

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ANGULO DE INCLINACION EN
AGITADORES DE CUATRO ASPAS SOBRE EL NUMERO DE POTENCIA**

DIANA MARIA VILLALOBOS ORDUZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2014

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ANGULO DE INCLINACION EN
AGITADORES DE CUATRO ASPAS SOBRE EL NUMERO DE POTENCIA**

DIANA MARIA VILLALOBOS ORDUZ

**Trabajo de grado entregado como requisito para obtener el título como
Ingeniero Químico**

Directores

José Roberto Nunhez

Ingeniero Químico Ph.D

Departamento Ingeniería procesos

Universidad Estadual Campinas

Sao Paulo – Brasil

Arlex Chaves Guerrero

Ingeniero Químico Ph.D.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

2014

DEDICATORIA

Al padre creador por amarme tanto y regalarme la oportunidad de haber podido hacer mi sueño realidad de mi proyecto de grado en Brasil.

A mí misma por haber sido tan fuerte y valiente en el momento que tome la decisión de aventurarme a un país desconocido solo por hacer mi sueño realidad .

A mis padres y hermanos por ser ejemplo de amor, perseverancia, y trabajo duro para lograr los objetivos que se proponen para sus vidas, por haber tanto amor entre nosotros y por compartir este sueño conmigo

A mi profesor José Roberto Nunhez de la Universidad Estadual de Campinas en Brasil por haberme dado la oportunidad de trabajar en su laboratorio, oportunidad que cambio mi vida para siempre y sobre todo por enseñarme a través de su ejemplo que en el perfil de un profesional exitoso tiene que existir primero un ser humano íntegro y servicial.

Las chicas de la Republica Hellmanns Jessica, Lu, Duda, Juliana, Fer, me hicieron vivir la experiencia más maravillosa de mi vida, estuve como en casa. **A Thay** la amiga, hermana que me regalo mi viaje a Brasil, chica gracias por no haberme permitido que me sintiera sola en un país extranjero, amigas siempre.

A Juliane, a Tarcisio, a Rafael campobiano, a mis compañeros de laboratorio, a todos los amigos de Brasil que hice en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Estadual de Campinas.

Andrea, Ronald, Diana, José Luis, los colombianos que me recibieron y enseñaron como vivir en Brasil.

A mi amigo, profesor Javier Enrique Gómez, por su amistad verdadera.

A mis amigos de la Escuela de Ingeniería Química UIS gracias por compartir este camino conmigo y por tantas noches de estudio para lograr este objetivo

A mis profesores de la Escuela de Ingeniería Química de la UIS por su formación como profesional

A la Fundación Seminarios Caminos porque desde pequeña aprendí en sus seminarios de inteligencia emocional que todos los sueños se hacen posibles

A todas las personas que con sus oraciones a Dios me animaron y ayudaron

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	13
1. FUNDAMENTO TEÓRICO	15
1.1. MEZCLA Y AGITACIÓN	15
1.2. AGITACION DE FLUIDOS NEWTONIANOS.....	15
1.3. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE MEZCLA.....	16
1.3.1. Tanque.....	16
1.3.2 Deflectores o Baffles.....	17
1.3.3 Agitador.....	18
1.4. TORQUE.....	19
1.5 CONSUMO DE ENERGÍA	20
1.6 NÚMERO DE REYNOLDS	21
1.7 RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE POTENCIA Y NÚMERO DE REYNOLDS.....	21
1.7.1 Curva de potencia en relación al comportamiento de flujo.....	22
2 METODOLOGÍA	24
2.1 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	24
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILOTO.....	25
2.2.1. Tanque.....	26
2.2.2 Agitador.....	26
2.2.3 Control y adquisición de datos.....	27
2.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	28
2.3.1. Ajuste de las medidas del tanque respecto al volumen.....	28
2.3.2 Colocación del agitador que se va utilizar a una distancia de 1/3 de la altura del tanque.....	28
2.3.3 Protocolo encendido del tanque.....	29

2.3.4 Observación del comportamiento del fluido respecto al movimiento del impulsor.	29
2.3.5 Toma y tratamiento de datos que generados en el software	29
2.3.5.1 Tratamiento de datos en Excel	30
3 .RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	31
3.1 RESULTADOS DE NP (CONSUMO DE ENERGÍA) EN RELACIÓN A LA GEOMETRÍA DEL AGITADOR:.....	31
3.2 NÚMERO DE POTENCIA VERSUS NÚMERO DE REYNOLDS PARA LAS 20 REFERENCIAS DE AGITADORES UTILIZADOS	32
3.3 ANÁLISIS DEL CONSUMO DE POTENCIA RESPECTO A LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN PARA AGITADOR CON REFERENCIA PR45-10 (ASPAS INCLINADAS)	33
3.4 ANÁLISIS GRAFICO DE CONSUMO DE POTENCIA VERSUS VELOCIDAD DE ROTACIÓN PARA UN AGITADOR CON REFERENCIA PR90-01 (ASPAS RECTAS).	34
4. CONCLUSIONES	36
5. RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	40

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Intervalo de viscosidad según el tipo de agitador	18
Tabla 2. Tipos de agitadores utilizados en operaciones de mezclado y agitación en régimen de flujo turbulento (1).	19
Tabla 3. Especificaciones de las medidas del tanque.....	26
Tabla 4Especificaciones de las medidas del eje.....	26
Tabla 5. Presenta las referencias de los agitadores utilizados para este proyecto, para cada uno su diámetro (Da), en relación al tanque (Da/ T), ancho aspa (W).	27
Tabla 6. Resultados de Np obtenidos en el laboratorio para cada referencia de agitador	31
Tabla 7. Analisis de intervalos de rotación agitador con referencia PR90-01 (aspas rectas)	35

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de agitación compuesto por tanque, chicanas o baffles, impulsor, tubería de drenaje.....	17
Figura 2. Número de potencia versus Número de Reynolds.	22
Figura 3. Curva de potencia en relación al comportamiento de flujo.	23
Figura 4. Esquema de la metodología de trabajo	24
Figura 5. Planta piloto de agitación y mezcla Laboratorio de Fluido Dinámica Computacional realizada con el proyecto FAPESP 03/08640-7 Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Estadual de Campinas (Brasil) (9)	25
Figura 6. Representación del diseño tanque y el eje con las medidas de la planta piloto.	26
Figura 7. Imágenes de la colocación del agitador a 1/3 respecto a la altura total del tanque.....	28
Figura 8. Comportamiento grafico Numero de Reynolds versus número de potencia para los 20 agitadores utilizados en el proyecto.....	32
Figura 9. Grafica de Consumo de potencia (J/s) versus rotación (S ⁻¹) para agitador con referencia PR45-10 (aspas inclinadas).	33
Figura 10. Grafica de Consumo de potencia (J/s) versus rotación (S ⁻¹) para agitador con referencia PR90-01 (aspas rectas).....	34

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Imágenes De Equipos Planta Piloto	40
Anexo B. Ajuste de medidas del Tanque	42
Anexo C. Esquema Funcionamiento Planta	43
Anexo D. Código del Software	45
Anexo E. Datos Block de Notas	46
Anexo F. Plantilla Tratamiento de Datos en Excel	47

RESUMEN

TITULO : ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ANGULO DE INCLINACION EN AGITADORES DE CUATRO ASPAS SOBRE EL NUMERO DE POTENCIA*

AUTOR : Diana María Villalobos Orduz **

PALABRAS CLAVES : mezcla, parámetros experimentales, agitadores, diámetro, numero de Reynolds, consumo de potencia, eficiencia.

DESCRIPCION: La operación de mezcla es importante en la industria. Esta puede ser analizada desde el punto de vista energético. Para calcular el gasto energético es necesario obtener parámetros experimentales de diferentes tipos de agitadores.

El equipo usado en esta operación consta básicamente del tanque y el agitador, en el proceso de selección del agitador es necesario tener un conocimiento profundo del proceso, de las propiedades físicas (densidad, viscosidad, calor específico etc.), químicas (composición de la mezcla, reacciones químicas exotérmicas o endotérmicas etc.) de los componentes que se desean mezclar, de las propiedades reológicas de las sustancias y de las condiciones de operación en que se da el proceso como son la temperatura y, la presión

En una planta piloto de laboratorio experimental de Fluido Dinámica Computacional de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Estadual de Campinas (Sao Paulo-Brasil) se creó una metodología para determinar el consumo de energía de agitadores de aspas rectas e inclinadas cambiando el diámetro del agitador utilizando como fluido agua en régimen turbulento.

