



# **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA**

***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE PRUEBA DE  
JARRAS PARA LA TRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES”***

**TESIS DE GRADO**

**Previa la Obtención del Título de:**

**INGENIERO QUIMICO**

**VICTOR EDUARDO SUAREZ OQUENDO  
DIEGO FERNANDO TRUJILLO VILLA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2011**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecemos en primer lugar a Dios por iluminar nuestras vidas y ser nuestra constante fuerza para llegar a culminar con felicidad esta anhelada meta.*

*A nuestros Padres y Hermanos que con su apoyo y amor infinito nos inculcaron el deseo de superación y progreso*

*A la Escuela de Ingeniería Química, a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial nuestro reconocimiento al Ingeniero Hannibal Brito y a la Doctora Gina Álvarez, por habernos brindado su mano amiga, quienes con sus conocimientos, han encaminado este trabajo de investigación. Nos supieron dar un criterio correcto, acertado y oportuno, para la realización de esta tesis de grado*

*Y finalmente agradecimiento muy especial a nuestros amigos por sus respaldos y alientos en la culminación de esta tesis.*

# DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de tesis a mis padres, Alonso y Blanca quienes con infinito amor y paciencia me han encaminado en el rumbo correcto, a mis queridos hermanos quienes han sido ejemplo de superación y amistad, a sobrinos quienes con sus risas me han enseñando la alegría de la vida

Víctor Eduardo

Yo no hice nada el de arriba lo hizo por mí. La presente tesis la dedico de manera especial a mi madre que desde los cielos estará guiándome siempre por el camino del bien, a mi padre que con su ejemplo de constancia y dedicación supo sacar encaminarme, a mis hermanos (Adriana, Javier, Anita) que siempre me brindaron una mano amiga. Una dedicatoria especial a la familia Cortez Yáñez de manera especial a Sofi que me ha sabido entender y ser mi fuente de fortaleza. A todos ustedes muchas gracias.

Diego Trujillo

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dra. Yolanda Díaz

.....

.....

**DECANO FAC. CIENCIAS**

Ing. Mario Villacres

.....

.....

**DIRECTOR ESC. ING. QUIMICA**

Ing. Hannibal Brito

.....

.....

**DIRECTOR DE TESIS**

Dra. Gina Álvarez

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Dr. Gerardo León

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Tec. Carlos Rodríguez

.....

.....

**DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACION**

**“Nosotros, VICTOR EDUARDO SUAREZ  
OQUENDO Y DIEGO FERNANDO  
TRUJILLO VILLA, somos responsables de  
las ideas, doctrinas, resultados y propuestas  
expuestas en el presente trabajo de  
investigación y el patrimonio intelectual de la  
Memoria de Grado pertenece a la ESCUELA  
SUPERIOR POLITECNICA DE  
CHIMBORAZO”**

## INDICE DE ABREVIATURAS

mμ =	Milimicras
mg/L =	Miligramos por litro
pH =	Potencial de Hidrógeno
nm =	Nanómetros
mV =	Milivoltios
C =	Grados centígrados
s =	Segundos
% =	Porcentaje
RPM =	Revoluciones por minuto
m/s =	Metros por segundo
Pa.s =	Pascal por segundo
NTU =	Unidades Nefelométricas
N <sub>Re</sub> =	Número de Reynolds
cm =	Centímetros
mL =	Mililitro
h =	Hora
mm =	Milímetro
min =	Minuto
Pa=	Pascal

# INDICE DE CONTENIDO

Pp:

CARÁTULA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

HOJA DE FIRMAS

HOJA DE RESPONSABILIDAD

INDICE DE ABREVIATURAS

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INDICE DE ECUACIONES

INDICE DE ANEXOS

RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
ANTECEDENTES.....	v
JUSTIFICACIÓN.....	vii
OBJETIVOS.....	ix

## CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. AGUA RESIDUAL.....	1
1.1.1. PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA.....	1
1.1.1.1. TURBIEDAD .....	2
1.1.1.2. COLOR .....	2

1.1.1.3.	MATERIAL COLOIDAL .....	3
1.1.1.4.	CARGA ELÉCTRICA Y DOBLE CAPA. ....	4
1.1.1.5.	PROPIEDADES DE LOS COLOIDES.....	5
1.1.1.6.	ESTABILIDAD Y DESESTABILIZACIÓN DE LOS COLOIDES .....	6
1.2.	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	7
1.2.1.	COAGULACION.....	7
1.2.1.1.	COAGULANTES UTILIZADOS .....	8
1.2.1.2.	ETAPAS O FASES DE LA COAGULACIÓN.....	11
1.2.1.3.	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN. ....	12
1.2.2.	FLOCULACION.....	14
1.2.2.1.	MECÁNICA DEL PROCESO .....	14
1.3.	PRUEBAS DE TRATABILIDAD .....	16
1.3.1.	PRUEBA DE JARRAS .....	16
1.3.1.1.	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS.....	17
1.3.1.2.	SISTEMA DE DOSIFICACIÓN.....	18
1.3.1.3.	SISTEMA DE AGITACIÓN.....	20
1.3.1.4.	CARACTERÍSTICAS DE AGITADORES .....	20
1.3.1.5.	DESCRIPCIÓN DE LAS JARRAS .....	21
1.3.1.6.	ILUMINACIÓN.....	23
1.3.2.	PRECAUCIONES Y LIMITACIONES.....	24
1.3.3.	OBTENCIÓN DE RESULTADOS.....	25
1.4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACION .....	29
1.4.1.	AGITACION .....	29
1.4.1.1.	FUNCIONES DE LA AGITACIÓN .....	30
1.4.1.2.	RESEÑA HISTÓRICA DE LOS AGITADORES: .....	32
1.4.1.3.	EQUIPO DE AGITACIÓN. ....	33
1.4.1.4.	TIPOS DE RODETES .....	37
1.4.1.5.	CLASES DE AGITADORES.....	41
1.4.1.6.	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AGITACION.....	46
1.4.1.7.	TRAYECTORIAS DEL FLUJO EN LA AGITACION .....	48
1.4.1.8.	FORMAS DE EVITAR REMOLINOS: .....	49
<b>CAPITULO II</b>		
2.	PARTE EXPERIMENTAL.....	51
2.1.	MÉTODOS.....	52

	Pp:
2.1.1.	INDUCTIVO .....52
2.1.2.	DEDUCTIVO .....52
2.1.3.	EXPERIMENTAL .....52
2.2.	TÉCNICAS .....54
2.2.1.	DETERMINACION DE LA RECOLECCION DE MUESTRAS.....54
2.2.2.	DETERMINACION DE LA DENSIDAD DEL AGUA RESIDUAL .....55
2.2.3.	DETERMINACION DE LA TEMPERATURA.....56
2.2.4.	DETERMINACION DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO pH .....57
2.2.5.	DETERMINACION DE LA TURBIEDAD .....58
2.3.	DATOS EXPERIMENTALES .....59
2.3.1.	Diagnóstico .....59
2.4.	DATOS EXPERIMENTALES .....62
2.4.1.	PARAMETROS INICIALES DEL AGUA RESIDUAL.....62
2.4.2.	DETERMINACIONES EN EL AGUA.....62
2.5.	DATOS ADICIONALES.....63

### **CAPITULO III**

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE JARRAS PARA LA TRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES. .... 64
3.1.	DISEÑO DEL EQUIPO .....64
3.1.1.	CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA JARRA .....64
3.1.2.	ALTURA DEL TANQUE AGITADOR .....64
3.1.3.	LONGITUD DEL BRAZO .....65
3.1.4.	ESPEJOR DEL RODETE .....65
3.1.5.	DIÁMETRO DEL RODETE .....65
3.1.6.	DISTANCIA ENTRE EL FONDO DEL TANQUE Y EL RODETE ....66
3.1.7.	ALTO DE LA PALETA.....66
3.1.8.	CALCULO DE LA POTENCIA PARA ACCIONAR EL RODETE.....66
3.1.8.1.	CALCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS.....66
3.1.8.2.	CALCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR.....67
3.2.	RESULTADOS.....68
3.2.1.	PARAMETROS FISICOS DEL EQUIPO.....68
3.2.2.	DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS...69
3.2.3.	CONCENTRACION DE SULFATO DE ALUMINIO.....70
3.2.4.	DOSIFICACION DE VOLUMEN DE SULFATO DE ALUMINIO .....71
3.2.5.	VARIACION DE pH DEL AGUA RESIDUAL.....72

	Pp:
3.3.	ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....73
3.4.	REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO .....75
3.4.1.	RECURSOS HUMANOS.....75
3.4.2.	RECURSOS MATERIALES .....75
3.4.3.	RECURSO TOTALES.....75
<b>CAPITULO IV</b>	
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 77
4.1.	CONCLUSIONES .....77
4.2.	RECOMENDACIONES .....78

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pp:</b>
1.1.1.3-1	Material coloidal.....	4
1.1.4.1-1	Doble Capa de Una Partícula coloidal.....	4
1.2.1.2-1	Etapas de la Coagulación.....	11
1.3.1-1	Equipo de Jarras.....	16
1.3.1.6-1	Base iluminada.....	23
1.3.3-1	Dosificación óptima.....	29
1.4.1.3-1	Equipo de agitación.....	33
1.4.1.4-1	Tipos de rodetes.....	41
1.4.1.6-1	Dimensiones estándares.....	46
1.4.1.7-1	Trayectorias del flujo en la agitación.....	48
3.2.2-1	Dimensionamiento del equipo.....	69
3.2.3-1	Concentración de sulfato de aluminio.....	70
3.2.4-1	Dosificación de volumen de sulfato de aluminio.....	71
3.2.5-1	Variación de pH del agua residual.....	72

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Pp:</b>
1.3.1.3-1	Tipo de paleta.....	20
1.3.3-1	Índice de Willcomb.....	26
1.4.1.5-1	Agitador de hélice.....	41
1.4.1.5-2	Agitador con palas planas inclinadas.....	42
1.4.1.5-3	Agitador impulsor.....	42
1.4.1.5-4	Agitador helicoidal.....	43
1.4.1.5-5	Agitador de palas planas.....	43
1.4.1.5-6	Agitador de rueda dentada.....	44
1.4.1.5-7	Agitador tipo ancla.....	44
1.4.1.5-8	Agitador de palas cruzadas.....	45
1.4.1.5-9	Agitador de rejilla.....	45
1.4.1.5-10	Agitador de placa plana.....	46
1.4.1.6-1	Dimensiones de los sistemas de agitación.....	47
2-1	Plan de Muestreo.....	51
2.2.1- 1	Recolección de muestras.....	54
2.2.2- 1	Determinación de la densidad del agua residual.....	55
2.2.3- 1	Determinación de la temperatura.....	56
2.2.4- 1	Determinación de pH.....	57
2.2.5- 1	Determinación de Turbidez.....	58
2.3.1-1	Análisis de la calidad del agua del río Chibunga.....	61
2.4.1-1	Parámetros iniciales del agua residual.....	62

		<b>Pp:</b>
2.4.2-1	Variación en la concentración de sulfato de aluminio.....	62
2.4.2-2	Variación en el volumen de sulfato de aluminio.....	62
2.4.2-3	Variación en el pH.....	63
2.5 – 1	Datos adicionales características del agua residual.....	63
2.5-2	Factor de seguridad.....	63
3.2.1-1	Parámetros físicos del equipo.....	68
3.2.2-1	Concentración de sulfato de aluminio.....	70
3.2.3-1	Dosificación de volumen de sulfato de aluminio.....	71
3.2.4-1	Variación de pH del agua residual.....	72
3.4.1-1	Recursos humanos.....	75
3.4.2-1	Recursos materiales.....	75
3.4.3-1	Recursos totales.....	75

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación</b>		<b>Pp:</b>
1.3.1.5-1	Volumen Corregido para Jarras.....	22
1.3.1.5-2	Volumen Real de las jarras.....	22
1.3.1.5-3	Altura de las jarras.....	22
1.3.1.5-4	Altura del Líquido.....	23
1.4.1.3-1	Longitud del agitador.....	34
1.4.1.3-2	Espesor del rodete.....	34
1.4.1.3-3	Diámetro del rodete.....	34
1.4.1.3-4	Espacio entre el fondo del tanque y el rodete.....	35
1.4.1.3-5	Alto de la Paleta.....	35
1.4.1.3-6	Número de Reynolds.....	36
1.4.1.3-7	Número de Potencia.....	36
1.4.1.3-8	Potencia Corregida.....	36

## RESUMEN

Se ha diseñado y construido un Equipo de Prueba de Jarras (sistema de minireactores con agitación continua) en el laboratorio de Química Industrial de la ESPOCH, para la enseñanza de procesos de coagulación y floculación en el tratamiento de aguas residuales. Se realizaron cálculos ingenieriles para el dimensionamiento del equipo. En su construcción se empleó acero inoxidable AISI 304 de 3 mm. Se utilizó como coagulante, sulfato de aluminio en diferentes concentraciones. Fueron utilizadas técnicas gravimétricas para determinación de turbiedad, pH, etc. Las dimensiones del equipo son: Longitud del brazo de la paleta 6,54cm, alto de la paleta 1,31cm, espesor del rodete 0,654 cm, diámetro del rodete 8,72cm, es accionado por un motor de 0,024 Hp. Éste realiza procesos de floculación y coagulación para poder reducir la turbiedad del agua, las pruebas se realizaron en tres fases: mezcla rápida a 300 R.P.M. durante 1 minuto aplicándose solución de coagulante; luego se realiza la mezcla lenta a 40 R.P.M. por 5 minutos y finalmente las jarras reposan durante 20 minutos. La turbiedad inicial del agua fue de 106,3 NTU. En la validación del equipo se varió concentración de coagulante, dosificación de éste y pH. Con la aplicación de 10 mL. de solución de sulfato de aluminio al 3% y a un pH de 7 se reduce el 67% la turbiedad inicial. El equipo funciona con un porcentaje de error del 2% y se recomienda la realización de prácticas para la tratabilidad de aguas residuales en los laboratorios de Química Industrial.

## SUMMARY

A pitcher Test Equipment (mini-reactor system with continuous agitation) has been designed and constructed at the Industrial chemistry Lab of the ESPOCH, for the coagulation and flocculation process teaching in the residual water treatment. The engineering calculi for the equipment measuring were carried out. In its construction 3mm – stainless steel. AISI 340 was used. Aluminum sulfate in different concentrations was used as coagulant. Gravimetric techniques for turbidity, pH, etc. determination were used. The equipment measurements are: 6.54cm paddle arm length. 1.31 cm paddle height, 0.654 band pulley and 8.72 cm band pulley diameter; it is driven by a 0.024- Hp motor. It carries out flocculation and coagulation process to be able to reduce water turbidity; the tests were carried out in three phases: rapid mixture at 300 RPM during a minute applying the coagulant solution; the slow mixture is performed at 40 RPM for 5 minutes and finally the pitches stay for 20 minutes. The initial water turbidity was 160.3 NTU. In the equipment assessment the coagulation the concentration, its dosage and pH varied. With the application of 10 mL aluminum sulfate solution at 3% and 7 pH the initial turbidity is reduced by 67%. The equipment functions with an error percentage of 2%. It is recommended to carry out practices for residual water treatment at the Industrial Chemistry Labs.

## INTRODUCCIÓN

Las diversas actividades agrícolas, ganaderas, industriales y recreacionales del ser humano han traído como consecuencia la contaminación de las aguas superficiales con sustancias químicas y microbiológicas, además del deterioro de sus características estéticas.

Para hacer frente a este problema, es necesario someter al agua a una serie de operaciones o procesos unitarios, a fin de purificarla para que pueda ser reutilizada.

El presente trabajo se basa en pruebas experimentales para el diseño y construcción de un equipo de jarras que sirve como modelo para los tratamientos de coagulación y floculación.

Las muestras se recolectaron del río Chibunga debajo del puente de acceso principal al parque lineal Ecológico en las coordenadas geográficas (sistema de referencia que utiliza las dos coordenadas angulares latitud (norte o sur) y longitud (este u oeste) para determinar los ángulos laterales de la superficie terrestre) 1°41'09" latitud sur y 78°39'10" longitud Oeste, debido a que presta muchas ventajas como su fácil accesibilidad para el muestreo. Las pruebas se realizaron modificando algunos factores (pH, dosificación, velocidad de agitación y concentración de sulfato de aluminio) para determinar los valores óptimos para la mayor remoción de turbiedad posible.

