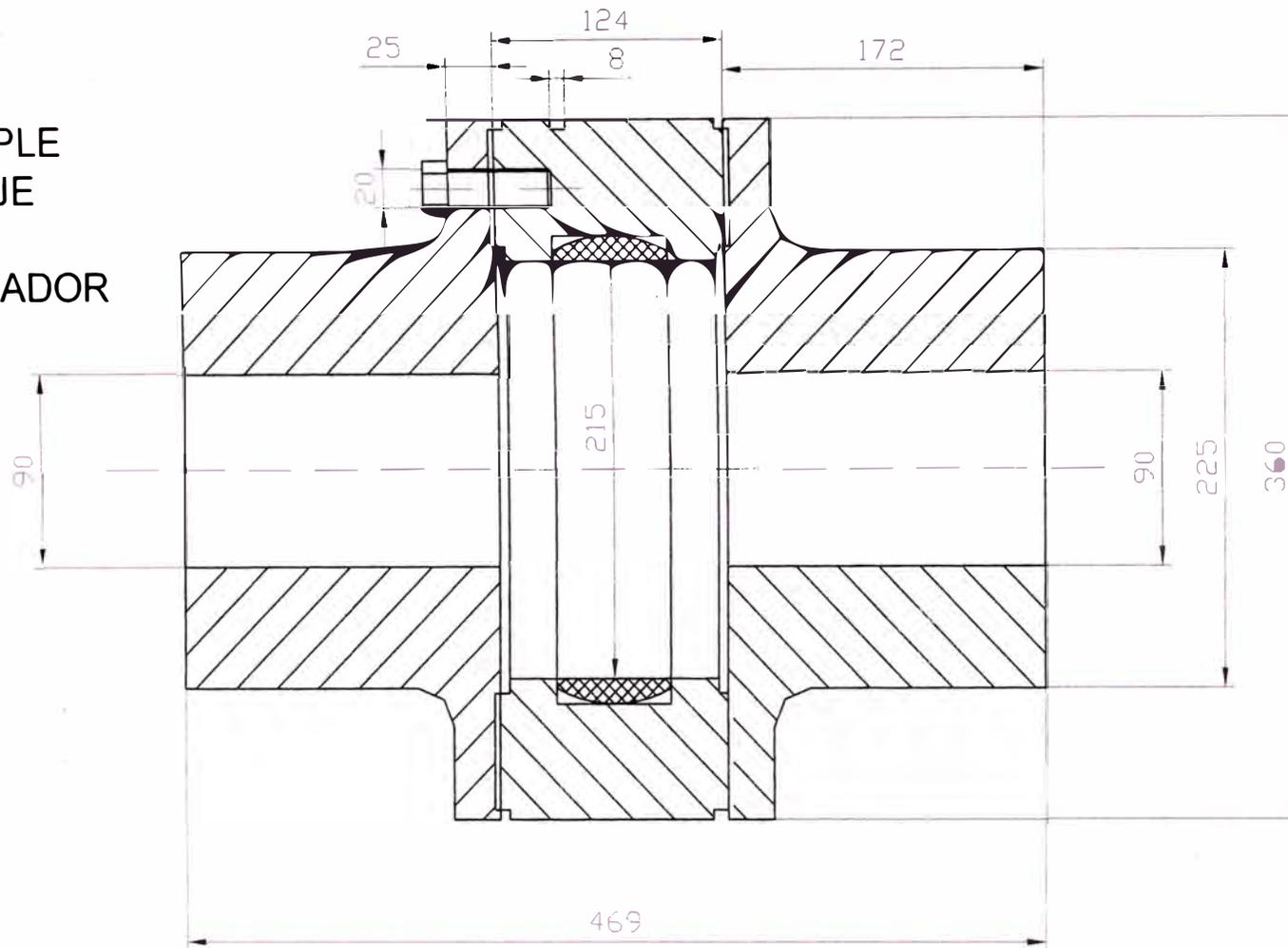


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

CODIGO	DESIGNACION	ESCALA	
P001	BASTIDOR DEL SISTEMA AGITADOR	INDICADA	
PLANO Nº	DIBUJADO POR	REVISADO POR	FECHA
04	Luis Cuba Bautista	Ing Jorge Avila	25/04/2005