Con los resultados obtenidos para diferentes agitadores se dibujó la gráfica de consumo de potencia en función del número de Reynolds, con esta grafica se puede llegar a estimar el consumo de potencia en relación a cada agitador.

Las técnicas de simulación CFD se apoyan en estudios hechos sobre correlaciones experimentales de consumo de potencia para predecir y ubicar los puntos de ineficiencia del fluido dentro del tanque, lo que busca obtener una mayor eficiencia del proceso y reducir costo.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas .Escuela de Ingeniería Química. Directores: José Roberto Nhunez, Arlex Chaves Guerrero

ABSTRACT

TITTLE : ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE ANGLE OF TILT IN FOUR BLADES SHAKERS ON NUMBER OF POWER *

AUTOR: Diana Maria Villalobos Orduz **

KEY WORDS : Mixture, experimental parameters, agitators, diameter, Reynolds number, power consumption efficiency.

DESCRIPTION : the mixing is important in the industry. This can be analyzed from an energy point of view. To calculate energy expenditure is necessary to obtain experimental parameters of different types of agitators.

The equipment used in this operation is basically tank and agitator, the agitator selection process is necessary to have a thorough understanding of the process of the physical properties (density, viscosity, specific heat etc.), chemical (composition mixing exothermic or endothermic ,chemical reactions, etc.) of the components which are desired mixing, the rheological properties of substances and of the operating conditions in the process are given as temperature and pressure.

In a pilot experimental laboratory Computational Fluid Dynamics School of Chemical Engineering, State University of Campinas (Sao Paulo, Brazil) ground a methodology was created to determine the power consumption of agitators and inclined straight blades changing the diameter of shaker using water as turbulent fluid.

The results obtained for different agitators drawing the graph of power consumption as a function of Reynolds number with this chart you can get to estimate the power consumption in relation to each shaker.

CFD Simulation techniques are based on studies done on experimental correlations for predicting power consumption and locate points of inefficiency of the fluid inside the tank, which seeks greater process efficiency and reduce cost.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas .Escuela de Ingeniería Química. Directores: José Roberto Nhunez, Arlex Chaves Guerrero

INTRODUCCIÓN

Proceso de mezcla es una operación unitaria muy común y de gran importancia especialmente en la industria de alimentos, del petróleo, de productos químicos y farmacéuticos, entre otros (1) . Esta debe ser analizada desde diversos puntos de vista dependiendo del objetivo del proceso como son: el tipo de fluido (newtoniano o no newtoniano) que se está procesando, el régimen de flujo (laminar y turbulento), la geometría del agitador y desde el gasto de energía (2)

Para calcular este gasto energético es necesario analizar los parámetros experimentales con los cuales se obtiene la potencia requerida en el proceso con lo que se busca obtener una mayor eficiencia y reducir costos.

Por tanto, se hace necesario obtener datos del consumo energético de diferentes tipos de agitadores en régimen de flujo turbulento, lo cual determinará el uso de uno u otro tipo de agitador en el momento de seleccionarlo. En este trabajo, se determinó (experimentalmente) el consumo de energía de agitadores de aspas rectas (flujo axial y flujo radial) e inclinadas (la dirección del flujo de axial a radial cambian dependiendo del diámetro del agitador o el aumento de la viscosidad) para un fluido newtoniano (agua) en régimen de flujo turbulento (3).

Por otro lado, las técnicas de simulación Fluido Dinámica Computacional (CFD, por sus siglas en Inglés), se apoyan en estudios hechos sobre las Correlaciones obtenidas (consumo de potencia) experimentalmente con tipos específicos de agitadores, con lo cual se busca predecir y ubicar los puntos de ineficiencia del comportamiento de un fluido dentro de un tanque (1)

El objetivo de este proyecto es implementar una metodología para el cálculo experimental de la potencia consumida en una planta piloto de agitación y mezcla y analizar el comportamiento de consumo de energía requerido por cada agitador tipo aspas inclinadas o rectas, en relación al diámetro del agitador respecto al diámetro del tanque, utilizando como fluido agua en régimen de flujo turbulento.

El equipo usado en esta operación consta básicamente del tanque y el agitador, en el proceso de selección del agitador es necesario tener un conocimiento profundo del proceso, de las propiedades físicas (densidad, viscosidad, calor específico etc.), químicas (composición de la mezcla, reacciones químicas exotérmicas o endotérmicas etc.) de los componentes que se desean mezclar, de las propiedades reológicas de las sustancias y de las condiciones de operación en que se da el proceso como son la temperatura y, la presión (4)

Este trabajo presenta un método experimental para medir la potencia en el que se utiliza un modelo de convertidor de frecuencia, un torquimetro de precisión, en conjunto con el desarrollo de un software para el tratamiento de datos a la salida.

Con los resultados para diferentes agitadores se construyó la gráfica de consumo de potencia en relación a la geometría del agitador y el tanque experimental. Es importante obtener la gráfica del consumo de potencia en función del número de Reynolds porque con los resultados obtenidos en el laboratorio se puede llegar a estimar la potencia necesaria para una operación específica a escala industrial (1)

Los datos experimentales fueron obtenidos en el Laboratorio Experimental de Fluido Dinámica Computacional de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Estadual de Campinas en Sao Paulo –Brasil.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. MEZCLA Y AGITACIÓN

Se define el proceso de mezcla como la combinación de sustancias en una o varias fases, por ejemplo la mezcla entre gases o entre dos líquidos con el objetivo de producir disoluciones, emulsificaciones y dispersiones. También existe la mezcla entre sustancias de fases diferentes como, por ejemplo la que se presenta en la dispersión de gases en líquidos, específicamente en la formación de aerosoles, la atomización y la de sólidos en líquidos como los “slurries”. La agitación es el medio por el cual se logra el proceso de mezcla, mejorando la transferencia de masa y de calor entre fases con superficies externas. La fuente de agitación podría ser producida por un compresor de aire o un agitador mecánico (5).

La agitación es un proceso que proporciona movimiento al líquido, y debe ser estudiada desde diversos puntos de vista, como por ejemplo la eficiencia energética del proceso, el tiempo de mezcla, el régimen de flujo, el comportamiento reológico del fluido y las diversas configuraciones del agitador. Por lo tanto, es importante considerar los diferentes aspectos que están conectados a la agitación en diversos procesos (6).

1.2. AGITACION DE FLUIDOS NEWTONIANOS

En los diversos procesos industriales que requieren de agitación, se involucran fluidos newtonianos y no newtonianos. La agitación de un fluido con comportamiento preponderantemente viscoso no newtoniano es una operación

que puede resultar bastante compleja dependiendo de la naturaleza reológica del mismo (1)

En el caso de fluidos no newtonianos el proceso de agitación se ve afectado por variables como: el comportamiento del mismo, es decir si los esfuerzos cortantes alrededor del fluido pueden ser representados por un modelo generalizado o si por el contrario requiere de un modelo para fluido viscoelástico (3), el tiempo de mezcla, la temperatura o si se presenta la formación de flóculos. Como ejemplo de industrias que involucran el uso de fluidos no newtonianos se podrían mencionar. La industria de los polímeros, la industria de alimentos y de manufactura de productos para el cuidado personal (1)

1.3. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE MEZCLA

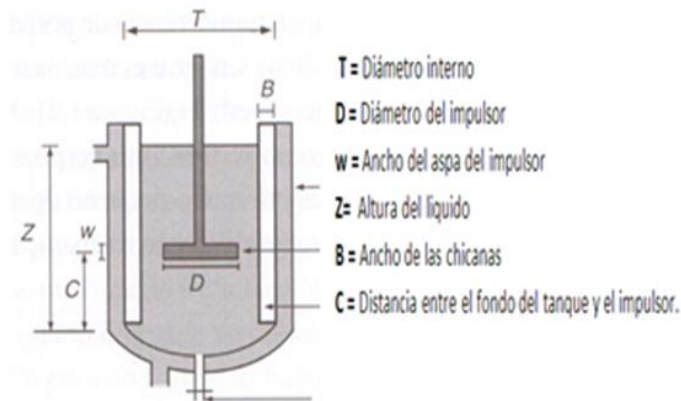
Los procesos que involucran la mezcla de sustancias donde al menos una es un líquido como la dispersión de gases en líquidos, líquidos en líquidos y suspensiones, emplean la misma clase de equipos que consiste de un tanque, deflectores y un agitador (1)

El arreglo interno de estos tres elementos influencia el consumo de energía por parte del agitador. Este último es requerido para transmitir esfuerzos cortantes al interior del fluido y lograr su movimiento. A continuación, se describe de manera general las partes que componen un equipo de agitación.