El siguiente escrito consta de cuatro capítulos, en el primer capítulo se hace una revisión bibliográfica sobre la contaminación de las aguas, los procesos de tratamiento, equipo de prueba de jarras y su dimensionamiento. El segundo

capítulo hace referencia a los métodos y técnicas utilizados en el diseño y validación del equipo (método experimental). En el tercer capítulo se realizan los cálculos ingenieriles para el dimensionamiento del equipo y se muestran los resultados de la validación del mismo. Por último en el cuarto capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones.

## ANTECEDENTES

En una planta de purificación el agua circula por una serie de unidades que, mediante un proceso continuo, someten el afluente o agua cruda a una de serie procesos en la cual el objetivo principal es remover los sólidos suspendidos y eliminación de bacterias, cabe resaltar que en el momento de eliminar sólidos suspendidos también existe la remoción de una gran cantidad de carga orgánica.

Los procesos principales para mejorar la calidad del agua comprenden los siguientes procesos, sedimentación, aireación, coagulación – floculación, decantación, filtración, desinfección y con esto lograremos que el agua esté en condiciones optimas para que el hombre pueda aprovecharla nuevamente.

El agua cruda posee materia particulada en suspensión tiene una gama de tamaños de  $10^{-7}$  a  $10^{-1}$ mm. Los coloides de arcilla inorgánicos oscilan en tamaño de  $10^{-6}$  a  $10^{-3}$ mm. Y forman el componente mayoritario de las partículas en suspensión, el componente minoritario constituyen los microorganismos y los coloides orgánicos. La mayoría de las partículas en suspensión tiene una carga negativa, esto significa que se repelen unas a otras y así se mantienen en suspensión, las partículas que se mantienen en suspensión se dicen que son estables, En el proceso de coagulación, este aporta iones con carga positiva, cambia la carga electrostática y de este modo quedan desestabilizadas.

La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería.

La prueba de jarras es un procedimiento que se utiliza comúnmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Este método determina las condiciones de operación óptimas generalmente para la clarificación del agua.

La prueba de jarras permite ajustar el pH, hacer variaciones en la dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidades de mezclado y recrear a pequeña escala lo que se podría ver en un ejemplo de tamaño industrial.

Actualmente en el laboratorio de Química Industrial de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo existen equipos construidos en tesis anteriores para el tratamiento de aguas residuales, sin embargo no se cuenta con el equipo de prueba de jarras el mismo que vendrá a completar el equipamiento básico para las operaciones de tratabilidad de aguas. Conscientes de esta realidad se ha propuesto el diseño y construcción de un equipo de jarras para pruebas de tratabilidad en el río Chibunga en el sector del Parque Ecológico en las coordenadas geográficas  $1^{\circ}41'09''\text{S}$  y  $78^{\circ}39'10''\text{O}$  a una altura de 2740 msnm con la finalidad de que este equipo sirva para el aprendizaje de los procesos de floculación y coagulación.

## JUSTIFICACIÓN

En la micro cuenca del río Chibunga se desarrolla una gran diversidad de actividades tanto agrícola-ganadera, domesticas, industriales y recreacionales debido a lo cual el río toma todo clase de desechos producto de las actividades mencionadas ocasionando grande y graves alteraciones tanto ambientales como para la salud.

La problemática también radica en la falta de conciencia de la comunidad en general ya que son actores directos de la contaminación del río al utilizar a este como un cuerpo receptor de las actividades a desarrollarse en su entorno.

Estos problemas tienen repercusiones, no solo para los recursos naturales sino para todos los moradores y ciudadanía en general, por lo cual el realizar el diseño y construcción del equipo de jarras permite establecer los valores de pH, dosificación y concentración de coagulante óptimos para que la reducción de turbiedad sea la más eficiente posible

Además, el equipo es de mucha ayuda para los estudiantes de la Facultad de Ciencias, que de una u otra forma consiguen experimentar y poder determinar la concentración adecuada de floculante para un agua residual específica.

La realización de esta tesis es de gran importancia ya que en toda provincia de Chimborazo ningún laboratorio cuenta con un equipo para la tratabilidad de aguas residuales como lo es el equipo de jarras.

La formación profesional como ingenieros químicos comprende dentro de la malla curricular la formación científico académica en áreas tan importantes como protección del ambiente incluidos los diferentes tratamientos del agua de esta forma se logra el desarrollo de profesionales con consciencia ambiental, de ahí la necesidad de la construcción de este equipo que será una herramienta importante en la formación académica de la Facultad de Ciencias, con su implementación en el laboratorio de Química Industrial.

La elaboración de este equipo permitió poner en práctica los conocimientos y destrezas adquiridos durante nuestra vida estudiantil, de ahí su importancia, por ser una herramienta de fácil comprensión para el estudio de tratamientos de aguas residuales.

Dada la situación actual de contaminación del río Chibunga es necesario contar con equipos que sirvan para mejorar la calidad del agua, de esta manera se logra mejor la calidad de vida de los moradores adyacentes al río.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Realizar el diseño y construcción de un equipo de prueba de jarras para la tratabilidad de aguas residuales.

### **ESPECÍFICOS**

- Determinar la turbidez inicial del río Chibunga.
- Identificar las variables que intervienen en los procesos de coagulación y floculación.
- Determinar la potencia necesaria para el sistema de agitación
- Realizar el dimensionamiento de los agitadores para el equipo de jarras.
- Determinar los valores óptimos de las variables para la remoción de turbiedad del agua del río Chibunga en el sector del parque Ecológico.

# CAPITULO I

## MARCO TEORICO

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. AGUA RESIDUAL**

“El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

A las aguas residuales también se les llama aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín cloaca, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno”<sup>1</sup>

#### **1.1.1. PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA**

“Las sustancias que más nos interesan en el proceso de la coagulación son la turbiedad y el color en forma de partículas muy pequeñas o coloides, material que no puede ser eliminado mediante un proceso de sedimentación simple.

---

<sup>1</sup> Agua Residual, [http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas\\_negras](http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_negras)

#### **1.1.1.1. TURBIEDAD**

Los contaminantes causantes de turbiedad en el agua son las partículas en suspensión, tales como arcilla, minerales, sedimento, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos. Los tamaños de las partículas varían desde partículas coloidales hasta partículas más grandes.

La arcilla es quizás la causa más común de turbiedad en las aguas. Comúnmente entendemos por arcilla un material natural, terroso, de gránulos muy finos, que se vuelve plástico cuando se mezcla con cierta cantidad de agua. Varios análisis de arcilla han demostrado que ésta se compone principalmente de sílice, aluminio y agua, frecuentemente con cantidades apreciables de hierro, álcalis y tierra alcalina.

#### **1.1.1.2. COLOR**

La mayoría de los investigadores opina que el color orgánico en el agua es de naturaleza coloidal. Algunos autores sugieren sin embargo, que se encuentra en solución verdadera. Black y Christman demostraron que los filtros de membrana comerciales, con poros de 3,5  $\mu$  retenían 91% del color original mientras que los poros de 10  $\mu$  retenían sólo el 13%. Esto indica que el tamaño de las partículas de color varía entre 3,5 y 10  $\mu$ , y este rango de tamaño se encuentra en el límite entre dispersión coloidal y solución verdadera.

Los principales constituyentes de color orgánico natural en el agua, de acuerdo con el esquema usado para compuestos orgánicos del suelo son los ácidos fúlvicos, himatomelánicos y húmicos, conocidos en su conjunto como

sustancias húmicas. La relación de color al peso no es directa puesto que a pH 8 una solución de 1 mg/L de ácidos húmicos tiene un color de 26,5, mientras que una solución de 1 mg/L de ácidos fúlvicos tiene un color de 2,8, casi diez veces menor.

Las sustancias húmicas están compuestas por moléculas aromáticas de alto peso molecular que muestran características polianiónicas en soluciones neutras o alcalinas. Por medio de estudios de degradación oxidativa se lograron aislar e identificar siete diferentes compuestos fenólicos comunes a los húmicos de la madera y del agua

#### **1.1.1.3. MATERIAL COLOIDAL**

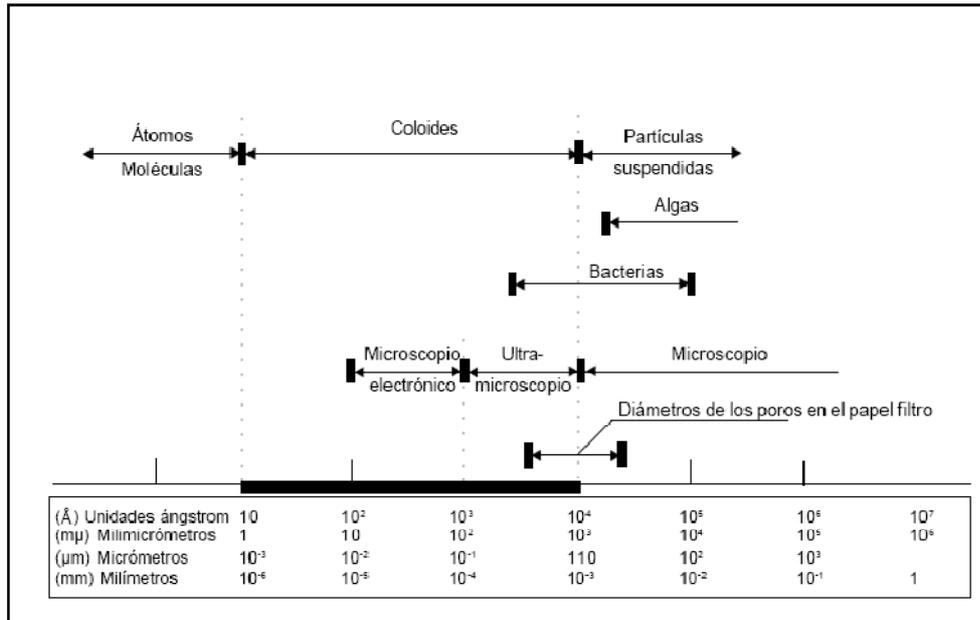
Las partículas coloidales se caracterizan por tener una gran superficie específica, es decir, una gran relación entre el área superficial y la masa. No hay límites definidos de tamaño para las partículas coloidales pero por lo general se considera que tienen una dimensión entre 1 y 1,000  $\mu\text{m}$  aproximadamente

Los coloides entonces tienen un tamaño intermedio entre las partículas en solución verdadera y las partículas en suspensión. Los límites enumerados en la Figura son aproximados, ya que el tamaño y la naturaleza del material son los que determinan si la partícula es coloidal.

Existen varios términos para distinguir los tipos de sistemas coloidales. En el tratamiento de agua, los más importantes son los hidrofílicos e hidrofóbicos.<sup>2</sup>

---

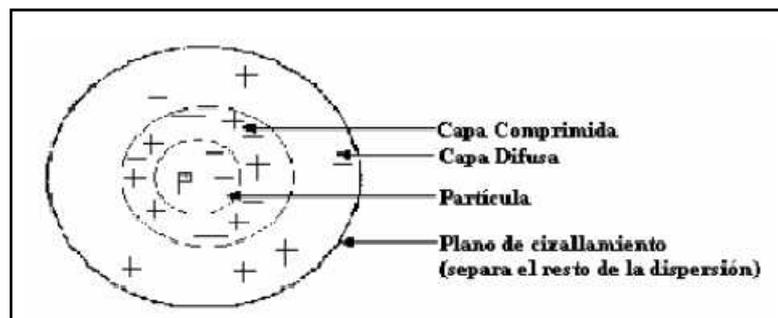
<sup>2</sup> Características físicas del agua,  
[http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulos\\_fluoreciencia/calaguas\\_cap21.pdf](http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap21.pdf)



**Fig. 1.1.1.3-1 Material coloidal**

#### 1.1.1.4. CARGA ELÉCTRICA Y DOBLE CAPA.

“Dentro del Agua Superficial, las partículas coloidales, son las causantes de la turbiedad y del color por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de estas partículas; estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situado sobre su superficie. Estas cargas llamadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos.



**Fig. 1.1.4.1-1 Doble Capa de Una Partícula coloidal**

Los iones que se adhieren fuertemente a la partícula y se desplazan con ella, forman la capa adherida o comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa, por lo tanto hay un gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado Potencial Zeta.

#### **1.1.1.5. PROPIEDADES DE LOS COLOIDES**

Los coloides pueden estudiarse bajo una serie de propiedades. Las principales se presentan a continuación:

Propiedades cinéticas:

- Movimiento Browniano: movimiento constante e irregular de los coloides.
- Difusión: dispersión por alta energía cinética. Responde a la ley de Fick.
- Presión Osmótica: Presión hidrostática que iguala dos medios (agua y sistema coloidal). El paso de agua iguala las concentraciones en ambos medios separados por una membrana semipermeable.

Propiedades ópticas:

- Dispersión de la luz (efecto de Tyndall - Faraday): La dispersión de la luz es proporcional al tamaño de las partículas.
- Opalescencia: Las soluciones coloidales son incoloras generalmente. Sin embargo algunas pueden ser coloreadas. Esto depende de la diseminación de la luz y a la adsorción selectiva bajo cierta longitud de onda.

Propiedades de Superficie:

La superficie específica de los coloides en general es muy alta ya que las partículas son muy pequeñas. Esto permite que tengan una gran capacidad de adsorción de sustancias.

Propiedades electrocinéticas:

En este sentido se dice que los coloides en general tienen carga eléctrica y por tanto pueden ser afectados por campos eléctricos. Estas cargas pueden explicarse por la presencia de imperfecciones en la superficie de la estructura reticular. Puede también existir ionización y por tanto la superficie de los coloides puede ionizarse (los grupos funcionales probables de sufrir ionización son: -OH, -COOH, -OPO<sub>3</sub>H<sub>2</sub> y -SH) y por último puede haber adsorción preferencial de iones en la superficie de los coloides o bien haber ligandos de coordinación.

A bajos pH una carga positiva superficial prevalece. A altos pH prevalece la negativa y a pH intermedios podría haber un valor cero.”<sup>3</sup>

#### **1.1.1.6. ESTABILIDAD Y DESESTABILIZACIÓN DE LOS COLOIDES**

“Los coloides son normalmente estables en solución. En general priman los factores estabilizantes sobre los desestabilizantes. Entre los factores estabilizantes se cuentan a todas las fuerzas o fenómenos que generan repulsión entre ellos y por tanto, las fuerzas electrostáticas y la hidratación son favorables. Las fuerzas de atracción, en cambio, cumplen un papel opuesto y desestabilizan. Entre ellas la gravedad, el movimiento Browniano y las fuerzas

---

<sup>3</sup> Coloides, [http://www.scribd.com/doc/25943804/Coloides\\_Soluciones-y-Emulsiones](http://www.scribd.com/doc/25943804/Coloides_Soluciones-y-Emulsiones)

de Van der Waals. Obviamente algunos fenómenos afectan el sistema mucho más que otros. Por ejemplo la influencia de la gravedad es despreciable.

La estabilidad de una dispersión coloidal está relacionada con la teoría de la interacción energética entre las partículas como una función de su distancia. Además, las fuerzas electrostáticas de repulsión entre los coloides, pueden actuar las fuerzas de Van der Waals, que son fuerzas de atracción originadas por acción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas. Las fuerzas de Van der Waals son independientes de la carga neta de los coloides y no varían con el pH o con otras características de la fase acuosa, pero sólo actúan a distancias muy pequeñas. Al acercarse dos partículas la fuerza de repulsión aumenta para mantenerlas separadas. Si se acercan lo suficiente y sobrepasan la barrera de energía, entonces la fuerza de atracción de Van der Waals predominará y las partículas podrán unirse. Cuando se obtiene esta condición se dice que el coloide se ha desestabilizado.”<sup>4</sup>

## **1.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

### **1.2.1. COAGULACION**

“La coagulación y la floculación son métodos que se emplean para remover de las aguas residuales la materia coloidal y la suspendida (tamaño de 1 nm a 0,1 nm). La estabilidad de la materia suspendida se debe a la repulsión entre partículas inducida por el alto potencial zeta (-15 a - 20 mv). Esta materia no

---

<sup>4</sup> Desestabilización de Coloides ,  
[http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3938/4/BVCI0003303\\_4.pdf](http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3938/4/BVCI0003303_4.pdf)

sedimenta fácilmente y no puede ser removida por métodos físicos convencionales.