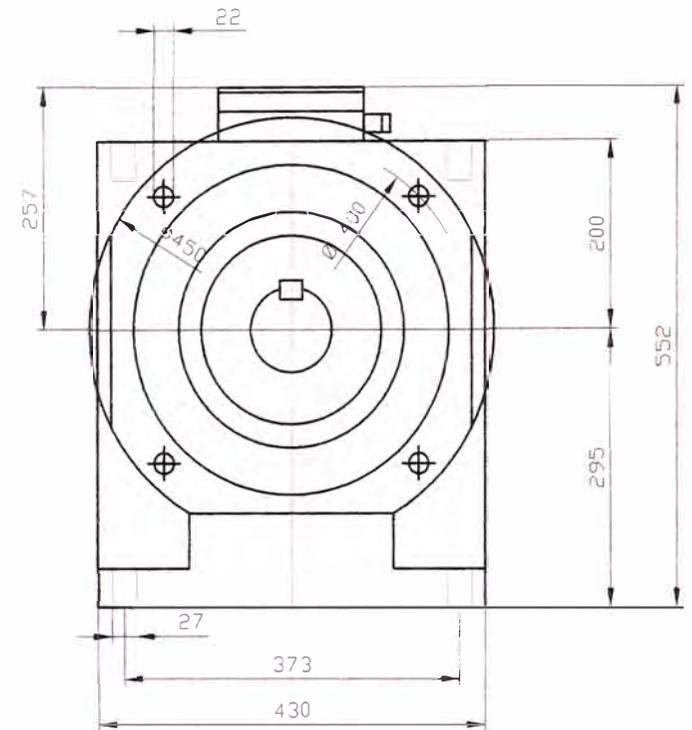
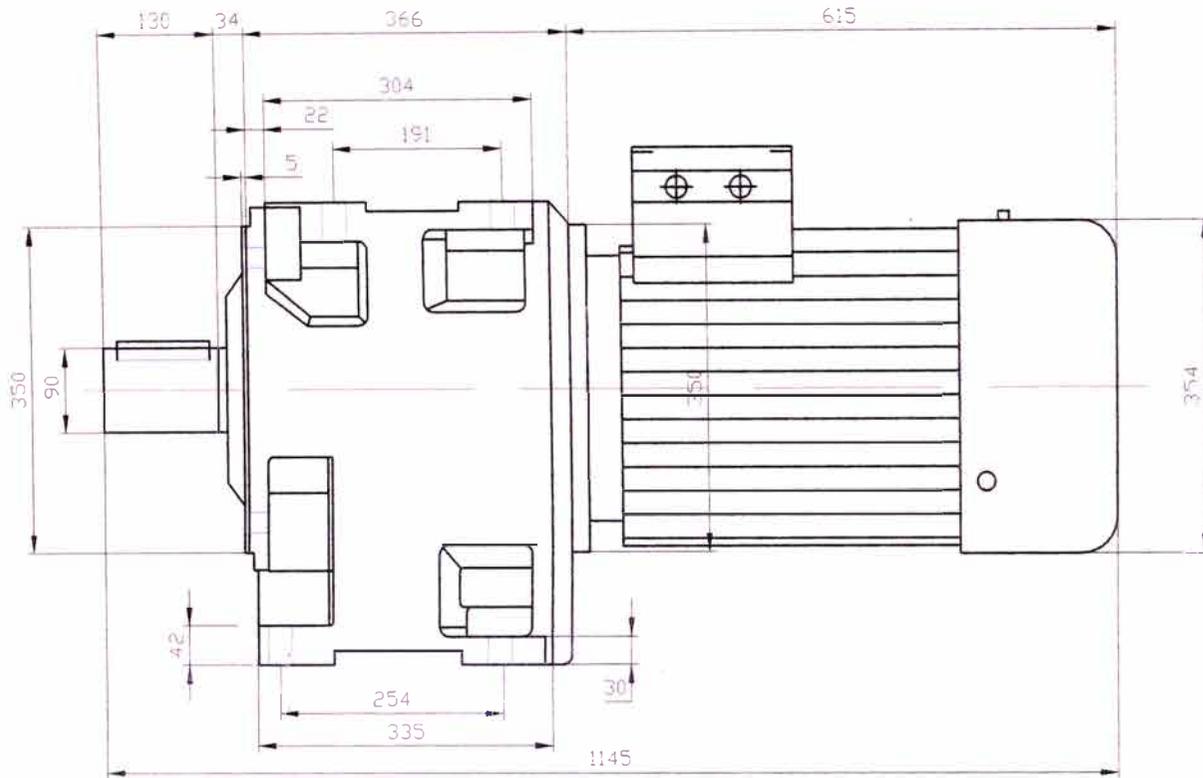
FIM

ACOPLE  
AL EJE  
DEL  
AGITADOR



ACOPLE  
AL EJE  
MOTOR

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>			
	CODIGO	DESIGNACION	ESCALA	
P001	ACOPLAMIENTO TIPO S-360-DD-VkR MARCA JAURE	INDICADA		
	PLANO N°	DIBUJADO POR	REVISADO POR	FECHA
	05	Luis Cuba Bautista	Ing. Jorge Avila	25/04/2005



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
	CODIGO	DESIGNACION	ESCALA
	P001	MOTOR-REDUCTOR COAXIAL 31 160-180L	INDICADA
	PLANO N°	DIBUJADO POR:	REVISADO POR
	06	Luis Cuba Bautista	Ing. Jorge Avila
			FECHA
			25/04/2005