1.3.1. Tanque. Dentro de los sistemas que promueven la agitación, para líquidos con viscosidades que van de bajas a moderadas, se utilizan tanques cilíndricos los cuales pueden tener chaquetas de calentamiento o serpentines dependiendo de si el proceso requiere de un intercambio de calor (6)

Un sistema de agitación típico es mostrado en la Figura 1.

Figura 1. Sistema de agitación compuesto por tanque, chicanas o baffles, impulsor, tubería de drenaje.



Fuente: (Figura tomada y modificada del libro *Agitação e mistura na industria*, Autores Celso Fernandes, Efraim Cekinski, Jose R.Nhunez, Luis Carlos Urenha) (2)

Dependiendo del tipo de proceso, el fondo del tanque puede presentar distintas formas, ovalada, cónicas, plana, o toriesférica entre otros. Por ejemplo en procesos donde existe la tendencia acumulación de sólidos (1).

La eficiencia del proceso se ve afectada por la relación geométrica del tanque, se conoce que en sistemas de agitación de líquidos la altura del líquido debe tener una relación aproximadamente de $1/3$ en relación al diámetro del tanque (1).

1.3.2 Deflectores o Baffles. Los vórtices producidos por el movimiento del agitador pueden causar clasificación, estratificación y separación del sistema en varias fases. Los deflectores contribuyen a la disminución de la formación de vórtices durante la agitación (2). Estos son placas dispuestas sobre los laterales del tanque que re direccionan el flujo hacia el centro después que el agitador

obliga al flujo a ir en dirección radial. Típicamente la relación del ancho a largo del deflector está en el intervalo de 1/ 2 a 1/10. Existen otros tipos de deflectores como los de fondo y de superficie, pero las más utilizadas son de tipo placa (1)

1.3.3 Agitador. El patrón de flujo es un requerimiento importante en la elección del agitador ya que este puede generar un flujo en dirección radial, axial, o tangencial (8). Uno de los parámetros claves en la selección adecuada del agitador es la viscosidad de la mezcla. Para ilustrar esta situación en la Tabla 1 se muestran varios tipos de agitadores con el intervalo de viscosidad que trabaja cada uno de estos (6)

Tabla 1. Intervalo de viscosidad según el tipo de agitador





Clase Agitador	Intervalo de viscosidad
Aspas rectas o Inclinadas	10^2 a 3×10^4 cP
Helicoidal	3×10^3 a 3×10^5 cP
Ancora	10^2 a 2×10^2 cP
Turbina	1 a 3×10^4 cP
Hélice	1 a 10×10^4 cP

Fuente: (Información tomada de la presentación de clase de operaciones unitarias Facultad de Ingeniería Química Universidad Estadual de Campinas-Sao Paulo Brasil).

Las características geométricas del agitador son una variable importante y depende de las características del fluido, el tamaño del tanque y el régimen de flujo (laminar o turbulento) que requiera el proceso. La literatura menciona las siguientes clases de agitadores para flujo turbulento: impulsor tipo PBT (tiene amplio uso, rango de viscosidad 1 a 100.000 cP), agitador tipo naval (viscosidad de 1 a 3.000 cP), el agitador tipo turbina o rushton (alta viscosidad y fluidos no newtonianos, usado en dispersión de gases y sólidos en líquidos) (1).

Las formas geométricas, rango de viscosidad consumo energético y velocidad angular típica de uso son mostrados en la Tabla 2. Por otro lado, existen agitadores para aplicaciones en flujo laminar como los agitadores tipo ancora helicoidal. Estos se diferencian respecto a los de régimen turbulento en que son utilizados para fluidos muy viscosos de características no newtonianas

Tabla 2. Tipos de agitadores utilizados en operaciones de mezclado y agitación en régimen de flujo turbulento (1).

AGITADOR	IMAGEN AGITADOR	RELACION GEOMETRI	VISCOSIDAD	INT.POTENCIA	ROTA.TIPICA
Aspas Rectas		$W = 1/5 D$	$< 2 \text{ (Pa}^*s)$	0,2 - 2,25 kW	300-1750 RPM
Aspas Inclinas		$W = 1/5 D$	$< 2 \text{ (Pa}^*s)$	0,2 - 2,25 kW	300-1750 RPM
Tipo Naval		$L = 1/4 D; W = 1/5 D$	$< 1000 \text{ (Pa}^*s)$	0,75 - 375 kW	20 a 150 RPM
Tipo Turbina		$\text{Curvatura} = 1.5D$	$< 50 \text{ (Pa}^*s)$	1 - 150 kW	100-350 RPM

1.4. TORQUE

En los procesos de mezcla y agitación, el torque es un factor importante ya que influencia directamente en el costo del equipo. El torque se define como el producto de la fuerza aplicada sobre el fluido a una distancia radial de $2/3$ de la longitud del aspa del agitador medido desde el eje de rotación del agitador. Normalmente, a mayor viscosidad mayor será el torque necesario para mantener el movimiento del agitador a una frecuencia de rotación constante (1).

El torque también puede definirse como una relación entre la velocidad de rotación del agitador (N) y la potencia consumida en el proceso (P).

$$\tau = \frac{P}{2\pi N} \text{ [J]} \quad (1)$$

Donde la potencia está dada [J/s] y N en [s^{-1}]

1.5 CONSUMO DE ENERGÍA

Michelan (2006) menciona que la potencia consumida por el agitador durante el proceso de mezclado no depende únicamente del tipo de agitador y de la velocidad de rotación; este también se ve influenciado por las propiedades físicas del fluido, la forma del tanque, y los soportes adicionales al tanque como son (baffles, serpentín) y la hidrodinámica del flujo.

Nagata (1975) estudió la potencia consumida en un sistema con agitación. Utilizando datos experimentales, el investigador comprobó que un aumento en el largo de las aspas de los agitadores aumentaba el consumo de potencia, verificó que el número de Reynolds es influenciado por la inclinación de las aspas. Este investigador utilizó un método simple para determinar el torque y la potencia, colocando extensores eléctricos en la parte superior del impulsor, estos extensores emitían una señal eléctrica que posteriormente era amplificada y transformada en valores de torque. No obstante, sus resultados fueron poco exactos debido a la poca conveniencia de un dinamómetro de torsión utilizado en el procedimiento experimental.

Por otro lado, Joaquín et al., (2007), determinó una relación para calcular el Número de potencia (N_p) generado por el agitador en régimen turbulento.

$$N_{po} = \frac{P}{\rho N^3 D a^5} \quad (2)$$

Donde ρ es la densidad del fluido en $[\text{kg}/\text{m}^3]$ y Da es el diámetro del agitador $[\text{m}]$. La importancia del número de potencia es que proporciona una medida adimensional de la cantidad de energía que requiere un impulsor para llevar a cabo la agitación y mezcla (1).

1.6 NÚMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds es uno de los números más utilizados e importantes en sistemas de agitación y mezcla. Presenta una relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas actuando sobre un elemento de fluido (2).