Durante la coagulación se desestabilizan los coloides debido a que disminuye el potencial zeta de las partículas mediante la adición de coagulantes. Esta desestabilización se produce por el contacto que se establece entre las partículas suspendidas (coloidales) y los microflóculos de carga positiva de fierro o de aluminio. El punto óptimo para la coagulación es cuando el potencial zeta alcanza su más bajo nivel, o punto isoeléctrico, que es cuando las fuerzas de Van der Waals prevalecen.

#### **1.2.1.1. COAGULANTES UTILIZADOS**

Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy adsorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

El proceso más clásico para la desestabilización de las partículas coloidales se basa en el uso de reactivos químicos a los que se denominan coagulantes.

Estos pueden ser:

a) Basados en Aluminio:

- Sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$
- Polihidroxiclорuro de aluminio  $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$
- Aluminato sódico  $NaAlO_2$

b) Basados en Hierro:

- Sulfato férrico
- Cloruro férrico
- Sulfato ferroso
- c) Basados en Calcio:
  - Cloruro cálcico
  - Hidróxido cálcico
- d) Basados en magnesio:
  - Cloruro de magnesio

Una vez que las partículas coloidales han sido desestabilizadas, ya pueden unirse o agregarse. También se usan reactivos químicos constituidos por polímeros. Dependiendo del monómero de partida y de su carga pueden ser:

- a) No iónicos:
  - Poliacrilamidas
  - Polímeros del óxido de etileno
- b) Aniónicos:
  - Copolímero de acrilamida-acrilato
  - Poliacrilamida parcialmente hidrolizada
  - Polisulfónicos
- c) Catiónicos:
  - Polietilenamina
  - Polimetacrilato
  - Copolímeros de acrilamida con grupos amonio cuaternarios

Estos polímeros suelen emplearse conjuntamente con los coagulantes, a excepción de casos tales como el espesamiento de fangos orgánicos en los que se usan polielectrolitos catiónicos, sin otra combinación.

Como se observa en la clasificación anterior, entre los coagulantes más comúnmente utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc se encuentran: sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso, polielectrolitos (Como ayudantes de floculación). Siendo los más utilizados las sales de aluminio y de hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones.

La floculación hace que se formen conglomerados de partículas coloidales de mayor tamaño cuando se establecen puentes químicos entre ellas; de esta manera forman estructuras fácilmente sedimentables que pueden removerse mediante sedimentación, flotación o filtración.

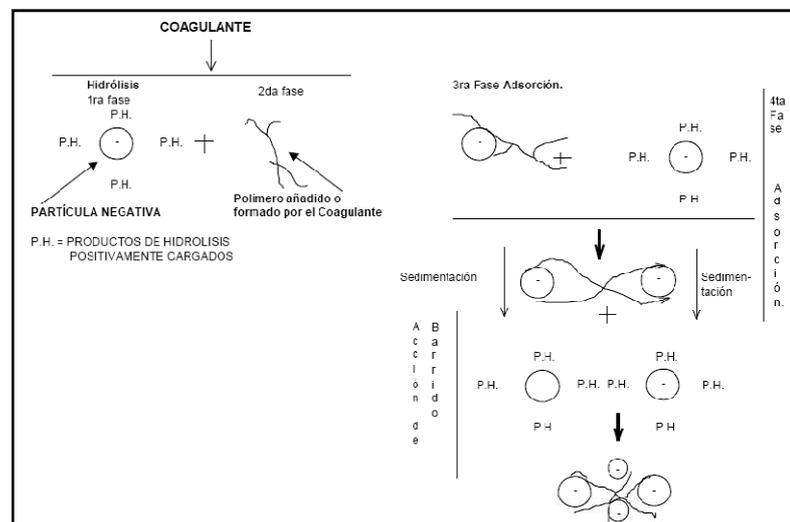
Cuando a la muestra que se va a sedimentar se adiciona un coagulante en una dosis menor a la óptima, no se forman flóculos o, si se forman, son tan pequeños que le dan a la muestra una apariencia turbia. Si es al contrario, o sea, si el coagulante que se le añade es excesivo, se forma un floculo muy denso pero frágil y esponjoso que se puede romper al agitar, lo que dificulta la sedimentación. Un buen floculo es de apariencia pesada y compacta, además

de que inmediatamente después de haberle agregado el coagulante y agitarlo comienza a sedimentarse”<sup>5</sup>

### 1.2.1.2. ETAPAS O FASES DE LA COAGULACIÓN

“El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas.

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido”<sup>6</sup>



**Fig. 1.2.1.2-1 Etapas de la Coagulación**

<sup>5</sup> MARTÍNEZ, Sergio. Parámetros de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Universidad Autónoma Metropolitana, México 1999 pp: 14

<sup>6</sup> Etapas de la coagulación, <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/02554-coagulacion.pdf>

### **1.2.1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN.**

#### **Influencia del pH**

“El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto la dosis requerida es alta.

Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6,5 a 8,0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5,5 a 8,5 unidades.

#### **Influencia de la Temperatura del Agua**

La variación de 1C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

## **Influencia de la Dosis del Coagulante**

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escasa, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.

Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.

La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

## **Influencia de Mezcla**

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica

y de corta duración (60 seg., máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microfloculos.

La mezcla rápida se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos.”<sup>7</sup>

## **1.2.2. FLOCULACION**

“La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los floculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos floculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar

### **1.2.2.1. MECÁNICA DEL PROCESO**

Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte:

- Floculación pericinética o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.

---

<sup>7</sup> Factores que influyen en la coagulación,  
<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/02554-coagulacion.pdf>

- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento.
- Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas, se precisa de la floculación pericinetica para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microflóculo inicial.

Recién cuando este alcanza el tamaño de un micrómetro empieza a actuar la floculación ortocinética, promoviendo un desarrollo mayor del microflóculo. Este mecanismo ha sido estudiado en lugares donde la temperatura baja alrededor de cero grados, rango dentro del cual el movimiento browniano se anula y, por consiguiente, también lo hace la floculación pericinetica. En este caso, se comprobó que la floculación ortocinética es totalmente ineficiente y no tiene importancia alguna sobre partículas tan pequeñas.

Camp y Stein fueron los primeros en determinar que para fines prácticos, era necesario añadirle turbulencia al proceso y generalizaron la ecuación de Smoluchowski para incluir las condiciones de flujo turbulento.”<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Floculación,  
<http://www.digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/1511/1/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf>

### 1.3. PRUEBAS DE TRATABILIDAD

#### 1.3.1. PRUEBA DE JARRAS

“Es un método de simulación de los procesos de Coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes. G. W. Fuller, J. Cairol y E. Theirault son precursores de la prueba de jarras como modelo predictivo.

Probablemente el primer ensayo de prueba de jarras fue realizado por W. L. Langelier en la Universidad de California en 1918. Las primeras aplicaciones y el desarrollo inicial corresponden a John Baylis, Bartow y Petterson, Fleming, Nolte y Kromer.

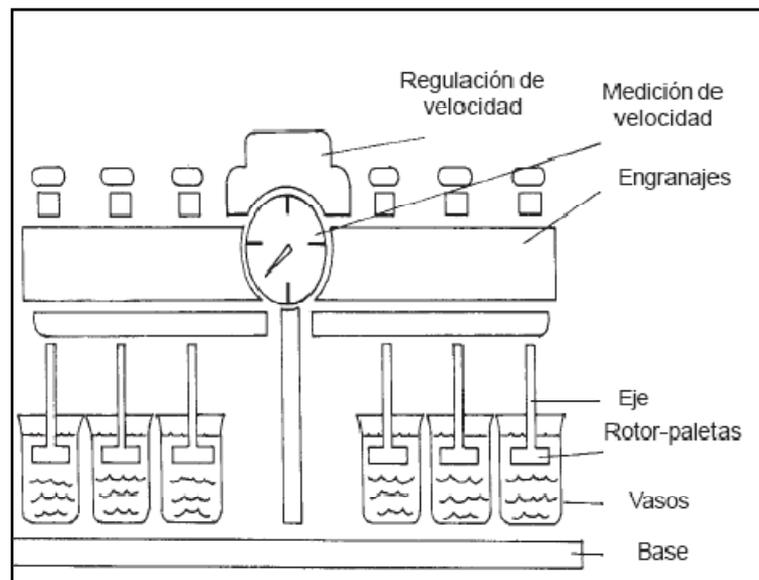


Fig. 1.3.1-1 Equipo de Jarras

Aportes tecnológicos posteriores fueron realizados por Tolman, Niekel, Gekershausen, Langelier–Ludwig, Cross et al., C. Henry, Smith, Straub, Elliassen, Norcon, Cox y otros, que perfeccionan continuamente el ensayo y lo aplican con éxito a diversas condiciones de coagulación de las aguas. Estos autores orientaron principalmente el modelo de prueba de jarras hacia la determinación y optimización de las variables químicas del proceso de coagulación.

#### **1.3.1.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS**

Para efectuar los ensayos de simulación de procesos, existen algunas variaciones en el equipo tradicional, que son descritas en la literatura. Aunque no es un requisito indispensable, estas pruebas, en la mayor parte de los casos, son realizadas en equipos comerciales y uno de los más conocidos es el equipo de velocidad variable fabricado por la Phipps & Bird, para el cual se han desarrollado los ábacos que relacionan el gradiente de velocidad con la velocidad de rotación de las paletas

Normalmente estos equipos constan de los siguientes elementos:

- Un agitador mecánico provisto con tres a seis paletas, capaz de operar a velocidades variables (de 0 a 100 revoluciones por minuto; actualmente pueden obtenerse equipos que operan con velocidades de hasta 400 revoluciones por minuto).
- Un iluminador de flóculos localizado en la base del agitador del equipo.
- Vasos de precipitado de 2 L. de capacidad, de cristal refractario

### **1.3.1.2. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN**

Las unidades de agitación múltiple usadas en las pruebas de coagulación deben ser equipadas con las facilidades necesarias para la adición de coagulantes químicos en forma rápida y simultánea a cada vaso o jarra. Este equipo es importante cuando una sola persona realiza la prueba.

La mayoría de los equipos comerciales olvidan este detalle, que es la causa de muchos resultados erróneos. Los estudios muestran que las diferencias que existen en el tiempo de adición de los reactivos químicos de las soluciones a los diferentes vasos pueden afectar significativamente los resultados, particularmente cuando se usan ayudantes de coagulación. También puede alterar los resultados la velocidad de adición, que debe ser lo más rápida posible.

La práctica usual de adicionar coagulantes a cada vaso mediante el uso de una pipeta graduada no puede ser desechada en forma radical, pero la velocidad de adición del reactivo químico es muy lenta y pueden presentarse diferencias considerables en el tiempo de adición y en la rapidez requerida para avanzar con la dosificación.

Una manera simple de evitar estas dificultades es medir las cantidades de coagulante que se van a aplicar a cada jarra con una pipeta y verterlo en vasitos, de los cuales se succiona mediante jeringas hipodérmicas desechables, provistas de su aguja. Se llena cada jeringa con la dosis respectiva, se retira la aguja y se la coloca delante la jarra correspondiente, en

un soporte de madera especialmente acondicionado que se instala en el puente superior del equipo, en el cual se han horadado de 6 a 12 agujeros en los que se colocan las jeringas hipodérmicas.

Al momento de aplicar el coagulante, con el equipo funcionando y programado con los tiempos y gradientes adecuados, se aplasta una banda de madera que presiona los émbolos de todas las jeringas lo más rápido posible (máximo: 5 segundos).

Esto permite la aplicación simultánea e instantánea en todas las jarras. Este equipo auxiliar permite que una sola persona ejecute toda la prueba. Si no se dispone de este equipo, se requiere de por lo menos tres personas para efectuar una aplicación correcta, considerando que cada una aplica a dos jarras, una de ellas da la voz indicando el tiempo de inicio de la prueba y la otra acciona el equipo.

En general, se recomienda aplicar la dosis de coagulante muy cerca del agitador, con el equipo operando con el gradiente de mezcla y aplicando exactamente lo que se debe efectuar en el mezclador de la planta. Los equipos de prueba de jarras automáticos, que permiten velocidades de hasta 300 revoluciones por minuto, son ideales para efectuar simulación de procesos, y en ellos la bondad de los resultados depende mucho de la exactitud con la que se ejecuta la prueba.

Utilizando estos equipos y estatores o deflectores en las jarras, se pueden obtener gradientes dentro del rango recomendable para mezcla rápida, con

tiempos tan breves como 5 segundos, al cabo de los cuales el equipo automáticamente cambia para el gradiente de floculación programado.

### 1.3.1.3. SISTEMA DE AGITACIÓN

La variable que más importancia tiene en la prueba de jarras es la intensidad de agitación expresada como gradiente de movimiento del agua. Se utilizan paletas o rotores, accionados en forma mecánica o magnética, y pueden utilizarse una o más paletas. En el cuadro se detallan las características de las paletas.

**TABLA 1.3.1.3-1**  
**TIPO DE PALETA**

<b>Tipo de Paleta</b>	<b>Número de Paleta</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área proyectada (cm)</b>	<b>Observaciones</b>
Plana -1	2	7 y 6	17,5	Utilizada en el modelo Phipps y Bird
Plana -2	2	7,2	28,8	Tipo impulsor marino
Plana -3	2	7,2	18,4	Utilizada por Florida 1-Environmental specialities.
Hélice	3	5,0	4,50	Utilizada por Florida 2-Environmental specialities.
Doblada	2	5,0	2,8	

Fuente: Tipo de paleta, <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomoll/once.pdf>

### 1.3.1.4. CARACTERÍSTICAS DE AGITADORES

Cuando no se utilizan estatores, es necesario elevar la velocidad a valores superiores a los que normalmente operan los equipos. La inercia producida

durante el ensayo de floculación ocasiona la formación de un helicoide que afecta el proceso y que se evidencia en una disminución de la eficiencia en el ensayo de sedimentación. Por esta razón, se recurre al uso de estatores o deflectores fijos de tipo continuo o discontinuo.

#### **1.3.1.5. DESCRIPCIÓN DE LAS JARRAS**

Las jarras o vasos que se van a usar deben poder ser acomodados en el aparato y tener 2.000 mL. de capacidad; en caso de no tenerse vasos de este tamaño, podría optarse por vasos de 1.000 mL. Se debe evitar usar vasos más pequeños debido a la dificultad en la adición de pequeños volúmenes de coagulantes y ayudantes para obtener muestras satisfactorias del agua sedimentada. Podrían usarse botellas cuadradas, pero antes deben asegurarse las modificaciones producidas por cambio de secciones para el cálculo de gradientes.

En lo posible, debe evitarse el lavado de las jarras con detergentes, ya que muchos de estos tienen compuestos aniónicos que son fuertemente absorbidos por las paredes de las jarras de vidrio. Si estos no son completamente removidos, pueden afectar los resultados de las pruebas en forma significativa.

Para el diseño de las jarras se debe tener en cuenta un factor de seguridad para evitar que se derrame el líquido a tratar como se muestra en la siguiente ecuación:

Se parte de un volumen de 1 L. con el factor de corrección o de seguridad de 0,15, en relación al volumen total, tenemos:

$$V_r = 1L.$$

$$V = f_s * V_r \quad \text{Ec.1.3.1.5-1}$$

Donde:

V = volumen corregido

$f_s$  = factor de seguridad

$V_r$  = volumen real

El factor de seguridad se lo utiliza ya que la altura de la jarra para un litro es en estado estacionario pero en este caso que se debe aplicar una agitación el liquido se podrá derramar y por tal motivo aumentamos un factor de seguridad del 15% del altura inicial de la jarra.

Se tiene un volumen total de:

$$V_t = V + V_r \quad \text{Ec.1.3.1.5-2}$$

Donde:

$V_t$  = volumen total

V = volumen corregido

$V_r$  = volumen real

Para calcular la altura de las jarras se utiliza la siguiente expresión:

$$At = 1,2 \text{ } \emptyset t \quad \text{Ec. 1.3.1.5-3}$$

Donde:

At = altura del tanque agitador

Øt = diámetro del tanque

Cuando se trabaja con jarras preelaboradas es aconsejable utilizar la siguiente ecuación en la que el objetivo es encontrar la altura a la que llegará el líquido.

$$h = \frac{Vt}{\pi\left(\frac{\theta t}{2}\right)^2} \quad \text{Ec. 1.3.1.5-4}$$

Donde:

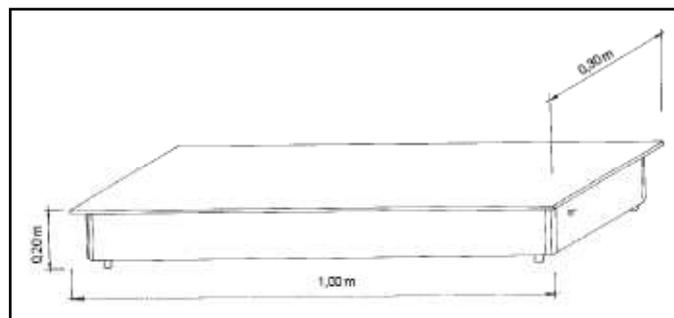
h= Altura del liquido

Vt= Volumen total

Øt = diámetro del tanque

### 1.3.1.6. ILUMINACIÓN

Para observar el flóculo formado en los vasos, es conveniente, aunque no esencial, una buena iluminación. Idealmente, los vasos deben estar provistos con una base blanca y una iluminación en ángulo recto a la dirección del observador; por ejemplo, arriba o abajo de los vasos



**Fig. 1.3.1.6-1 Base iluminada**

Se deben evitar fuentes de luz que generen mucho calor y con un efecto significativo en la coagulación y sedimentación, lo que ocasiona diferencias de temperaturas entre el agua del modelo y la realidad. Ello redundará en la obtención de resultados erróneos.

### **1.3.2. PRECAUCIONES Y LIMITACIONES**

Con la prueba de jarras se trata de reproducir las condiciones en las cuales se desarrollan los procesos de floculación y sedimentación en la planta de tratamiento. Sin embargo, dado el pequeño volumen (1 a 2 L) que tienen los vasos de precipitado, en comparación con el gran volumen de los tanques de floculación reales, la prueba de jarras constituye una reproducción parcial del proceso.

Las razones para esto son de orden físico y químico, y, entre otras, son las siguientes:

En los reactores existe un flujo continuo; en cambio, en las jarras no hay flujo. Esto hace que en los primeros la masa de agua sufra un tratamiento desigual, debido a que parte de ella queda retenida durante largo tiempo, mientras que otra parte pasa casi de inmediato. En cambio, en la prueba de jarras, el agua queda retenida durante todo el tiempo que dura el ensayo (reactor del tipo de tanda o cochada).

La escala de las jarras no guarda relación con la escala del flóculo, por cuanto este se produce a escala natural y, en cambio, las jarras son cientos de veces más pequeñas que los floculadores. Por tanto, la proporción entre la escala de

la turbulencia que se produce en uno y otro caso y el tamaño del flóculo es diferente, lo que afecta la velocidad de aglutinamiento de las partículas.

La dosificación de los coagulantes y la agitación de la masa de agua pueden ser mucho mejor controladas en la prueba de jarras que en la planta de tratamiento.

No obstante estas deficiencias, la prueba de jarras sigue siendo el método más usual de los que hasta ahora disponemos para controlar los factores químicos involucrados en los procesos de coagulación y floculación. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el hecho de que la prueba de jarras sea un ensayo rutinario en la operación de las plantas no significa que pueda ejecutarse descuidadamente, lo que, por desgracia, suele ser bastante común.”<sup>9</sup>

### **1.3.3. OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

“Podría preguntarse entonces, qué es lo que mide, y qué resultados se obtienen con este ensayo. Considerable número de determinaciones se pueden realizar, tinas de orden cualitativo y otras, cuantitativo. Se describen algunas:

**Observación visual.** Es la que más comúnmente se hace. Consiste simplemente en observar la forma como se desarrolla el floc en cada una de las jarras, escogiendo aquella que produzca el floc más grande, de mayor velocidad de asentamiento aparente, y que deje ver un agua más cristalina entre las partículas coaguladas.

---

<sup>9</sup> Prueba de jarras, <http://oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomoll/oncex.pdf>

La comparación de los tamaños del floc no es fácil. Algunos prefieren estimarlo en milímetros en forma muy aproximada. Otros prefieren usar el Índice de Willcomb tal como se incluye en la tabla

**TABLA 1.3.3-1**

**ÍNDICE DE WILLCOMB**

<b>Número de Índice</b>	<b>Descripción</b>
0	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación
2	Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
4	Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido. (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
6	Claro. Floc bien de tamaño relativamente grande pero que se precipita con lentitud
8	Bueno. Floc que se deposita fácil pero no completamente
10	Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

Fuente: Índice de Willcomb, <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-02a.pdf>

Las observaciones visuales de este tipo son cualitativas y dependen, por eso, grandemente del criterio de quien hace los ensayos.

Tiempo de formación del floc.- Determinar en segundos el tiempo que tarde en aparecer el primer indicio de formación de floc, es uno de los sistemas para cuantificar la velocidad de la reacción. La iluminación de la base del agitador ayuda en esta determinación, la que ni aún así suele ser fácil, pues el floc cuando recién se forma suele ser incoloro. Por otra parte, el floc que se forma más rápido no necesariamente es el mejor. Cuando no se puede iniciar la

coagulación simultáneamente en todas las jarras, debe tornarse con un cronómetro los tiempos en que se aplicaron los coagulantes a cada una.

Volumen del floc sedimentado.- Otra medida muy simple de hacer es verter en un cilindro graduado el agua coagulada, y medir al cabo de 24 horas la cantidad de lodos depositados. Cuando la muestra es bastante turbia o cuando proviene de una carpeta de lodos, se puede obtener una idea del porcentaje de sedimentos no compactados que se pueden esperar o concentración de sólidos en la suspensión. Con aguas ligeramente turbias la lectura del volumen de lodos se hace muy difícil.

Cantidad de coagulante residual- Es una prueba muy útil para estimar la sobredosis de coagulantes, en especial cuando se usa sulfato de aluminio. Se ejecuta pipeteando 50 mL del sobrenadante de las pruebas de jarras, después de haber dejado sedimentar el agua por una o dos horas. Se determina el  $Al^{3+}$  en las porciones de 50 mL. El aluminio es soluble en proporción de un 0,2 a 0,4 mg/L por tanto cantidades mayores son indicativas de un exceso de coagulantes. Este ensayo suele hacerse rutinariamente con el agua sedimentada en las plantas de tratamiento pero rara vez en las pruebas de jarras, no obstante que puede ser útil sobre todo para comparar entre dos dosificaciones, que producen aparentemente resultados similares. No debe dicho ensayo, por supuesto, tomarse como decisivo, puesto que no siempre la dosis que produce la más completa precipitación del coagulante residual, es la que produce la mejor floculación, principalmente cuando las cantidades que se usan son bajas.

Control del pH y la alcalinidad.- Es aconsejable medir el pH y la alcalinidad antes y después del proceso de coagulación, debido a la importancia que estos factores tienen en la economía del tratamiento.

Turbiedad Residual.- Las observaciones visuales para estimar el tamaño y calidad del Floc en las jarras, en realidad, dicen poco sobre la eficiencia y rapidez con que se ha producido la clarificación del agua. Es por eso conveniente tomar el sobrenadante que se produce después de 30-60 min. de periodo de sedimentación extrayendo 20 – 50 mL. de muestra a 4-5 cm de profundidad desde la superficie. Para esta operación se puede usar una pipeta volumétrica de 100 mL. o construir un sifón con tubo de vidrio de 1,5 mm de diámetro interno. La muestra así extraída se puede analizar en dos formas:

Directamente midiendo la turbiedad con un turbidímetro fotoeléctrico (preferible que el de comparación visual)

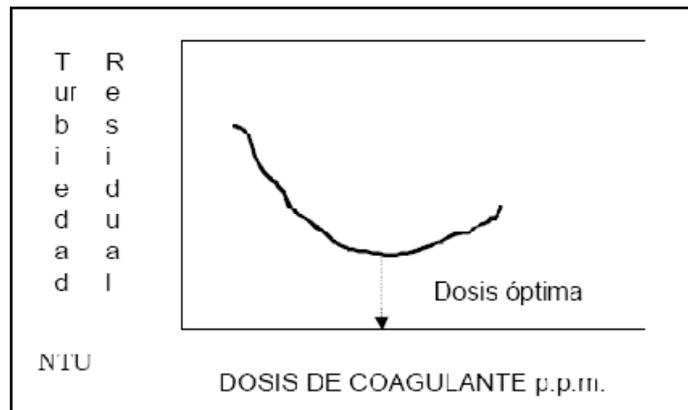
Filtrando la muestra del sobrenadante en papel de filtro Whatman No. 40 o similar y midiendo la turbiedad del agua filtrada.

Este ensayo trata de reproducir cuidadosamente el proceso de sedimentación y filtración de la planta de tratamiento. Debe tenerse en cuenta sin embargo, que las características del vaso de precipitado son bien distintas a las del sedimentador, y que el papel de filtro es una simple malla que guarda muy poca relación con el medio granular del filtro

Por lo general este ensayo se realiza para la determinación de la dosis óptima de los coagulantes y floculantes; donde los resultados de turbiedad obtenidos

en las diferentes jarras para dosis variables de coagulantes son graficados; colocando los valores de turbiedad en el eje “Y” y la dosis en el eje “X”.

La dosis óptima se obtiene en el punto de inflexión, que es el punto más bajo de la curva, tal como podemos observar en la siguiente Figura 1.3.3-1”<sup>10</sup>



**Fig. 1.3.3-1 Dosificación óptima**

## **1.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACION**

### **1.4.1. AGITACION**

“Es una operación mecánica que consiste en realizar movimientos violentos e irregulares en el seno de una masa fluida o que se comporte como tal para obtener una mezcla homogénea, es decir mantener la concentración constante en todas las partes de la masa. Mediante esta operación se consigue la introducción de energía en el volumen del fluido, o sea, que la energía cinética que posee el impelente se transfiere al fluido provocando su movimiento. Los impelentes utilizados con este objetivo pueden ser clasificados por el flujo que inducen en el tanque agitado como impelentes de flujo axial y de flujo radial. Entre los impelentes de flujo radial el más utilizado industrialmente es la turbina

<sup>10</sup> Obtención de resultados, <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-02a.pdf>

de disco con paletas planas, por lo cual, a pesar de haber sido ampliamente estudiado, continúa siendo objeto de investigación.

Los tanques agitados, por su parte, han sido utilizados históricamente en la industria alimenticia, la química y la biotecnológica, constituyendo el tipo de reactor utilizado por excelencia. Este hecho constituye la causa fundamental de que en la actualidad se continúen las investigaciones básicas sobre la hidrodinámica en este tipo de reactor.”<sup>11</sup>

#### **1.4.1.1. FUNCIONES DE LA AGITACIÓN**

“Las distintas funciones que la de la agitación puede desempeñar se clasifican en cinco operaciones básicas:

##### **Homogeneización de un fluido**

- Definición: Mezcla de fluidos solubles
- Objetivos: Equilibrio de gradiente de temperatura  
Equilibrio de gradiente de concentración
- Ejemplos: Neutralizaciones ácido/base  
Diluir disoluciones de alta concentración  
Mezcla de fluidos con temperaturas distintas  
Distribución de polímeros en suspensiones para floculación

##### **a) Suspensión de un sólido en un líquido**

- Definición: Distribuir un sólido disperso en un fluido

---

<sup>11</sup> BRITO H, Texto Básico de Operaciones Unitarias I, Segunda Edición, Copywrite 2006. Pp: 77

- Objetivo: Mantener los sólidos en suspensión  
Conseguir una distribución homogénea  
Disolver sólidos
- Ejemplos: Procesos de cristalización

#### **b) Emulsión de dos fluidos insolubles**

- Definición: Dispersar un fluido en otro fluido, siendo éstos insolubles entre sí.
- Objetivos: Aumentar la superficie específica de uno de los fluidos
- Ejemplos: Emulsión-polimerización  
Extracción líquido-líquido

#### **c) Dispersión de un gas en un líquido**

- Definición: Dispersar un gas en un fluido
- Ejemplos: Reacciones gas-líquido  
Fermentaciones aerobias  
Aporte de oxígeno en estanque aireado (depuración).

#### **d) Intercambio de calor**

- Definición: Favorecer el intercambio de calor entre fluido y superficie de fluidos a distinta temperatura
- Ejemplos: Eliminación del calor de reacción  
Disminución de la viscosidad de un fluido gracias al calentamiento

Con frecuencia un mismo equipo de agitación realiza varias de estas operaciones básicas simultáneamente, pero es conveniente instalar mezcladores agitadores que pueden llevar a cabo la agitación en el sentido deseado, con el menor consumo energético posible. Para ello, existe en el mercado gran variedad de agitadores, con distintas características y funciones.

#### **1.4.1.2. RESEÑA HISTÓRICA DE LOS AGITADORES:**

El primer agitador industrial fue usado hace unos cien años en una planta de fertilizantes. Se trataba de una hélice marina. Más adelante se inventaron agitadores de forma muy diversa, con geometría escogida a menudo más por su estética que por su eficiencia.

Es solo a partir de los años 50 que se empezó a investigar las relaciones entre la herramienta de agitación y su resultado concerniente al grado de mezclado. Hoy en día se entienden las reglas fundamentales de funcionamiento y de desempeño de los agitadores industriales.

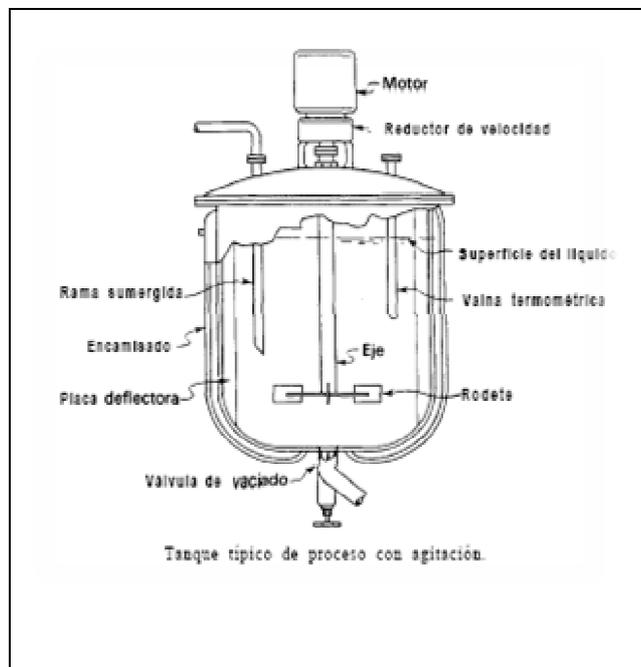
Sin embargo se siguen las investigaciones para comprender en detalles las transferencias de cantidad de movimiento, masa y calor producidas por los muy variados métodos de inducción de la agitación, a saber: rotación, vibración, bombeo, flujo restringido, chorro, burbujeo, ultrasonido, etc. Las investigaciones se han realizado en dos direcciones principales: de un lado hacia la creación y el desarrollo de nuevos sistemas y aparatos, y del otro lado hacia la cuantificación de la calidad de la mezcla.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Objetivos de la agitación, <http://www.firp.ula.ve/archivos/curso/Agitacion.pdf>

### 1.4.1.3. EQUIPO DE AGITACIÓN.

Los líquidos se agitan con más frecuencia en tanques o recipientes, generalmente de forma cilíndrica y provistos de un eje vertical. La parte superior del recipiente puede estar abierta al aire o cerrada. Las proporciones del tanque varían bastante dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. Sin embargo, en muchas situaciones se utiliza un diseño estandarizado como el que se muestra en la Figura 1.4.1.3-1



**Fig. 1.4.1.3-1 Equipo de agitación.**

“El fondo del tanque es redondeado y no plano, con el fin de eliminar los rincones escarpados o regiones en las que no penetrarían las corrientes de fluido. La altura del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque. El rodete va instalado sobre un eje suspendido, es decir, un eje soportado en la parte superior. El eje está accionado por un motor, a veces directamente conectado al eje, pero más frecuentemente acoplado al eje a través de una

caja reductora de velocidad. Generalmente lleva incorporados encamisados y vainas para termómetros u otros instrumentos de medida de la temperatura.