El número de Reynolds para un fluido newtoniano en régimen turbulento se define como:

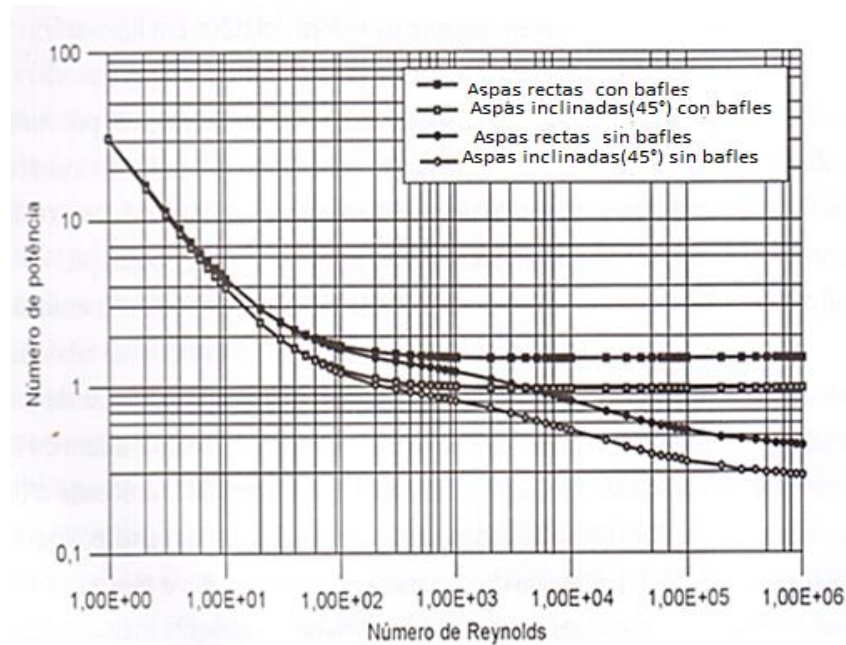
$$N_{Re} = \frac{ND_a\rho}{\mu} \quad (3)$$

Donde μ es la viscosidad dinámica del fluido en $[\text{Pa}\cdot\text{s}]$.

1.7 RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE POTENCIA Y EL NÚMERO DE REYNOLDS.

La curva de potencia versus número de Reynolds representa el consumo de energía requerido para agitar y mezclar un fluido newtoniano teniendo en cuenta las características del agitador (geometría) y del fluido (viscosidad) (1). Una curva típica de número de potencia contra número de Reynolds se muestra a continuación en la Figura 2.

Figura 2. Número de potencia versus Número de Reynolds.



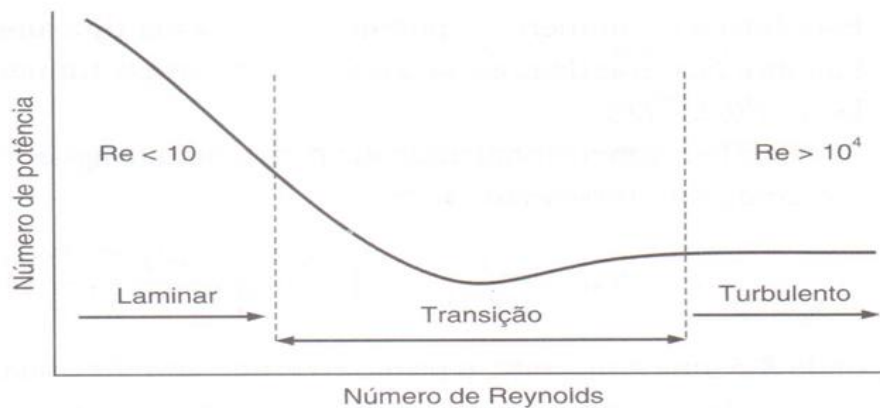
Fuente: Tomada Ref. Celso et al. del libro *Agitação E Mistura Na Industria* Pagina 20 capítulo 1 Autores Joaquim Celso, Cekinski Efraim, Nunhez José Roberto, Urena Luiz Carlos.

De la figura 2 se puede observar que para un agitador de aspas rectas sin bafles el comportamiento del número de potencia en el intervalo de número de Reynolds de 1 a 1×10^2 es muy similar al de aspas rectas con bafles, aspas (45°) con y sin bafles. En el punto en que el Número de Reynolds toma un valor 1×10^2 la curva empieza a mostrar una disminución del número de potencia. El Intervalo $1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$ se puede definir que es la segunda que obtiene menor valor de número de potencia después de la curva de aspas inclinadas (45°) sin bafles.

1.7.1 Curva de potencia en relación al comportamiento de flujo. Para números de Reynolds menores a 10 el número de potencia depende de la viscosidad y es

proporcional a Re^{-1} . Para valores superiores a Re de 10^4 , el comportamiento de flujo es turbulento y el número de potencia es constante e independiente de la viscosidad (1). La zona ubicada entre la región laminar y turbulenta es llamada zona de transición gradual de laminar a turbulento o de turbulento a laminar, como se puede observar en la Figura 3.

Figura 3. Curva de potencia en relación al comportamiento de flujo.

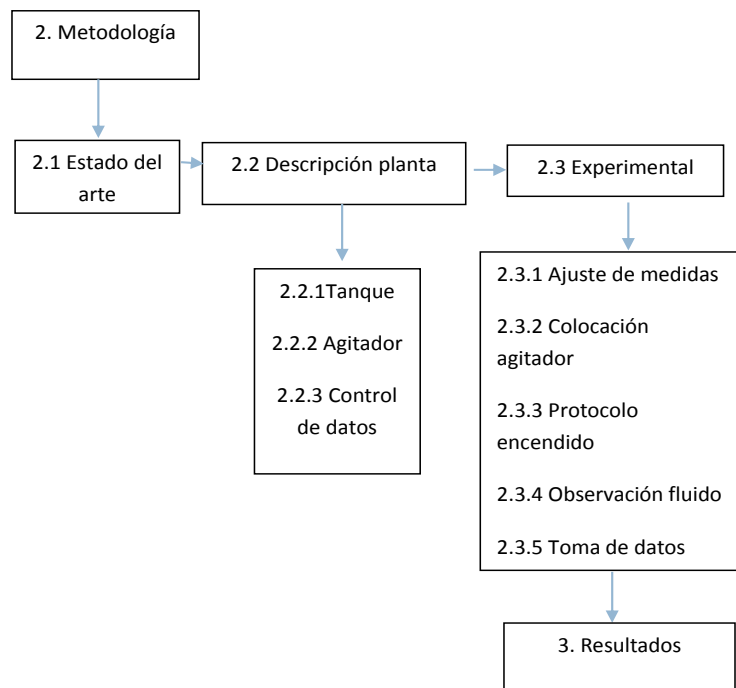


Fuente: Tomada del libro *Agitação E Mistura Na Industria* Pagina 20 capitulo 1 Autores Joaquim Celso ,Cekinski Efraim, Nunhez José Roberto, Ureña Luiz Carlos.

2 METODOLOGÍA

La figura 4, muestra de forma esquemática la metodología empleada para alcanzar los objetivos propuestos.

Figura 4. Esquema de la metodología de trabajo



A continuación se describe en forma detallada la metodología:

2.1 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

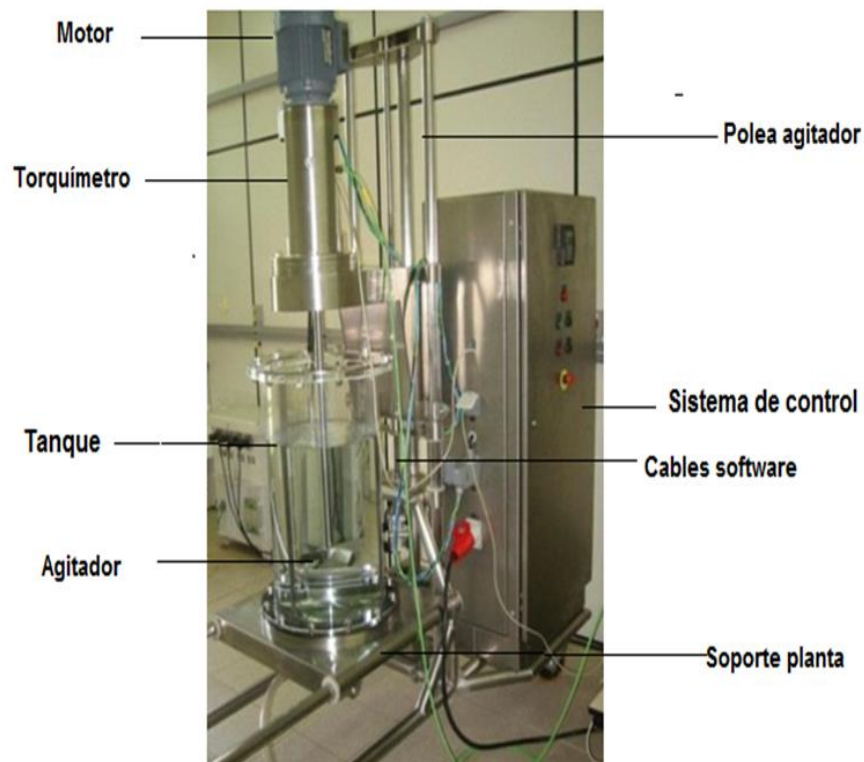
Se realizó una revisión del estado del arte respecto al tema de agitación y mezclado en la industria, utilizando artículos de estudiantes de maestría y doctorado del laboratorio experimental fluido dinámica computacional así como otros libro texto escrito por el profesor José Roberto Nunhez “Agitação e Mistura

na Indústria”(1) . El objetivo de esta revisión bibliográfica fue tener un conocimiento previo del tema, para así llevar a cabo un análisis acertado de datos.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILOTO

La planta piloto mostrada en la Figura 4, está compuesta por un tanque, unos agitadores usados para los experimentos los cuales son intercambiables y un sistema de control y adquisición de datos. Cada uno de estos componentes es descrito a continuación:

Figura 5. Planta piloto de agitación y mezcla Laboratorio de Fluido Dinámica Computacional realizada con el proyecto FAPESP 03/08640-7 Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Estadual de Campinas (Brasil) (9)



2.2.1. Tanque. El tanque de la planta piloto tiene un volumen de 50 l (anexo A) , con baffles y base de forma torisférica. Las principales dimensiones del tanque y del eje que conecta el agitador con el torquimetro son detallados en las Tablas 3 y 4 y en la Figura 6.