La longitud del brazo del agitador está dada por la siguiente ecuación:

$$L_b = 1/2 \varnothing_t \quad \text{Ec.1.4.1.3-1}$$

Donde:

$L_b$  = Longitud del brazo

$\varnothing_t$  = Diámetro del tanque

Dentro del sistema de agitación el rodete crea un modelo de flujo en el sistema, dando lugar a que el líquido circule a través del tanque y eventualmente retorne al rodete.

No existe una relación fija para el espesor del rodete generalmente varía desde un sexto hasta un decimo de la longitud del brazo. Sin embargo la relación más empleada es la siguiente

$$E_r = 1/10 (L_b) \quad \text{Ec.1.4.1.3-2}$$

Donde:

$E_r$  = Espesor del rodete

$L_b$  = Longitud del brazo

Para el diámetro del rodete se emplea la siguiente ecuación:

$$\varnothing_r = 2/3 \varnothing_t \quad \text{Ec.1.4.1.3-3}$$

Donde:

$\emptyset_r$  = Diámetro del rodete

$\emptyset_t$  = Diámetro del tanque

Para que exista una buena mezcla debe existir un espacio adecuado entre el fondo del tanque y el rodete para que todas las corrientes provocadas por la agitación pueda homogenizar completamente el o los líquidos involucrados en el proceso. Para ello generalmente se tiene la siguiente ecuación:

$$X = h - L_b \quad \text{Ec.1.4.1.3-4}$$

Donde:

X= Distancia entre el fondo del tanque y la paleta

h= Altura del líquido

Lb = Longitud del brazo

Para determinar el alto de la paleta se emplea a menudo la siguiente expresión:

$$A_p = 1/5 L_b \quad \text{Ec.1.4.1.3-5}$$

Donde:

A<sub>p</sub> = Alto de la paleta

L<sub>b</sub> = Longitud del brazo

Potencia consumida en los recipientes de agitación

Un factor trascendental en el diseño de un recipiente de agitación es la potencia necesaria para mover el impulsor. Puesto que la potencia requerida para un sistema dado no puede predecirse teóricamente, se tienen correlaciones empíricas para estimar los requerimientos de potencia.

La presencia o ausencia de turbulencia puede correlacionarse con el número de Reynolds del impulsor  $N_{Re}$ , que se define como

$$N_{Re} = \frac{\varnothing t^2 * N * \rho}{\mu} \quad \text{Ec.1.4.1.3-6}$$

Donde:

$\varnothing t$  = Diámetro del tanque (m)

N = Número de revoluciones por segundo

$\mu$  = Viscosidad del fluido (Pa.s)

$\rho$  = Densidad del fluido (Kg / m<sup>3</sup>)

El consumo de potencia se relaciona con la densidad del fluido  $\rho$ , su viscosidad  $\mu$ , la velocidad de rotación N el diámetro del impulsor  $D_a$ , por medio de gráficas de número de potencia  $N_p$  en función de  $N_{Re}$ . El número de potencia es:

$$N_p = \frac{P}{N^3 * \rho * \varnothing t^5} \quad \text{Ec.1.4.1.3-7}$$

Donde:

$N_p$  = Número de Potencia

P= Potencia (W)

N= Revoluciones por segundo

$\rho$  = Densidad del fluido (Kg / m<sup>3</sup>)

$\varnothing_t$  = Diámetro del tanque (m)

Para evitar un sobrecalentamiento del motor se debe trabajar con un factor de seguridad que generalmente es decidido por el personal de diseño el factor de seguridad del 30% indica un sistema completamente seguro, el 20% indica un sistema medianamente seguro y el 10% indica un sistema de protección bajo. Entonces se tiene la siguiente ecuación:

$$P_c = (f_s * P) + P \quad \text{Ec. 1.4.1.3-8}$$

Donde:

$P_c$  = Potencia corregida

$f_s$  = Factor de seguridad

#### 1.4.1.4. TIPOS DE RODETES

Los agitadores de rodete se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del rodete, y aquellos que generan corrientes en dirección tangencial o radial. Los primeros reciben el nombre de **rodetes de flujo axial**, y los segundos **rodetes de flujo radial**.

Los tres principales tipos de rodetes son hélices, palas y turbinas. Otros rodetes especiales resultan también útiles en situaciones especiales, pero los

tres tipos principales mencionados resuelven tal vez el 95% de todos los problemas de agitación de líquidos.

**a) Hélice.** Una hélice es un rodete con flujo axial y alta velocidad que se utiliza para líquidos de baja viscosidad. Las hélices pequeñas giran con la misma velocidad que el motor, entre 1150 y 1750 rpm; las grandes giran entre 400 y 800 rpm. Las corrientes de flujo que salen del rodete continúan a través del líquido en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo o las paredes del tanque. La columna, altamente turbulenta, de remolinos de líquido que abandona el rodete, arrastra al moverse líquido estancado, probablemente en mayor proporción que lo haría una columna equivalente procedente de una boquilla estacionaria. Las placas de un rodete cortan o cizallan vigorosamente el líquido.

Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces en tanques muy grandes. Una hélice giratoria traza una hélice en el fluido y, si no hubiese deslizamiento entre el fluido y la hélice, una revolución completa provocaría el desplazamiento longitudinal del líquido una distancia fija, dependiendo del ángulo de inclinación de las palas de la hélice. La relación entre esta distancia y el diámetro de la hélice se conoce como *paso de hélice*. Una hélice con un paso de 1,0 se dice que tiene *paso cuadrado*.

En la Figura 1.4.1.4-1 se representa una hélice típica. Las más frecuentes son las hélices marinas de tres palas con paso cuadrado; para fines especiales se utilizan hélices de cuatro palas, ruedas dentadas y otros diseños. Las hélices

raramente superan las 18 pulgadas de diámetro, con independencia del tamaño del tanque.

En tanques profundos pueden instalarse dos o más hélices sobre el mismo eje, generalmente dirigiendo el líquido en la misma dirección. A veces, dos hélices operan en direcciones opuestas, o en «push pull», con el fin de crear una zona de turbulencia especialmente elevada entre ellas.

**b) Paletas.** Para los problemas más sencillos, un agitador eficaz consta de una pala plana que gira sobre un eje vertical. Son frecuentes los agitadores de dos y cuatro palas. A veces las palas están inclinadas, pero lo más frecuente es que sean verticales. Las palas giran a bajas o moderadas velocidades en el centro del tanque, impulsando el líquido radial y tangencialmente, sin que haya prácticamente movimiento vertical excepto que las placas están inclinadas.

Las corrientes que generan se desplazan hacia fuera hasta la pared del tanque y después hacia arriba o hacia abajo. En tanques profundos se instalan varias palas, unas sobre otras, en un mismo eje. En algunos diseños las placas se adaptan a la forma de las paredes del tanque, de forma que rascan la superficie y pasan sobre ella con una muy pequeña holgura. Una pala de este tipo recibe el nombre de **agitador de áncora**. Las áncoras resultan útiles para prevenir que se depositen sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, tal como un tanque encamisado, pero en cambio son malos mezcladores. Casi siempre operan conjuntamente con un agitador de alta velocidad que generalmente gira en sentido contrario.

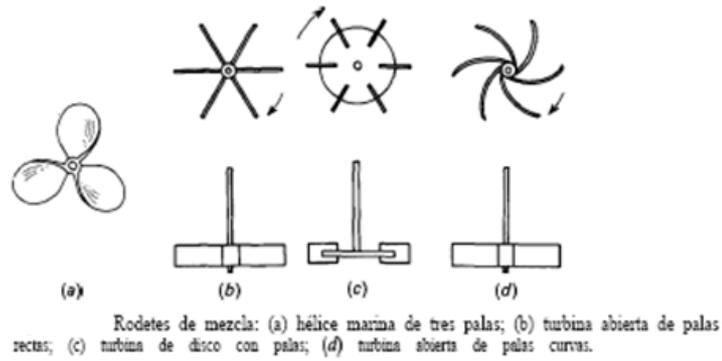
Los agitadores industriales de palas giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm. La longitud total de un rodete de palas está típicamente comprendido entre el 50 y el 80 por 100 del diámetro interior del tanque. La anchura de la pala es de un sexto a un décimo de su longitud. A velocidades muy bajas los agitadores de palas generan una agitación muy suave en tanques sin placas deflectoras, las cuales son necesarias para velocidades más elevadas, pues de lo contrario el líquido se desplaza en bloque alrededor del tanque con velocidad alta, pero con poca mezcla.

**c) Turbinas.** La mayoría de ellos recuerdan a los agitadores con numerosas palas cortas, que giran a altas velocidades sobre un eje montado centralmente en el tanque. Las placas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado.

El diámetro del rodete es menor que el de las palas, variando entre el 30 y el 50 por 100 del diámetro del tanque. Las turbinas son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades. En líquidos de baja viscosidad las turbinas generan fuertes corrientes que persisten en todo el tanque, destruyendo bolsas de fluido estancado. Cerca del rodete hay una zona de corrientes rápidas, elevada turbulencia e intensa cizalladura. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Los componentes tangenciales inducen la formación de vórtices y remolinos, que deben ser destruidos por placas deflectoras o por un anillo difusor para que la agitación sea más eficaz”<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> McCABE W, Operaciones básicas de Ingeniería Química. Reverte, España, 1978 pp:253-258



**Fig. 1.4.1.4-1 Tipos de rodetes**

### 1.4.1.5. CLASES DE AGITADORES

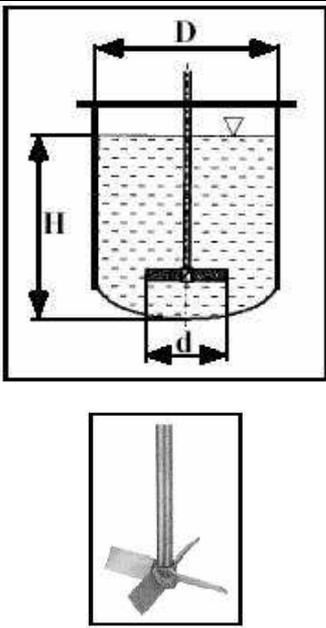
**TABLA 1.4.1.5-1  
AGITADOR DE HÉLICE**

Descripción	- 3 álabes (generalmente) - ángulo de inclinación del aspa constante	
Campo de flujo generado	axial	
Régimen alcanzado	Turbulento	
Velocidad tangencial	3 - 15 m/s	
Viscosidad del medio	< 8 Pa*s	
Posición del rodete ( $d_2 / d_1$ )	0,1 – 0,5 (alejado de la pared)	
Aplicaciones	- homogeneizar - suspender - favorecer el intercambio de calor	

Fuente: Agitador de hélice, <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

**TABLA 1.4.1.5-2**

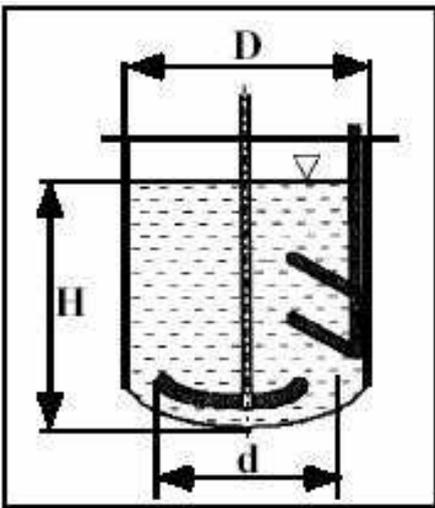
**AGITADOR CON PALAS PLANAS INCLINADAS**

Descripción	- 4-6 palas rectas - Angulo de inclinación = 45°	
Campo de flujo generado	axial / radial	
Régimen alcanzado	de transición – turbulento	
Velocidad tangencial	3 - 15 m/s	
Viscosidad del medio	hasta 20 Pa·s	
Posición del rodete ( $d_2 / d_1$ )	0,2 – 0,5 (alejado de la pared)	
Aplicaciones	Homogeneizar suspender	

Fuente: Agitador con palas planas, <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

**TABLA 1.4.1.5-3**

**AGITADOR IMPULSOR**

Descripción	- 3 palas inclinadas - palas curvadas hacia atrás en dirección del flujo	
Campo de flujo generado	radial / axial	
Régimen alcanzado	de transición – turbulento	
Velocidad tangencial	3 – 8 m/s	
Viscosidad del medio	hasta 100 Pa·s	
Posición del rodete ( $d_2 / d_1$ )	0,2 – 0,5 (alejado de la pared)	
Aplicaciones	- homogeneizar - Favorecer el intercambio de calor	

Fuente: Agitador impulsor, <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

**TABLA 1.4.1.5-4**  
**AGITADOR HELICOIDAL**

Descripción	forma de espiral	
Campo de flujo generado	radial / axial	
Régimen alcanzado	Laminar	
Velocidad tangencial	hasta 2 m/s	
Viscosidad del medio	hasta 1000 Pa·s	
Posición del rodete ( $d_2 / d_1$ )	0,90 – 0,98 (cerca de la pared)	
Aplicaciones	homogeneizar favorecer el intercambio de calor	

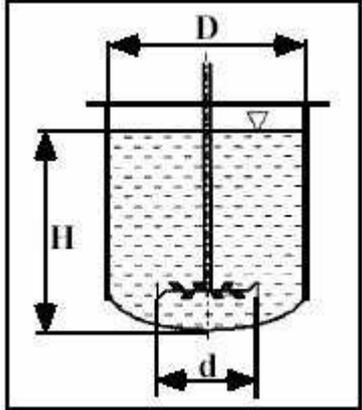
Fuente: Agitador Helicoidal, <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

**TABLA 1.4.1.5-5**  
**AGITADOR DE PALAS PLANAS**

Descripción	6 palas rectas	
Campo de flujo generado	radial	
Régimen alcanzado	Turbulento	
Velocidad tangencial	3 -7 m/s	
Viscosidad del medio	hasta 10 Pa·s	
Posición del rodete ( $d_2 / d_1$ )	0,2 – 0,5 (alejado de la pared)	
Aplicaciones	- homogeneizar - favorecer el intercambio de calor - inyección de un gas en un fluido - emulsionar	

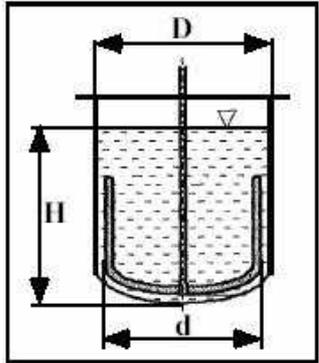
Fuente: Agitador de palas planas, <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

**TABLA 1.4.1.5-6**  
**AGITADOR DE RUEDA DENTADA**

Descripción	disco con corona dentada	
Campo de flujo generado	Radial	
Régimen alcanzado	de transición – turbulento	
Velocidad tangencial	8 - 30 m/s	
Viscosidad del medio	hasta 10 Pa*s	
Posición del rodete ( $d_2 / d_1$ )	0,2 – 0,5 (alejado de la pared)	
Aplicaciones	- trituración - inyección de gas - emulsionar	

Fuente: Agitador de rueda dentada, <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

**TABLA 1.4.1.5-7**  
**AGITADOR TIPO ANCLA**

Descripción	dos brazos que llegan cerca de la pared forma adaptada al fondo del tanque	
Campo de flujo generado	tangencial	
Régimen alcanzado	Laminar	
Velocidad tangencial	hasta 2 m/s	
Viscosidad del medio	hasta 1000 Pa-s	
Posición del rodete ( $d_2 / d_1$ )	0,9 – 0,98 (cerca de la pared)	
Aplicaciones	favorecer el intercambio de calor disminuir la capa límite en la pared	

**TABLA 1.4.1.5-8**  
**AGITADOR DE PALAS CRUZADAS**

Descripción	palas dispuestas perpendicularmente una respecto de otra	
Campo de flujo generado	axial / tangencial	
Régimen alcanzado	Laminar	
Velocidad tangencial	2 – 6 m/s	
Viscosidad del medio	hasta 100 Pa·s	

Fuente: Agitador de palas planas, <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

**TABLA 1.4.1.5-9**  
**AGITADOR DE REJILLA**

Descripción	estructura de malla	
Campo de flujo generado	Tangencial	
Régimen alcanzado	Laminar	
Velocidad tangencial	2 – 5 m/s	
Viscosidad del medio	hasta 10 Pa·s	

Fuente: Agitador de rejilla, <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

**TABLA 1.4.1.5-10**  
**AGITADOR DE PLACA PLANA**

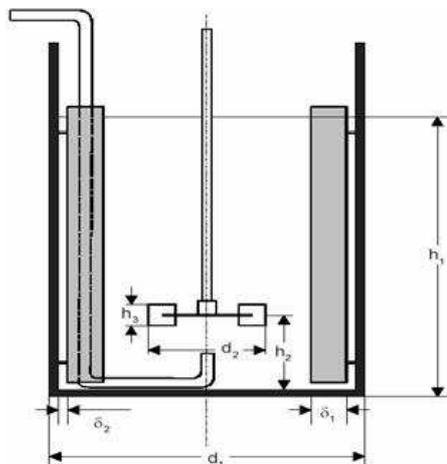
Descripción	placa plana	
Campo de flujo generado	radial / tangencial	
Régimen alcanzado	Laminar	
Velocidad tangencial	1 – 3 m/s	
Viscosidad del medio	hasta 20 Pa·s	

Fuente: Agitador de placa plana, <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

#### 1.4.1.6. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AGITACION

“Los más habituales tienen sus dimensiones estandarizadas de acuerdo con la norma DIN 28131 (Fig 1.4.1.6-1) según varios criterios

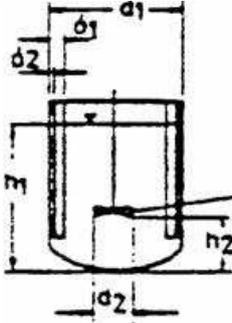
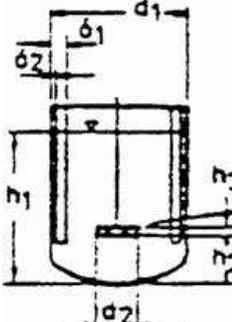
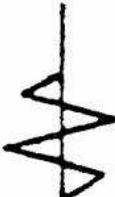
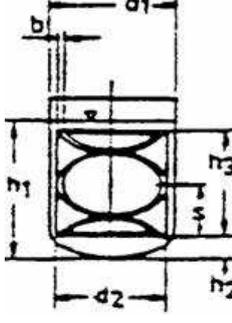
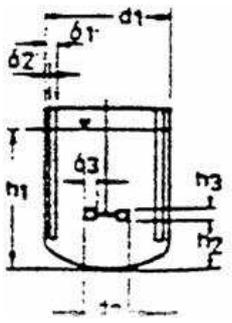
- mecánica
- características de proceso
- características de aplicación



**Fig 1.4.1.6-1 Dimensiones estándares según la norma DIN 28131**

TABLA 1.4.1.6-1

DIMENSIONES DE LOS SISTEMAS DE AGITACION

DENOMINACIÓN	SÍMBOLO	GEOMETRIA
Agitador de Hélice		 <p> <math>h_1 / d_1 = 1.0</math>  <math>d_2 / d_1 = 0.33</math>  <math>h_2 / d_1 = 0.33</math>  <math>\alpha = 25^\circ</math>  <math>\delta_1 / d_1 = 0.1</math>  <math>\delta_2 / d_1 = 0.02</math> </p>
Agitador con palas planas inclinadas		 <p> <math>h_1 / d_1 = 1.0</math>  <math>d_2 / d_1 = 0.337</math>  <math>h_2 / d_1 = 0.17 \div 0.34</math>  <math>h_3 / d_2 = 0.177</math>  <math>\alpha = 45^\circ</math>                      6 Blätter  <math>\delta_1 / d_1 = 0.1</math>  <math>\delta_2 / d_1 = 0.02</math> </p>
Agitador Helicoidal		 <p> <math>h_1 / d_1 = 1.0</math>  <math>d_2 / d_1 = 0.98</math>  <math>b / d_2 = 0.1</math>  <math>h_3 / d_2 = 1.0</math>  <math>s / d_2 = 0.5</math>  <math>h_2 / d_1 = 0.01</math> </p>
Agitador de palas planas		 <p> <math>h_1 / d_1 = 1.0</math>  <math>d_2 / d_1 = 0.33</math>  <math>h_2 / d_1 = 0.33</math>  <math>h_3 / d_2 = 0.2</math>  <math>\delta_3 / d_2 = 0.25</math>  <math>\delta_1 / d_1 = 0.1</math>  <math>\delta_2 / d_1 = 0.02</math> </p>

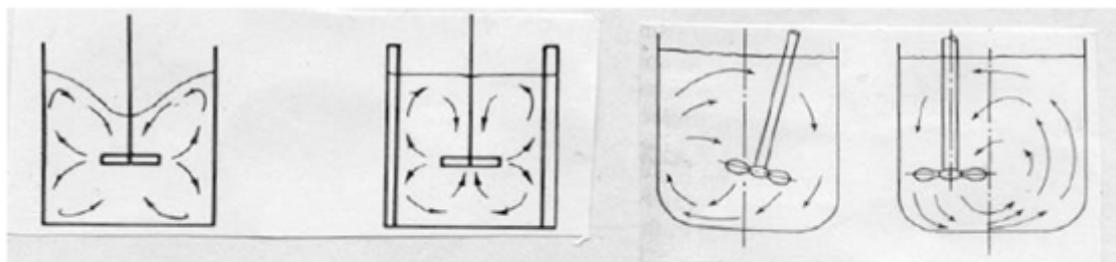
Fuente: Sistema de agitación, <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

### 1.4.1.7. TRAYECTORIAS DEL FLUJO EN LA AGITACION

Cualquiera que sea el tipo de impulsor propulsor seleccionado éste debe crear condiciones turbulentas dentro de la corriente móvil del fluido. La velocidad de un líquido en un tanque agitado tiene 3 componentes:

- uno radial que actúa en una dirección perpendicular al eje
- una longitudinal que actúa paralela al eje y
- una rotacional que actúa en dirección tangencial al círculo de rotación del eje.

Las dos primeras componentes generalmente contribuyen al mezclado pero la tercera puede no hacerlo. Cuando los impulsores-agitadores se montan verticalmente en el centro del tanque, casi siempre se desarrolla una trayectoria de flujo circular tipo remolino, que desarrolla un vórtice (Fig.1.4.1.7-1a) y que atrapa aire, lo cual es indeseable generalmente.



(a) (b) (c) (d)  
Trayectorias de flujo en tanques cilíndricos: (a) formación de vórtice con agitador centrado con deflector, (b) con agitador centrado con deflectores, (c) con agitador inclinado, (d) con agitador vertical descentrado.

**Fig.1.4.1.7-1: Trayectorias del flujo en la agitación**

Los vórtices causan un desbalance de fuerzas y limitan severamente el uso de las potencias suministradas. Una forma de romper éste vórtice es el de colocar

al propulsor agitador en una posición angular (1.4.1.7-1c) o desplazada del centro (1.4.1.7-1d).

Otra manera es el emplear deflectores (1.4.1.7-1b), que se montan en forma vertical en las paredes de los tanques, casi siempre son 4 y tienen una anchura de alrededor de  $1/8$  del diámetro del tanque.

#### **1.4.1.8. FORMAS DE EVITAR REMOLINOS:**

**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 paletas 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.”<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Dimensionamiento de sistemas de agitación,  
<http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

# CAPITULO II

## PARTE EXPERIMENTAL

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Como punto de muestreo se eligió el sitio ubicado debajo del puente de la entrada principal al Parque Lineal Ecológico por su fácil accesibilidad. Dicho punto se encuentra en las coordenadas geográficas 1°41'09" latitud sur y 78°39'10" longitud Oeste. Se realizó un muestreo compuesto para contar con el agua necesaria para realizar pruebas cambiando las variables de proceso, se recolectaron 2 litros cada hora por un periodo de 8 horas diarias, el plan de muestreo se realizó de acuerdo a la siguiente tabla:

**TABLA 2-1**

### PLAN DE MUESTREO

Día	Hora							
	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
2010-10-05	2L	2L	2L	2L	2L	2L	2L	2L
2010-10-06	2L	2L	2L	2L	2L	2L	2L	2L
2010-10-07	2L	2L	2L	2L	2L	2L	2L	2L

Fuente: Plan de muestreo. Suarez Víctor, Trujillo Diego

Obteniéndose al final de cada día 16 litros los mismos que se deben homogenizar. Una vez con las muestras listas se procede a la realización de prácticas experimentales, a fin de lograr el correcto dimensionamiento del quipo de jarras. Además se realizó una serie de variaciones en los parámetros físicos de la prueba de jarras (Concentración de sulfato de aluminio, volumen adicionado y pH) para encontrar las condiciones óptimas en los procesos de coagulación y floculación.

## **2.1. MÉTODOS**

### **2.1.1. INDUCTIVO**

Se recolectaron las muestras del río Chibunga siguiendo el plan de muestreo que se encuentra en la tabla 2-1; posteriormente se las caracterizó y mediante la tabulación de los datos se determinó las variables del proceso, con las cuales, se pudo realizar los cálculos ingenieriles para el dimensionamiento del equipo y finalmente con todos los datos obtenidos se construyó el equipo de prueba de jarras.

### **2.1.2. DEDUCTIVO**

Está basado en las pruebas que se realizan en el equipo de jarras para la realización de diferentes ensayos de tratabilidad de aguas residuales, se tabulan los datos obtenidos con el fin de determinar la concentración óptima de coagulante necesario para la máxima reducción de turbiedad en el sector de muestreo, para posteriormente poderlo utilizar en cualquier muestra de agua proveniente de diferentes lugares.

### **2.1.3. EXPERIMENTAL**

Después del muestreo las muestras fueron trasladadas la laboratorio, en donde, se realizaron las pruebas iniciales para determinar temperatura, pH, y turbiedad.

Variación de la velocidad de agitación, un parámetro fundamental en los procesos de floculación y coagulación es la velocidad con que se homogeniza el coagulante, una vez revisada la bibliografía se determinó que las velocidades óptimas para la mezcla rápida y lenta son respectivamente 300 y 40 R.P.M. la

mezcla rápida debe realizarse por un periodo de tiempo corto, 1 minuto, con el fin de poder homogenizar totalmente el coagulante, y la mezcla lenta ayuda a la formación de flocs y se lo realiza por 5 minutos. En función de este parámetro se diseñó el equipo con estas especificaciones.

Variación de la concentración, se realizaron los cálculos necesarios para la preparación de soluciones a una determinada concentración (desde 1% hasta 25%), posteriormente se pesó la cantidad calculada y se afora a un volumen específico. Se procedió a efectuar los análisis en el equipo de jarras con un volumen y pH, fijos y variando la concentración de sulfato de aluminio observando cual concentración obtenía mejores resultados.

Variación de volumen, con la concentración óptima se procede a adicionar diferentes volúmenes en cada jarra para la realización de nuevas pruebas.

Variación de pH, manteniendo la concentración y el volumen fijo se procedió a la variación de pH. Mediante la aplicación de soluciones acidas y básicas más soluciones buffer a diferentes pH.

## 2.2. TÉCNICAS

### 2.2.1. DETERMINACION DE LA RECOLECCION DE MUESTRAS

TABLA 2.2. 1- 1

#### RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

#### STÁNDAR METHODS 2310 A y B

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO
Método de selección de muestras del sector específico del río para estudiar la variación de los parámetros de la prueba de tratabilidad	Recipientes de plástico o vidrio transparentes de capacidad de 2 y 16 L.	Muestreo compuesto cada hora durante 8 horas recolectando dos litros por cada hora y homogenizamos teniendo 16 litros.

Fuente: STÁNDAR METHODS 2310 A y B

## 2.2.2. DETERMINACION DE LA DENSIDAD DEL AGUA RESIDUAL

**TABLA 2.2. 1- 2**  
**DETERMINACION DE LA DENSIDAD DEL AGUA RESIDUAL**  
**STÁNDAR METHODS 1520**

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
<p>La densidad de los líquidos se mide por medio del método del picnómetro.</p> <p>Esto permite determinar la densidad de un fluido, en referencia a un fluido de densidad conocida como el agua. Sirve para medir la densidad de líquidos no viscosos.</p>	<p>Balanza                      Picnómetro 10ml                      Probeta 10ml</p>	<p>Tomar 10 ml de muestra de agua residual en una probeta. Colocar el picnómetro vacío en la balanza y anotar su peso (P1).                      Añadir la muestra de agua residual al picnómetro y taparlo. Colocar el picnómetro con muestra en la balanza y anotar su peso (P2).                      Realizar la diferencia de pesos y dividir por la capacidad del picnómetro</p>	$\rho = \frac{(P1 - P2)}{Vp}$ <p>Donde:                      ρ = densidad (g/ml)                      P1 = picnómetro vacío (g)                      P2 = picnómetro con muestra (g)                      Vp = volumen del picnómetro (ml)</p>

Fuente: STÁNDAR METHODS 1520

### 2.2.3. DETERMINACION DE LA TEMPERATURA

**TABLA 2.2.3-1**  
**DETERMINACION DE LA TEMPERATURA**  
**ESTÁNDAR METHODS \* 2550 B**

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CÁLCULO</b>
Magnitud que mide el estado térmico de un sistema termodinámico en equilibrio	<ul style="list-style-type: none"><li>• Termómetro en escala centígrada</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Agua</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Introducir el bulbo del termómetro en la muestra.</li><li>• Esperar unos segundos hasta estabilizar el nivel de mercurio.</li><li>• Anotar el valor de la temperatura</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lectura directa</li></ul>

Fuente: ESTÁNDAR METHODS \* 2550 B

## 2.2.4. DETERMINACION DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO pH

TABLA 2.2. 4- 1

### DETERMINACION DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO pH STANDARD METHODS\* 4500-HB

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
El pH es el parámetro que nos indica la alcalinidad o acidez del agua, en un escala numérica de 1 a 14. Si el agua es ácida el pH es menor a 7, si es básica mayor a 7, si es igual a 7 es neutro.	<ul style="list-style-type: none"><li>pHmetro digital.</li><li>Un vaso de precipitación de 250mL.</li></ul>	Soluciones buffer pH 4 y pH 7 y pH10	Verificar que el pHmetro este calibrado utilizando las soluciones buffer (el siguiente orden 4,7 y10 de pH) estas que se encargan de realizar pequeños cambios de su potencial de estado y mantener a este.  Colar el electrodo dentro del vaso. Leer directamente el valor en el equipo.	Lectura directa

Fuente:\*STANDARD METHODS 2550 Edición 17.

## 2.2.5. DETERMINACION DE LA TURBIEDAD

**TABLA 2.2. 5- 1**  
**DETERMINACION DE LA TURBIEDAD**  
**MÉTODO HACH 46500-88**

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La turbidez mide la intensidad de color en el agua que se obtiene en la captación de agua cruda y luego de la filtración (agua tratada), este equipo identifica toda impureza finamente dividida, cualquiera que sea su naturaleza, que pueda ser suspendida. Estas impurezas pueden ser de origen inorgánicas tales como las arcillas, limos, carbonatos de calcio, sílice, hidróxido férrico, azufre, etc. O pueden ser de naturaleza orgánica tales como materia vegetal finamente dividida, aceites, grasas, microorganismos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbidímetro HACH Chemical Company</li> <li>• Celda</li> <li>• Pizeta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Problema</li> </ul>	<p>Colocar en la celda el agua recolectada en el tanque de recepción.</p> <p>El agua tomada luego del proceso de filtración Colocar la celda en el turbidímetro.</p> <p>Leer directamente el valor según la escala deseada (0-2, 0-20, 0-200, 0-2000 NTU).</p>	<p>Lectura directa</p>

Fuente: HACH MODEL 2100P TURBIDIMETER

## **2.3. DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.3.1. Diagnóstico**

El río Chibunga forma parte de la subcuenca del río Chambo, la microcuenca hidrográfica abarca 471,50 Km<sup>2</sup> y su longitud es de 68,9 Km, desde la cota 4800 msnm hasta la cota 2600 msnm, está formado por la unión de los ríos Río Chimborazo y Río Cajabamba.

De conformidad al Estudio Hidrológico de la Subcuenca del río Chambo e implementación de un modelo hidrológico, realizado por el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, Quito, abril del 2007, el caudal medio del río Chibunga analizado en el período 1963-2005 es de 3 m<sup>3</sup>/s.