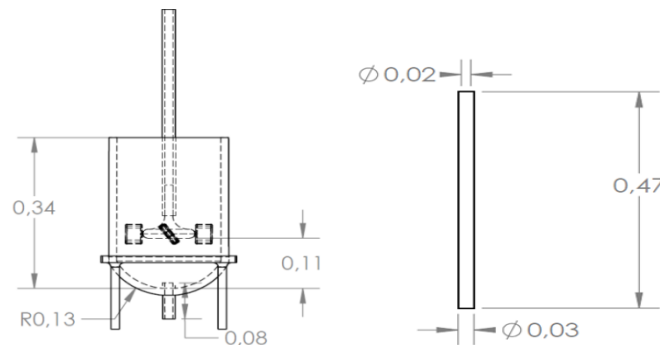
Tabla 3. Especificaciones de las medidas del tanque.

Volumen	50 l
Diámetro	0,34 m
Fondo torisférico	ASME 10%

Tabla 4. Especificaciones de las medidas del eje.

Largo	0,47 m
Diámetro superior	0,02 m
Diámetro inferior	0,03 m

Figura 6. Representación del diseño tanque y el eje con las respectivas medidas de la planta piloto.



2.2.2 Agitador. En este trabajo se usaron 20 tipos de agitadores (anexo A) con referencias, PR30 -PR45 y -PR60 (aspas inclinadas), PR90 (aspas rectas, con ángulo de 90 grados) que se representan con sus respectivas medidas en la Tabla 5. Debe tenerse en cuenta que PR60 , PR30 y PR45 tienen aspas inclinadas, el ángulo de inclinación cambia; es decir el PR60 tiene una inclinación de 60 grados, el PR45 tiene una inclinación de 45 grados respecto a la dirección radial y el PR30 es el más inclinado con un ángulo de 30 grados también respecto a dirección radial.

Tabla 5. Presenta las referencias de los agitadores utilizados para este proyecto, para cada uno su diámetro (Da), en relación al tanque (Da/ T), ancho aspa (W).

Referencia agitador	Da/ T (m)	Da (m)	W (m)	Referencia agitador	Da/ T (m)	Da (m)	W (m)
PR30-01	0.00025	0.095	0.019	PR60-01	0.00025	0.095	0.019
PR30-02	0.00033	0.125	0.025	PR60-02	0.00033	0.125	0.025
PR30-03	0.0004	0.152	0.03	PR60-03	0.0004	0.152	0.03
PR30-04	0.00045	0.171	0.034	PR60-04	0.00045	0.171	0.034
PR30-05	0.00055	0.209	0.042	PR60-05	0.00055	0.209	0.042
PR45-01	0.00025	0.095	0.019	PR90-01	0.00025	0.095	0.019
PR45-02	0.00033	0.125	0.025	PR90-02	0.00033	0.125	0.025
PR45-03	0.0004	0.152	0.03	PR90-03	0.0004	0.152	0.03
PR45-04	0.00045	0.171	0.034	PR90-04	0.00045	0.171	0.034
PR45-05	0.00055	0.209	0.042	PR90-05	0.00055	0.209	0.042

2.2.3 Control y adquisición de datos. Para programar los parámetros de rotación del agitador el software utilizados fueron

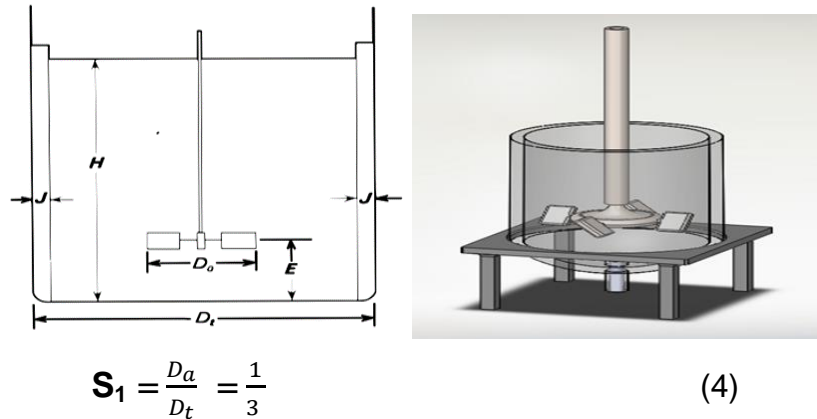
- **MT-MANAGER® da SEW®:** Con MT-MANAGER® da SEW® se miden los parámetros eléctricos que se obtienen de la potencia y el convertidor de frecuencia (transductor).
- **MOVITOOLS® 4.10 da SEW®:** MOVITOOLS® 4.10 da SEW® es un software mediante el cual se recogen datos generados por el torquimetro como velocidad de rotación, torque y potencia
- **TORQUE® 1.0 da MAGTROL®:** TORQUE® 1.0 da MAGTROL® se encuentra ubicado en una caja entre el eje del impulsor y el motor, cuya función es tomar los datos que son llevados a la planilla de Excel.
- **MICROSOFT® EXCEL 2013:** El software TORQUE® registra en cada fracción de segundo muchos datos, con MICROSOFT® EXCEL 2013 lo que se hizo fue facilitar el tratamiento de esta gran cantidad de datos programando las variables de las ecuaciones Numero de potencia (**Ecuación 2**) y Reynolds (**Ecuación 3**).

2.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.3.1. Verificación de las medidas del tanque respecto al volumen. En el tanque se realizaron varias mediciones de llenado con el objetivo de verificar el volumen principalmente en el fondo (toriesférico). Los resultados se muestran en el anexo B.

2.3.2 Colocación del agitador que se va utilizar a una distancia de 1/3 de la altura del tanque. En el numeral 3.3.1 se tenían verificadas las medidas precisas del tanque, el siguiente paso fue calcular la distancia a 1/3 en relación a la altura del tanque. El objetivo de este procedimiento es conseguir que los agitadores estén puestos a la altura de 1/3 que relaciona el diámetro del agitador respecto al diámetro del tanque (Ecuación 4) ya que esto influye en el proceso de agitación como se observa en la figura 7.

Figura 7. Imágenes de la colocación del agitador a 1/3 respecto a la altura total del tanque



Para realizar este procedimiento se toma la medida de la altura total del tanque y se multiplica por 1/3, desde la parte inferior del tanque se mide hacia la parte superior, restando la diferencia de la altura total, con un marcador se subrayó esa medida desde la parte exterior del tanque y el agitador se colocó a esta altura.

2.3.3 Protocolo encendido del tanque. Para el encendido correcto del equipo se siguió una serie de pasos, como se muestra en el anexo C. El encender el equipo adecuadamente es de gran influencia para mejorar la calidad de los datos obtenidos, ya que el funcionamiento del equipo debe ser simultáneo al del inicio del software.

2.3.4 Observación del comportamiento del fluido respecto al movimiento del agitador. Siguiendo el orden de pasos anteriores, ajuste de las medidas del tanque, colocación del agitador seleccionado a 1/3 de la altura total del tanque, el siguiente paso fue poner el equipo en funcionamiento, se pasó a analizar el comportamiento del fluido. Se observó de forma experimental el movimiento del fluido dentro del tanque durante el proceso de agitación, los cambios de velocidad, consumo de energía, el análisis de obtención de datos. Se observaba el comportamiento de las variables con la ecuación de Reynolds, el torque, dependiendo del impulsor y del movimiento. Si estos resultados mostraban que se desviaban del comportamiento esperado teóricamente, el equipo se detenía, debido a que los datos obtenidos presentarían errores

2.3.5 Toma y tratamiento de datos generados en el software. Para obtener estos datos, en el protocolo de encendido del tanque simultáneamente se nombraron parámetros Parámetros como rotación máxima, rotación inicial, intervalo de rotación y tiempo. Rotación máxima, intervalo de rotación con intervalos de velocidad de cada 5 segundos, que se mostraron en el código del programa (anexo D).

Los datos tomados son el resultado de la lectura de MT-MANAGER MOVITOOLS® 4.10, TORQUE® 1.0 da MAGTROL.

2.3.5.1 Tratamiento de datos en Excel: Los datos obtenidos del software se obtienen en un formato .md que permite copiar al block de notas de Word como se muestra en el anexo E.

Del block de notas se copiaron los datos que se midieron en el intervalo de tiempo (velocidad de rotación, torque, potencia) y se pasaron a una plantilla en Excel en donde se colocan las ecuaciones de Reynolds y Número de potencia. En la plantilla de Excel se tuvieron en cuenta parámetros fijos como : diámetro del agitador ,viscosidad, densidad, y parámetros medidos como : torque, potencia, velocidad de rotación

Una imagen de los resultados obtenidos se muestra en la plantilla del anexo F. Con los resultados obtenidos se organizaron datos, en tablas y en gráficas.

3 .RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados presentados en este trabajo son escritos en términos de números adimensionales, con el fin de facilitar la comparación de resultados obtenidos con equipos similares pero de diferentes dimensiones y regímenes de flujo.

3.1 RESULTADOS DE NP EN RELACIÓN A LA GEOMETRÍA DEL AGITADOR:

Se presenta en la Tabla 6 los valores de consumo de potencia según la referencia de cada agitador (relación geométrica) usando la Ecuación (2). Estos datos fueron obtenidos para números de Reynolds mayores de 50,000 (régimen turbulento) donde el número de potencia se hace aproximadamente constante.

Tabla 6. Resultados de N_p obtenidos en el laboratorio para cada referencia de agitador

Referencia agitador	Da/ T (m)	Da (m)	W (m)	N_p	Referencia agitador	Da/ T (m)	Da (m)	W (m)	N_p
PR30-01	0.00025	0.095	0.019	0,88	PR60-01	0.00025	0.095	0.019	2,13
PR30-02	0.00033	0.125	0.025	0,66	PR60-02	0.00033	0.125	0.025	1,87
PR30-03	0.0004	0.152	0.03	0,55	PR60-03	0.0004	0.152	0.03	1,87
PR30-04	0.00045	0.171	0.034	0,53	PR60-04	0.00045	0.171	0.034	1,87
PR30-05	0.00055	0.209	0.042	0,54	PR60-05	0.00055	0.209	0.042	2,15
PR45-01	0.00025	0.095	0.019	1,51	PR90-01	0.00025	0.095	0.019	2,58
PR45-02	0.00033	0.125	0.025	1,42	PR90-02	0.00033	0.125	0.025	2,82
PR45-03	0.0004	0.152	0.03	1,2	PR90-03	0.0004	0.152	0.03	2,99
PR45-04	0.00045	0.171	0.034	1,14	PR90-04	0.00045	0.171	0.034	3,13
PR45-05	0.00055	0.209	0.042	1,27	PR90-05	0.00055	0.209	0.042	3,2

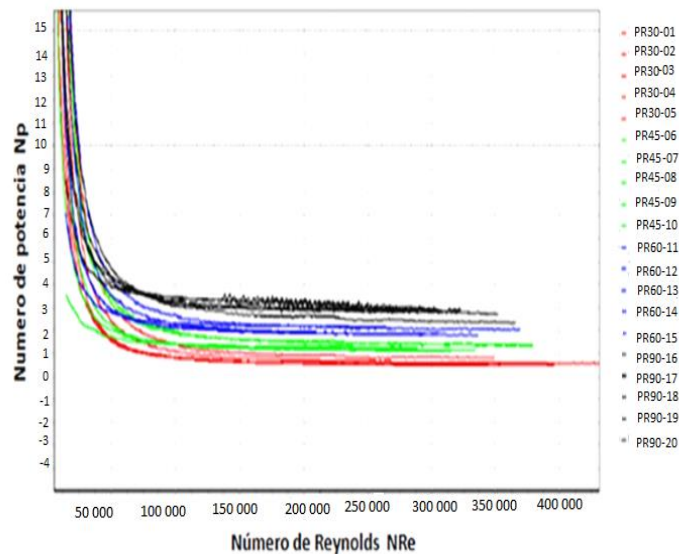
Los datos presentados en la Tabla 6 muestran que las relaciones geométricas entre el diámetro del agitador (D_a) y el W (ancho de un aspa de agitador) para cada referencia de agitador. De esta se puede observar que el agitador PR30-01 (aspas inclinadas en mayor grado), el PR45-01 (aspas inclinadas), PR60-01

(aspas inclinadas y PR90-01 (aspas rectas) tienen en común el diámetro del agitador (D_a) y el ancho del aspa (W). No obstante, cada uno de estos generó un número de potencia diferente. Teniendo en cuenta que la única diferencia entre estos agitadores es el ángulo de inclinación de las aspás, se puede concluir que esta característica tiene un efecto importante en el Número de potencia (gasto energético) mostrando que a mayor inclinación de las aspás mayor será dicho número.

3.2 NÚMERO DE POTENCIA EN FUNCION DEL NÚMERO DE REYNOLDS PARA LAS 20 REFERENCIAS DE AGITADORES UTILIZADOS

El comportamiento del número de potencia respecto al número de Reynolds permite determinar el régimen de flujo de menor gasto energético.

Figura 8. Comportamiento grafico Número de Reynolds versus número de potencia para los 20 agitadores utilizados en el proyecto

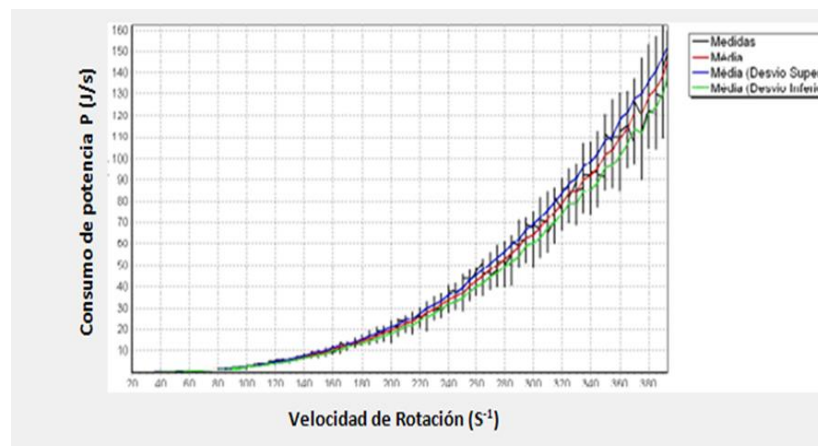


En la figura 8 se presentan los resultados del número de potencia versus Número de Reynolds para los 20 agitadores utilizados para este proyecto. Según la literatura (Figura 2) el comportamiento del N_p de potencia versus Número de Reynolds Figura 2 tanto los agitadores con aspas rectas y aspas inclinadas presentan una zona con una alta dependencia del Número de Re en especial a números de Reynolds entre laminar y la zona turbulenta; es decir para Reynolds menores a 10000. Posteriormente, en la zona de turbulencia, el Número de potencia tiene su más bajo valor manteniéndose aproximadamente constante.

Por otro, lado en comparación con el procedimiento experimental para los 20 agitadores que presentan variaciones geométricas (aspas rectas o inclinadas), el agitador que presento un mayor $N_p= 3,2$ fue PR90-05 (aspas rectas), el de menor $N_p= 0,53$ de referencia PR30-04 (aspas inclinadas).