En la zona circundante a la ciudad de Riobamba, el curso del Chibunga ya recibe cargas contaminantes domésticas de Cajabamba, San Juan, Calpi, Yaruquíes, San Luis, parte de la ciudad de Riobamba y descargas industriales importantes como es la Cemento Chimborazo, Petro-Comercial, ocasionando el deterioro de la calidad de sus aguas. Esto genera graves problemas sanitarios y ambientales y en especial a los usuarios de sus aguas.

A pesar de su importancia, el río Chibunga es uno de los recursos hídricos más contaminados, los componentes orgánicos provienen de la descarga de aguas domésticas. El vertimiento de aguas residuales al río Chibunga sin ningún tratamiento, se produce una condición de alcantarillado abierto y debido a la alta carga que recibe y la baja capacidad de autopurificación del río, se producen condiciones ambientales ofensivas para la ciudad, tanto

estéticamente como en el orden sanitario por los malos olores y las precarias condiciones de salubridad.

El uso del agua del río Chibunga da lugar a que en épocas de estiaje extremo, los caudales sean tan bajos como 30 L/s, y su poder de autodepuración sea mínimo, de manera que las descargas de aguas arriba sean suficientes para contaminarlo <sup>15</sup>.

De conformidad con las investigaciones realizados por ACSAM Consultores Cía. Ltda. Para los Estudios de los Planes Maestros de Agua Potable, y Alcantarillado de la ciudad de Riobamba se presenta la siguiente tabla con los resultados de los análisis realizados al río Chibunga en el sector del parque ecológico

---

<sup>15</sup> Proyecto GESTION AMBIENTAL DEL RIO CHIBUNGA (LOS SHYRIS - SAN LUIS). Ilustre Municipio de Riobamba – Fondo Ambiental.2006

**TABLA 2.3.1-1****ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHIBUNGA, SECTOR  
PARQUE ECOLÓGICO**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>04-12-2007</b>	<b>14-12-2007</b>
pH		7,5	7,5
temperatura	C	15,1	17,7
conductividad	Us/cm	223	579
TDS	Ppm	308	394
Turbiedad	JTU	40	50
Nitratos	ppm de nitrato	1	1,5
Fosfatos	ppm de ortofosfato	0,1	0,2
OD	Ppm	6,16	5,88
Alcalinidad	ppm CaCO <sub>3</sub>	300	230
Coli totales	UFC	1048	
coli fecales	UFC	54	
Caudal	m <sup>3</sup> /s	1,13	1,65

Fuente: Estudios de los Planes Maestros de Agua Potable, y Alcantarillado de la ciudad de Riobamba ACSAM Consultores Cía. Ltda.

Es por esta razón se ha visto la imperiosa necesidad, como estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química conscientes de esta realidad ambiental, de realizar un estudio preliminar de tratabilidad para una reducción de la carga contaminante del río. Para lograr el estudio de tratabilidad de agua se ha diseñado y construido un equipo de prueba de jarras, en el cual se ha logrado modificar las variables en cuestión (concentración, RPM, pH) de tal manera se logra determinar la concentración óptima de coagulante (ver anexos 19, 20, 21)

## 2.4. DATOS EXPERIMENTALES

### 2.4.1. PARAMETROS INICIALES DEL AGUA RESIDUAL

Las muestras fueron recolectas en la provincia de Chimborazo, en el cantón Riobamba, en el río Chibunga, debajo del puente de ingreso principal al Parque Lineal Ecológico, cuyas coordenadas geográficas son 1°41'09" latitud sur y 78°39'10" longitud Oeste a una altura de 2740 msnm

**TABLA 2.4.1-1  
PARAMETROS INICIALES DEL AGUA RESIDUAL**

DETERMINACIÓN	UNIDADES	VALOR
Temperatura	C	18
pH		7,29
Turbiedad	NTU	106,3
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	1010

Fuente: Víctor Suárez, Diego Trujillo.

### 2.4.2. DETERMINACIONES EN EL AGUA

**TABLA 2.4.2-1  
VARIACION EN LA CONCENTRACION DE SULFATO DE ALUMINIO**

Volumen adicionado (mL/L.)	pH	Concentración de sulfato de aluminio (%)	Turbidez residual (NTU)		
			05/10/2010	05/10/2010	05/10/2010
10	7,29	1	51,3	52,3	53,9
		2	48,2	49,3	48,7
		3	34,3	35,6	34,9
		4	54,2	53,7	54,1
		5	60,3	58,3	61,5
		10	97,3	95,1	95,9
		15	187,3	186,5	188,1
		20	190,3	191,5	189,3
		25	195	193,3	194,3

Fuente: Víctor Suárez, Diego Trujillo.

**TABLA 2.4.2-2**

**VARIACION EN EL VOLUMEN DE SULFATO DE ALUMINIO**

Concentración de sulfato de aluminio (%)	pH	Volumen adicionado (mL/L.)	Turbidez residual (NTU)		
			05/10/2010	05/10/2010	05/10/2010
3	7,29	5	41,8	45,8	43,8
		10	36,3	34,3	33,3
		15	54,3	50,3	52,3
		20	68,9	66,9	67,9

Fuente: Víctor Suárez, Diego Trujillo.

**TABLA 2.4.2-3**  
**VARIACION EN EL pH**

Concentración de sulfato de aluminio (%)	Volumen adicionado ( mL/L.)	pH	Turbidez residual (NTU)		
			05/10/2010	06/10/2010	07/10/2010
3	10	4	49,5	48,1	49,6
		7	36,7	37,2	36,9
		8	56,9	55,6	57,1

Fuente: Víctor Suárez, Diego Trujillo.

## 2.5. DATOS ADICIONALES

**TABLA 2.5 – 1**

### DATOS ADICIONALES CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL

CARACTERISTICA	UNIDAD	VALOR
*Viscosidad	m <sup>2</sup> /s	1,139 · 10 <sup>-6</sup>

Fuente: Aguas Negras [http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas\\_negras](http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_negras)

Dato corregido a la temperatura de 18 C (ver anexo I)

**TABLA 2.5-2**

### DATO ADICIONAL PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

CARACTERISTICA	UNIDAD	VALOR
Factor de seguridad (fs)	%	20

Fuente: Víctor Suárez, Diego Trujillo.

Dada las características de diseño del equipo se escogió un factor de seguridad del 20 % como esta detallado en la sección 1.4.1.3

# CAPITULO III

# DISEÑO Y CONSTRUCCION

### **3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE JARRAS PARA LA TRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES.**

#### **3.1. DISEÑO DEL EQUIPO**

##### **3.1.1. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA JARRA**

Según literatura consultada para la prueba de jaras se utiliza recipientes de un litro, se partió de un volumen de 1 L.

De la ecuación Ec.1.3.1.5-1 se tiene:

$$V_r = 1L.$$

$$V = f_s \cdot V_r$$

$$V = 0,15 \cdot 1$$

$$V = 0,15 L.$$

De la ecuación Ec.1.3.1.5-2 se tiene:

$$V_t = V + V_r$$

$$V_t = 0,15 + 1$$

$$V_t = 1,15 L.$$

##### **3.1.2. ALTURA DEL TANQUE AGITADOR**

De la ecuación Ec.1.3.1.5-3 se tiene:

$$h = \frac{V_t}{\pi \left(\frac{\theta t}{2}\right)^2}$$

$$h = \frac{1150}{\pi \left( \frac{1309}{2} \right)^2}$$

$$h = 8,56 \text{ cm}$$

### **3.1.3. LONGITUD DEL BRAZO**

De la ecuación Ec.1.4.1.3-1 se tiene:

$$L_b = 1/2 \text{ } \varnothing t$$

$$L_b = 1/2 * (13,09)$$

$$L_b = 6,54 \text{ cm}$$

### **3.1.4. ESPESOR DEL RODETE**

De la ecuación Ec.1.4.1.3-2 se tiene:

$$E_r = 1/10 ( L_b )$$

$$E_r = 1/10 ( 6,54 )$$

$$E_r = 0,654 \text{ cm}$$

### **3.1.5. DIÁMETRO DEL RODETE**

De la ecuación Ec.1.4.1.3-3 se tiene:

$$\varnothing r = 2/3 \text{ } \varnothing t$$

$$\varnothing r = 2/3 (13,09)$$

$$\varnothing r = 8,72 \text{ cm}$$

### 3.1.6. DISTANCIA ENTRE EL FONDO DEL TANQUE Y EL RODETE

De la ecuación Ec.1.4.1.3-4 se tiene:

$$X = h - L_b$$

$$X = (8,56 - 6,54)$$

$$X = 2,02 \text{ cm}$$

### 3.1.7. ALTO DE LA PALETA

De la ecuación Ec.1.4.1.3-5 se tiene:

$$A_p = 1/5 L_b$$

$$A_p = 1/5 (6,54)$$

$$A_p = 1,31 \text{ cm}$$

### 3.1.8. CALCULO DE LA POTENCIA PARA ACCIONAR EL RODETE

#### 3.1.8.1. CALCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

De la ecuación Ec.1.4.1.3-6 se tiene:

$$N_{Re} = \frac{\varnothing t^2 * N * \rho}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{0,017 * 5 * 1010}{0,02585}$$

$$N_{Re} = 3.32 * 10^3$$

### 3.1.8.2. CALCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR

Se calcula mediante la gráfica de correlaciones del número de potencia  $N_p$  en función del número de Reynolds tomando en cuenta la curva de tipo palas plana (ANEXO II). De la ecuación Ec.1.4.1.3-7 se tiene:

$$N_p = \frac{P}{N^3 * \rho * \varnothing^5}$$

$$N_p = 4$$

Dando una potencia de:

$$P = 0,02 \text{ HP}$$

Con el factor de seguridad del 15% de la Ec 1.4.1.3-8 se tiene

$$P_c = (f_s * P) + P$$

$$P_c = (0,20 * 0,02) + 0,02$$

$$P_c = 0,024 \text{ HP}$$

### 3.2. RESULTADOS

#### 3.2.1. PARAMETROS FISICOS DEL EQUIPO

**TABLA 3.2.1-1**  
**PARAMETROS FISICOS DEL EQUIPO**

PARAMETRO		UNIDAD	VALOR
Volumen de las jarras		L	1,15
Altura del liquido en el tanque		cm	8,56
Longitud del brazo		cm	6,54
Espesor del rodete		cm	0,654
Diámetro del rodete		cm	8,72
Distancia entre el fondo del tanque y el rodete		cm	2,02
Alto de la paleta		cm	1,31
Revoluciones		rpm	40-300
Potencia		HP	0,024
Base iluminada	Alto	cm	20
	Ancho		18
	Longitud		100

**Fuente:** Víctor Suárez, Diego Trujillo.

### 3.2.2. DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS

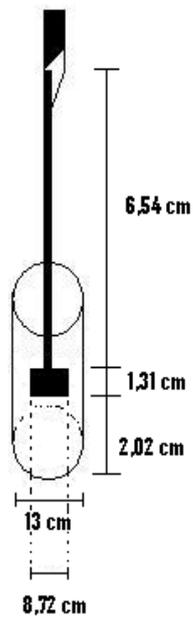
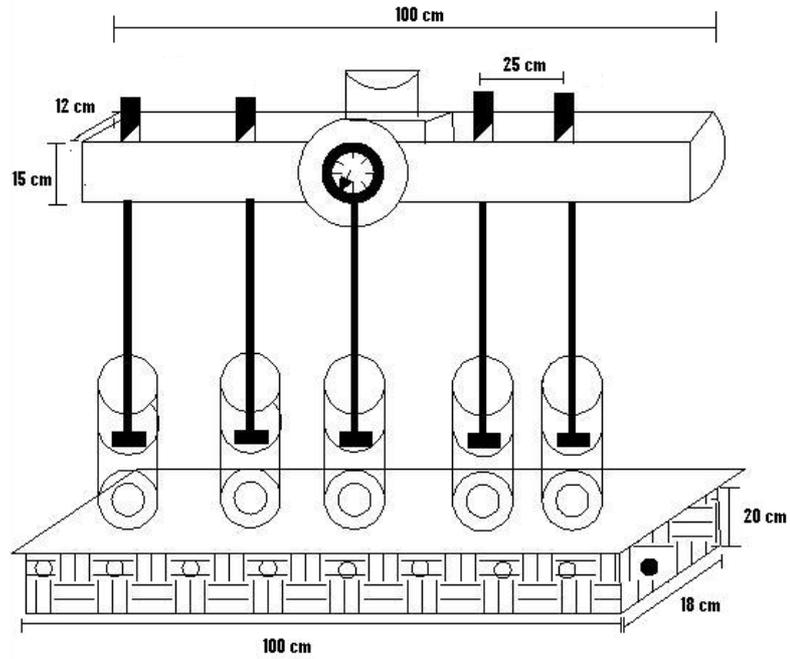


Fig. 3.2.2-1 Dimensionamiento del equipo

### 3.2.3. CONCENTRACION DE SULFATO DE ALUMINIO

**TABLA 3.2.3-1**  
**CONCENTRACION DE SULFATO DE ALUMINIO**

Volumen adicionado (mL.)	pH	Concentración de sulfato de aluminio (%)	Turbidez residual (NTU)
10	7,29	1	52,5
		2	48,7
		3	34,9
		4	54,0
		5	60,0
		10	96,1
		15	187,3
		20	190,4
		25	194,2

Fuente: Víctor Suárez, Diego Trujillo.

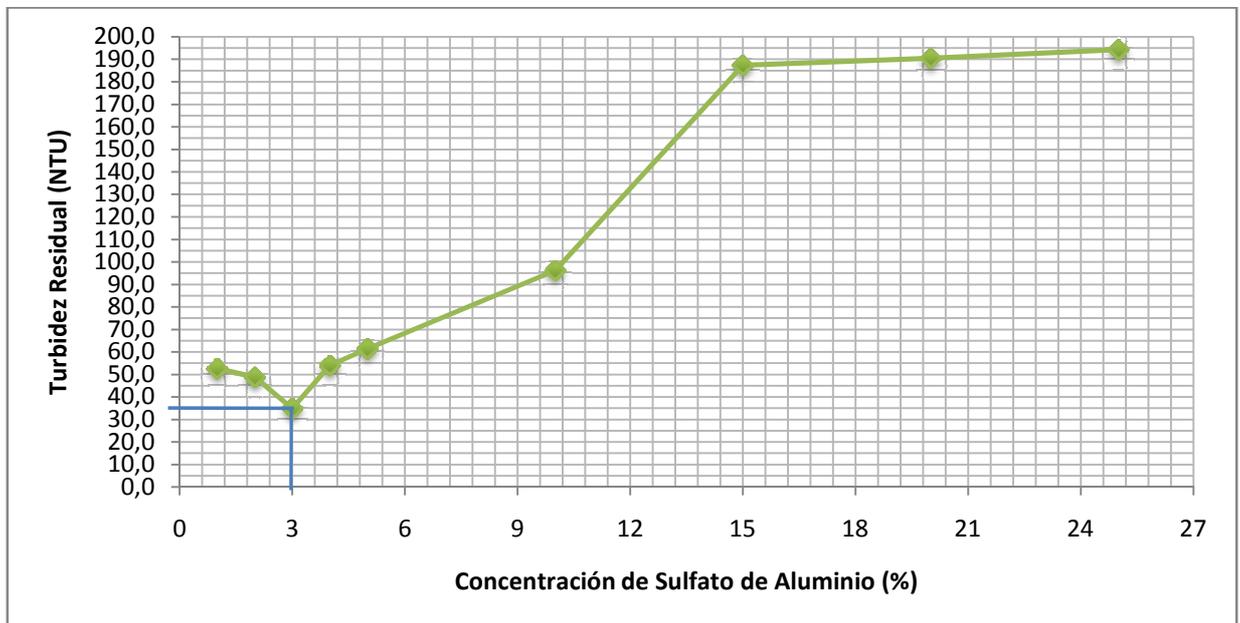


Fig. 3.2.3-1 CONCENTRACION DE SULFATO DE ALUMINIO

### 3.2.4. DOSIFICACION DE VOLUMEN DE SULFATO DE ALUMINIO

TABLA 3.2.4-1

#### DOSIFICACION DE VOLUMEN DE SULFATO DE ALUMINIO

Concentración de sulfato de aluminio (%)	pH	Volumen adicionado (mL.)	Turbidez residual (NTU)
3	7,29	5	41,5
		10	34,9
		15	52,8
		20	67,9

Fuente: Víctor Suárez, Diego Trujillo.