3.3 ANÁLISIS DEL CONSUMO DE POTENCIA RESPECTO A LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN PARA AGITADOR CON REFERENCIA PR45-10 (ASPAS INCLINADAS)

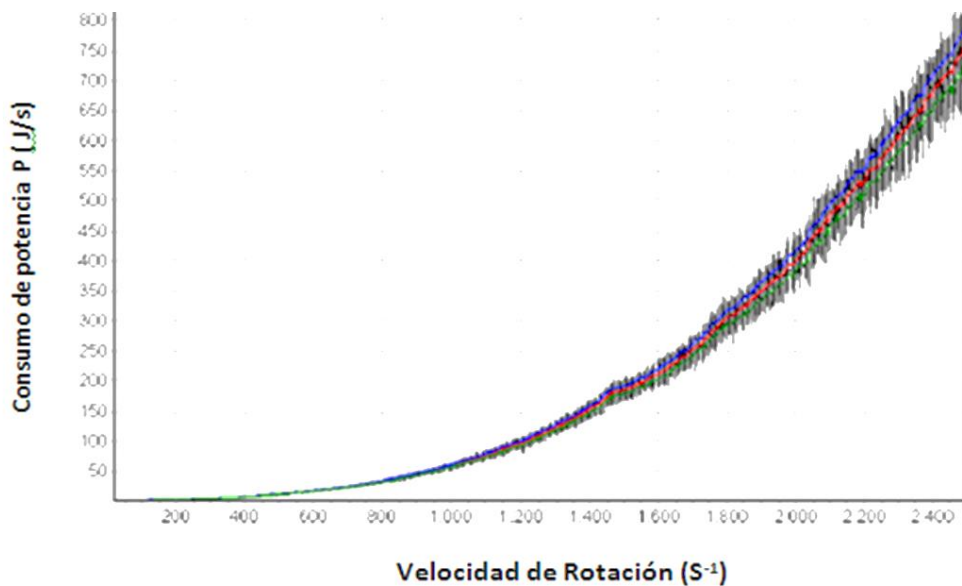
Figura 9. Grafica de Consumo de potencia (J/s) versus rotación (S-1) para agitador con referencia PR45-10 (aspas inclinadas).



Las figuras 9 y 10 permiten observar el valor del consumo de potencia versus la velocidad de rotación del agitador. Como era de esperarse, el consumo energético para una velocidad de rotación fija es mayor para aspas rectas que para aspas inclinadas, esto se debe a la formación del ángulo de las aspas que influye en el corte del fluido. Adicionalmente, es claro de los datos graficados que el consumo de potencia se incrementa en forma potencial con el incremento de la velocidad de rotación del agitador para el caso de fluidos con comportamiento newtoniano.

3.4 ANÁLISIS GRAFICO DE CONSUMO DE POTENCIA VERSUS VELOCIDAD DE ROTACIÓN PARA UN AGITADOR CON REFERENCIA PR90-01 (ASPAS RECTAS).

Figura 10. Grafica de Consumo de potencia (J/s) versus rotación (S^{-1}) para agitador con referencia PR90-01 (aspas rectas)



La figura 10 muestra los datos para un agitador PR90-01 tipo aspas rectas, para una planta piloto de 50 L, se puede observar que el agitador presentó una rotación máxima de $2500 s^{-1}$

En el intervalo de rotación entre (0-800) s⁻¹ el consumo de energía producido por el proceso fue menor de 50 J/s. De 1200 s⁻¹ hasta 2400 s⁻¹ el consumo de energía tuvo un incremento en diferentes intervalos como se muestra a continuación en la tabla 7

Tabla 7. Analisis de intervalos de rotación agitador con referencia PR90-01 (aspas rectas)

Intervalo de rotación S ⁻¹	Consumo Potencia (J/s)	Incremento (J/s)	Delta de Incremento
1200 -1400	100-150	50	0
1400 -1600	150-210	60	10
1600-1800	210-300	90	30
1800-2000	300-399	99	9
2000-2200	399-500	101	2
2200-2400	500-675	125	24
2400-2500	675-800	125	0

El intervalo de rotación con más alto consumo de energía se presentó en el intervalo (1600 a 1800) s⁻¹ con un incremento de 30 s⁻¹ y los intervalos que no presentaron consumo de energía fue el intervalo inicial (1200 a 1400) s⁻¹ y el intervalo final de rotación (2400 a 2500) s⁻¹.

4. CONCLUSIONES

El presente estudio permitió el cálculo de consumo de energía para agitadores de aspas rectas e inclinadas obteniendo de manera satisfactoria datos experimentales de la curva de Número de potencia versus Número de Reynolds cercanos a los datos teóricos en régimen turbulento.

Los datos experimentales mostraron que el factor que incide de una mayor forma en el incremento del consumo energético es el ángulo de inclinación de las aspas.

Los resultados experimentales muestran que el consumo de energía en el proceso de agitación y mezclado para un fluido Newtoniano se reduce cuando el régimen de flujo es turbulento; zona donde alcanza el menor valor del número de potencia.

Se observó un incremento de la potencia consumida por el agitador, cuando se disminuye el diámetro del agitador y el ancho de las aspas.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio similar que pueda abarcar un espectro reológico mayor. Es decir que se incluyan fluidos no newtonianos cuyo comportamiento reológico pueda ser descrito por modelos generalizados y también fluidos viscoelásticos.

BIBLIOGRAFÍA

CLASE OPERACIONES UNITARIAS. Facultad de Ingeniería Química Universidad Estadual de Campinas-Sao Paulo Brasil). Sao Paulo Brasil.

J. BALDYGA , J.RBOURNE. Turbulent Mixing and Chemical Reactions, Wiley NewYork; 1999.

JOAQUIM JR , CEKINSKI , NUNHEZ , URENHA. Agitação e mistura na indústria. LTC Rio de Janeiro; 2007.

L- CFD – LABORATORIO DE FLUIDODINAMICA COMPUTACIONAL. Esquema de funcionamiento ,Tanque Experimental Planta piloto de agitación y mezcla ,realizada con el proyecto FAPESP 03/08640-7 Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Estadual de Campinas Brasil.

L. K. Wang , Y.-T. Hung , N. K. Shamma. Chapter 3 mixing , Handbook of Environmental Engineering, Physicochemical Treatment Processes.

OLDSHUE JY. Fluid Mixing Technology, New York: Chemical Engineering. 1st ed. New York: McGraw-Hill; 1983.

P.G. Smith. Introduction to Food Process Engineering, Food Science Texts Series, Chapter 14 Mixing and Separation.

P.G. Smith. Introduction to Food Process Engineering, Food Science Texts Series, Chapter 14 Mixing and Separation.

SAIA. Determinação experimental de consumo de potência de agitadores para líquidos de alta viscosidade. Faculdade de Engenharia de Química, Universidade Estadual de Campinas, Relatório final.; 2010.

TORRES GA. Determinação Experimental do Consumo de Potência Para Impelidores Âncora e Helicoidal Usando Fluidos Pseudoplásticos de Alta Viscosidade. Universidad Estadual de Campinas São Paulo Brasil; 2013.

ANEXOS

Anexo A. Imágenes De Equipos Planta Piloto



Agitadores del laboratorio rushton aspás rectas y aspás inclinadas experimental



Tanque planta piloto en el proceso de agitación

Anexo B. Ajuste de medidas del Tanque

Verificación de medidas del tanque

Prueba

Fecha: Septiembre 9 de 2013

Hora inicio: 9:30 am

Temperatura: 23 °C

Volumen medido en la base toriesferica del tanque:

#llenado	Volume Tanque (ml)	Volumen(ml)
1	V1	2750
2	V2	2750
3	V3	2500
4	V4	1000
5	V5	1000
6	V6	250
	Volumen Total	10250

Volumen parte superior del tanque:

#llenado	h (cm)	Volumen adicio (ml)	Volumen total (ml)
0	0	10250	
1	0,7	750	11000
2	4	4000	15000
3	6,2	2500	17500
4	8,3	2500	20000
5	10,4	2500	22500
6	12,6	2500	25000
7	14,6	2500	27500
8	16,8	2500	30000
9	18,9	2500	32500
10	21,0	2500	35000
11	23,2	2500	37500
12	25,4	2500	40000
13	27,7	2500	42500
14	29,8	2500	45000
15	31,9	2500	47500
16	34,0	2500	50000

Anexo C. Esquema Funcionamiento Planta

Tanque: (9)

Para iniciar el tanque se debe seguir las etapas abajo mencionadas.

1. Activar las tres conexiones encontradas en una caja ubicada en la pared del laboratorio.
2. Utilizar la llave para abrir la puerta de la caja de control
3. Dentro de la caja de control accionar los encendedores del equipo de izquierda a derecha. (para apagar se hace en sentido inverso)
4. Encender el estabilizador y el computador.
5. Abrir los programas MT-Manager y Torque 1.0

.

Torque 1.0:

El programa torque debe ser usado de la siguiente forma:

1. El programa se abre , se da click en configuración , después en la opción Test
2. Este programa debe iniciarse simultáneamente con MT-MANAGER

MT- manager:

1. Inicio, dar click en botón “ update”
2. Click en cancelar
3. Seleccionar el archivo que aparece en la planilla en parte de arriba de la franja , dar click en compiler
4. Aparece una nueva franja que contiene una variable llamada “ variable” y otra llamada “ Variable Watch “
5. En Variable Watch ,Abrir “ File” , “open” , “variable .ipc”

Para cambiar los parámetros, como rotación máxima, rotación inicial, rotación paso y tiempo en el código del programa:

1. Seleccionar el icono “Variable “y dar click en Compile and Load File, en la parte superior de la ventana.
2. Dar click en compare with invertir
3. En la puerta del sistema de control hay un botón verde, oprima este botón para iniciar el funcionamiento completo del equipo.

Inicio de las pruebas

1. Se ajusta el torquimetro en el botón “ Tare “ , este se encuentra localizado atrás del display
2. Click en “start” en TORQUE 1.0
3. En “ Variable Watch” digitar el valor del ciclo 1.0 y dar enter
4. El TORQUE 1.0 registra los valores automáticamente, creando un archivo que guarda los datos en “mdf”, que puede ser copiado en el block de notas.
5. MT- MANAGER ,registra los valores de torque y potencia para cada rotación

Para apagar el equipo:

1. Click en “ detener” en TORQUE 1.0
2. Click en “detener” en MT-MANAGER
3. Apaga la caja en la pared del laboratorio y el encendido de la caja del sistema de control de izquierda a derecha.

Anexo D. Código del Software

```
Sub geral()

'Verificação das velocidades

Dim inicio As Integer
Dim fim As Integer
Dim intervalo As Integer
Dim i As Integer
Dim rot As Integer
Dim j As Integer
Dim ultimo As Integer
Dim soma_tor As Double
Dim soma_pot As Double
Dim k As Long
Dim cont As Integer

inicio = Range("Q3")
fim = Range("Q4")
intervalo = Range("Q5")

rot = inicio
i = 4

Do
    Range("G" & i) = rot
    rot = rot + intervalo
    i = i + 1
Loop Until rot > fim

'Cálculos das médias de torque e potência

ultimo = (fim / intervalo) + 3

For j = 4 To ultimo
    soma_tor = 0
    soma_pot = 0
    cont = 0
    For k = 4 To 56000
        If Range("B" & k) = Range("G" & j) Then
            soma_tor = soma_tor + Range("C" & k)
            soma_pot = soma_pot + Range("D" & k)
            cont = cont + 1
        End If
    Next
    If cont <> 0 Then
```

Anexo E. Datos Block de Notas

padraechicana1: Bloc de notas					
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	
Speed [RPM]	Torque [mN.m]	Watts Out	Time	Direction	
5.000	161.800 0.085	0.100	0.000		
5.000	170.400 0.089	0.160	0.000		
5.000	166.100 0.087	0.241	0.000		
0.000	164.200 0.000	0.331	0.000		
0.000	160.700 0.000	0.371	0.000		
0.000	169.800 0.000	0.441	0.000		
0.000	168.500 0.000	0.511	0.000		
0.000	168.500 0.000	0.571	0.000		
0.000	172.700 0.000	0.631	0.000		
5.000	172.700 0.090	0.691	0.000		
5.000	165.600 0.087	0.761	0.000		
5.000	169.900 0.089	0.821	0.000		
5.000	164.600 0.086	0.892	0.000		
5.000	165.100 0.086	0.952	0.000		
5.000	164.200 0.086	1.022	0.000		
5.000	152.400 0.080	1.082	0.000		
----	----	----	----		

Anexo F. Plantilla Tratamiento de Datos en Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	Tratamiento de datos v.1.2														
2		#####						Resumo							
3		Colar dados do log gerado pelo torquimetro aqui embaixo						Impelidor	PBT - B03	Diâmetro	0.0038	Calcular			
4							Velocidade [RPM	Torque Prom	Potencia Pro		Reynolds	NPo	Viscosidad	Densid	
5		Speed [RPM]	Torque [mN,m	Watts Out	Time		5	42390.06601	#####		65.3993103	5.8E+21	0.0011	998.2	
91		5000000.000	168100000.000	0.088	12107000.000		435	43453.22157	2.72767E+12		5689.74	1.4E+08	0.0011	998.2	
92		5000000.000	167500000.000	0.088	12207000.000		440	43661.75532	2.75902E+12		5755.13931	1.4E+08	0.0011	998.2	
93		5000000.000	166700000.000	0.087	12307000.000		445	47170.54188	2.96339E+12		5820.53862	1.5E+08	0.0011	998.2	
94		5000000.000	154300000.000	0.081	12428000.000		450	45179.48238	2.85756E+12		5885.93793	1.4E+08	0.0011	998.2	
95		5000000.000	161100000.000	0.084	12478000.000		455	48201.42127	3.03841E+12		5951.33724	1.4E+08	0.0011	998.2	
96		5000000.000	151000000.000	0.079	12538000.000		460	47509.23376	3.00043E+12		6016.73655	1.3E+08	0.0011	998.2	
97		5000000.000	153200000.000	0.080	12628000.000		465	47509.23376	3.00043E+12		6082.13586	1.3E+08	0.0011	998.2	
98		5000000.000	153200000.000	0.080	12678000.000		470	49886.32359	3.15835E+12		6147.53517	1.3E+08	0.0011	998.2	
99		5000000.000	145900000.000	0.076	12728000.000		475	45320.1408	2.85756E+12		6212.93448	1.2E+08	0.0011	998.2	
100		5000000.000	160600000.000	0.084	12778000.000		480	50650.06689	3.20046E+12		6278.33379	1.3E+08	0.0011	998.2	
101		5000000.000	143700000.000	0.075	13419000.000		485	50579.67069	3.20046E+12		6343.7331	1.2E+08	0.0011	998.2	
102		5000000.000	143900000.000	0.075	13519000.000		490	45490.09133	2.85756E+12		6409.13241	1.1E+08	0.0011	998.2	
103		5000000.000	160000000.000	0.084	14030000.000		495	46270.91298	2.92725E+12		6474.53172	1E+08	0.0011	998.2	
104		5000000.000	157300000.000	0.082	14110000.000		500	50474.44253	3.15835E+12		6539.93103	1.1E+08	0.0011	998.2	
105		5000000.000	144200000.000	0.076	14230000.000		505	47852.82454	3.00043E+12		6605.33034	1E+08	0.0011	998.2	
106		5000000.000	152100000.000	0.080	14270000.000		510	45949.5872	2.89198E+12		6670.72966	9.5E+07	0.0011	998.2	
107		5000000.000	158400000.000	0.083	14330000.000		515	46182.83383	2.89198E+12		6736.12897	9.2E+07	0.0011	998.2	
108		5000000.000	157600000.000	0.083	14400000.000		520	49012.89301	3.07737E+12		6801.52828	9.5E+07	0.0011	998.2	
109		5000000.000	148500000.000	0.078	14851000.000		525	45067.58274	2.82394E+12		6866.92759	8.5E+07	0.0011	998.2	
110		5000000.000	161500000.000	0.085	14921000.000		530	47664.79772	3.00043E+12		6932.32669	8.7E+07	0.0011	998.2	
111		5000000.000	152700000.000	0.080	14991000.000		535	47293.14238	2.96339E+12		6997.72621	8.4E+07	0.0011	998.2	
112		5000000.000	153900000.000	0.081	15071000.000		540	44326.52017	2.7911E+12		7063.12552	7.7E+07	0.0011	998.2	
113		5000000.000	164200000.000	0.086	15142000.000		545	47293.14238	2.96339E+12		7128.52483	8E+07	0.0011	998.2	
114		5000000.000	153900000.000	0.081	15192000.000		550	45461.67778	1.7913E+12		7193.92414	7.5E+07	0.0011	998.2	