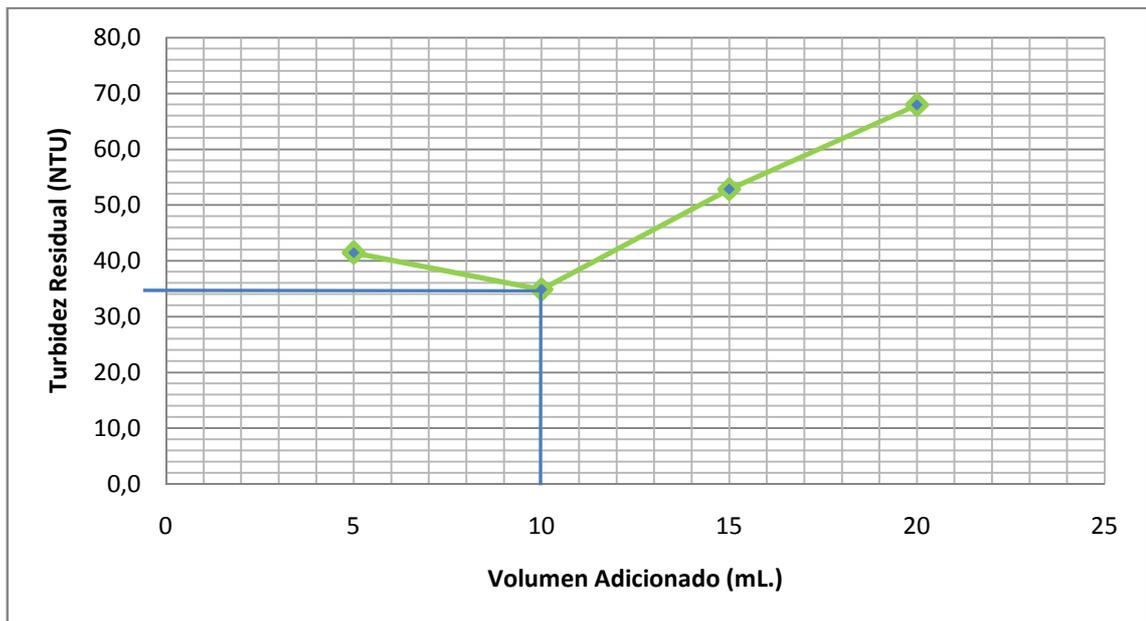


Fig.3.2.4-1 DOSIFICACION DE VOLUMEN DE SULFATO DE ALUMINIO

### 3.2.5. VARIACION DE pH DEL AGUA RESIDUAL

TABLA 3.2.5-1

#### VARIACION DE pH DEL AGUA RESIDUAL

Concentración de sulfato de aluminio (%)	Volumen adicionado (mL.)	pH	Turbidez residual (NTU)
3	10	4	49,1
		7	36,9
		8	56,5

Fuente: Víctor Suárez, Diego Trujillo.

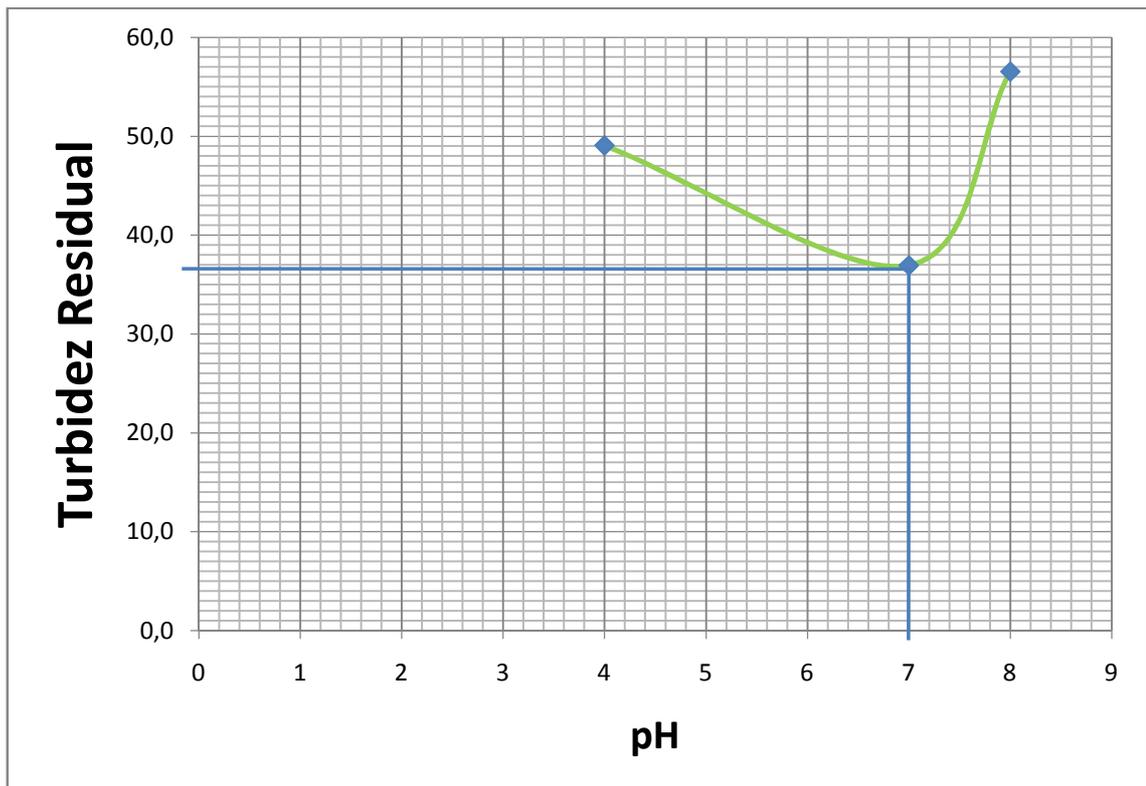


Fig. 3.2.5-1 VARIACION DE pH DEL AGUA RESIDUAL

### **3.3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

El agua del río Chibunga al ser un vertedero de aguas domésticas como industriales presenta una gran contaminación. En los días de muestreo existió una turbiedad promedio de 106,3 NTU debido a que no hubo variaciones significativas en las condiciones ambientales y climatológicas

Para las paletas se escogieron las del tipo de palas planas, porque el líquido es agua, por lo que, su viscosidad es baja y la velocidad de agitación es lenta además este tipo de paletas no son eficaces para mantener sólidos en suspensión, en comparación con las paletas tipo hélice o turbina que giran a revoluciones superiores y son eficaces para mantener sólidos en suspensión.

Se debe procurar mantener constante la temperatura en las jarras por tal motivo la base iluminada está formada por material acrílico y un foco fluorescente y no incandescente ya que este último genera un incremento de temperatura lo cual es indeseable en los procesos de coagulación y floculación.

Con la aplicación de 10 mL. de solución de sulfato de aluminio al 3 %, a un pH de 7 se logró disminuir en un 67% la turbiedad inicial esto es de 106,3 NTU a 34,09 NTU, faltando por remover aun 18% de los sólidos en suspensión. Este valor es próximo a lo que establece el Texto Unificado de Legislación Ambiental del Ecuador, TULAS Libro VI, Anexo 1, en la sección destinada al criterio de calidad para aguas con fines recreativos que permite un límite máximo de turbiedad de 20 NTU.

Valores de concentración debajo de este punto dan turbiedades altas porque con la utilización de soluciones muy diluidas de sulfato de aluminio da la

formación de flocs muy débiles que tienden a romperse y se mantienen suspendidos en el agua. Así mismo valores por encima de este punto dan también un fuerte incremento en la turbiedad debido a que con una sobresaturación de las concentraciones de sulfato de aluminio existe un cambio de carga en las partículas coloidales lo que genera una reconstrucción de la doble capa eléctrica de los coloides evitando su sedimentación.

### 3.4. REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO

#### 3.4.1. RECURSOS HUMANOS

**TABLA 3.4.1-1**  
**RECURSOS HUMANOS**

<b>DENOMINACION</b>	<b>COSTO (dólares)</b>
Mano de obra para la construcción del equipo	200
Asesoría Tutor	70
Asesoría Colaborador	70
<b>TOTAL</b>	<b>340</b>

Fuente: Víctor Suárez, Diego Trujillo.

#### 3.4.2. RECURSOS MATERIALES

**TABLA 3.4.2-1**  
**RECURSOS MATERIALES**

<b>DENOMINACION</b>	<b>COSTO (dólares)</b>
Materiales y suministros de oficina	200
Material para la construcción del equipo	400
Imprevistos (10%)	60
<b>TOTAL</b>	<b>660</b>

Fuente: Víctor Suárez, Diego Trujillo.

#### 3.4.3. RECURSO TOTALES

**TABLA 3.4.3-1**  
**RECURSO TOTALES**

<b>DENOMINACION</b>	<b>COSTO (dólares)</b>
Recursos Humanos	340
Recursos Materiales	660
<b>Subtotal</b>	<b>1000</b>
Imprevistos 10%	100
<b>TOTAL</b>	<b>1100</b>

Fuente: Víctor Suárez, Diego Trujillo.

**CAPITULO IV**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

- La turbiedad inicial promedio del agua fue de 106,3 NTU.
- Las variables óptimas del proceso fueron: concentración de coagulante (sulfato de aluminio soluciones del 1% al 25%), pH (7,29), revoluciones por minuto (40- 300), volumen adicionado (5mL/L - 20 mL/L), temperatura (18 C).
- El valor determinado para accionar el sistema de agitación es de 0,024 HP
- Después de los cálculos realizados se determinó las siguientes dimensiones para los agitadores: Longitud del brazo 6,54 cm, Espesor del rodete 0,654 cm, Diámetro del rodete 8,72 cm, Alto de la paleta 1,31 cm
- Se logró reducir la turbidez inicial en un 67% mediante la aplicación de 10 mL. de sulfato de aluminio al 3% a un pH de 7

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Para la correcta utilización del equipo de jarras se debe tener especial atención en el momento de la aplicación del coagulante ya que debe ser incorporado al mismo tiempo en todas las jarras con el fin de evitar errores en los tiempos de agitación.
- Se debe ser preciso en los tiempos tanto de agitación rápida como de agitación lenta pues variaciones en ellos dan resultados erróneos.
- Se debe tener atención en la base iluminada ya que si esta base posee un foco que genere calor este influenciara directamente en el resultado.
- Se debe tener precaución en la preparación de la soluciones de los coagulantes a ser utilizados así como en el tiempo de almacenamiento de los mismos en el caso en particular del sulfato de aluminio no debe exceder los tres meses.
- Debe evitarse el lavado de las jarras con detergentes ya que estos tienen compuestos anionicos que son absorbidos por las paredes de las jarras y si no son removidos de forma correcta pueden afectar los resultados de las pruebas en forma significativa

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1.-- BANDERAS, A. Operaciones Unitarias. México: Mc Graw Hill, 1997. pp. 25- 32
- 2.-- BRITO, H. Texto Básico de Operaciones Unitarias I. 2ª.ed. Riobamba, 2006. pp. 77
- 3.-- CRITES, R. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Medellín: Mc Graw Hill, 2000. pp. 25-26, 42
- 4.-- FOUST, A. Principio de Operaciones Unitarias. 7ª. ed. México: Cecsa, 1998. pp. 113-116
- 5.-- GEANKOPLIS, J. Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias. México: Continental, 1982. pp. 120-124
- 6.-- KASATKIN, J. Procesos y Equipos de la Industria Química. Moscú: Mir, 1978. pp. 75-78
- 7.-- MARTÍNEZ, S. Parámetros de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 1999. pp. 14
- 8.-- MCCABE, W. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 6ª.ed. México: Mc Graw Hill, 1980. pp. 253-258
- 9.-- OCON. J. Problemas de Ingeniería Química. México: Aguilar, 1980. pp. 91-93
- 10.-- PERRY, J. Manual del Ingeniero Químico. 3ª.ed. México: Mc Graw Hill, 1974. pp. 552

- 11.-- SMITH, C. Control Automático de Procesos. 2ª.ed. México: Limusa,  
1995. pp. 15
- 12.-- ULRICH, G. Procesos de Ingeniería Química. México: McGrawHill,  
1995. pp. 65-72
- 13.-- VIAN, A. Elementos de Ingeniería Química. 2ª.ed. Madrid: Aguilar,  
2001. pp. 116-122

### **BIBLIOGRAFÍA INTERNET**

- 14.-- AGITACIÓN: objetivos  
<http://www.firp.ula.ve/archivos/curso/Agitacion.pdf>  
(2010-01-20)
- 15.-- AGUA RESIDUAL: características físicas y químicas  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas\\_negras](http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_negras)  
(2010-09-15)
- 16.-- AGUA RESIDUAL: propiedades  
[http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulosfluoreciencia/calaguas\\_cap21.pdf](http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulosfluoreciencia/calaguas_cap21.pdf)  
(2010-01-18)
- 17.-- COAGULACION: etapas  
<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/02554-coagulacion.pdf>  
(2010-01-18)
- 18.-- COAGULACION: factores  
<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/02554-coagulacion.pdf>

(2010-01-18)

19.-- COLOIDES: desestabilización

<http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3938/4/>

BVCI0003303\_4.pdf

(2010-01-19)

20.-- COLOIDES: propiedades

[http://www.scribd.com/doc/25943804/Coloides\\_Soluciones-y-](http://www.scribd.com/doc/25943804/Coloides_Soluciones-y-Emulsiones)

Emulsiones

(2010-01-17)

21.-- FLOCULACIÓN: principios

<http://www.digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/1511/1/>

nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf

(2010-01-18)

23.-- PRUEBA DE JARRAS: función

<http://oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomoll/once.pdf>

(2010-01-19)

24.-- PRUEBA DE JARRAS: resultados

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-02a.pdf>

(2010-01-19)

25.-- SISTEMAS DE AGITACIÓN: Dimensionamiento

<http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

(2010-01-20)

# ANEXOS

**ANEXO I**

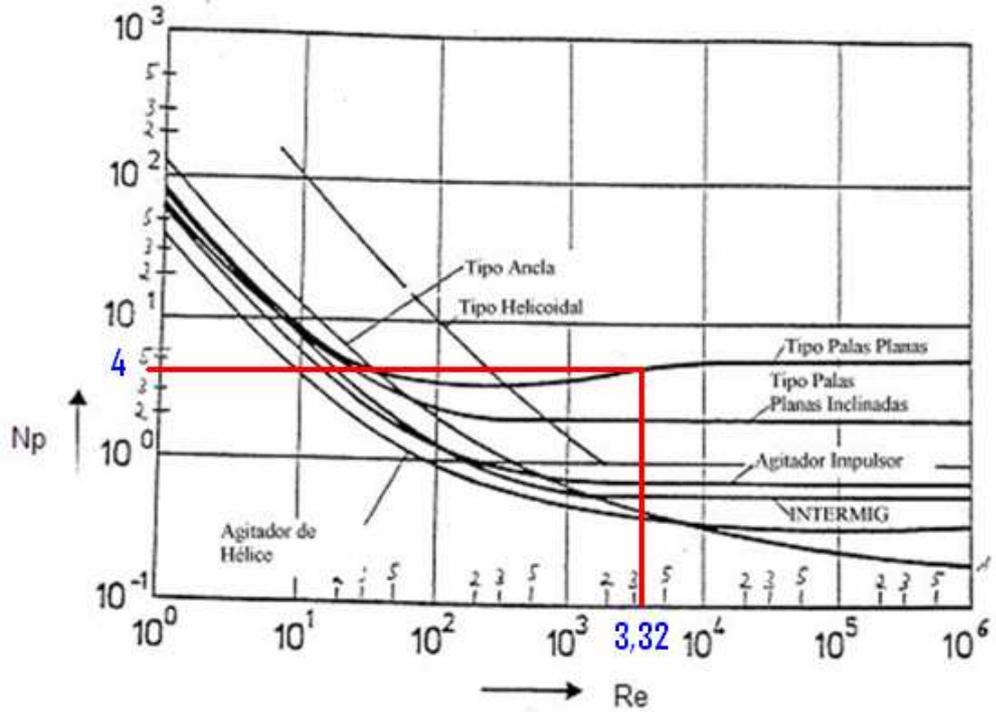
**TABLA DE VISCOSIDAD DEL AGUA RESIDUAL**

Temperatura <i>t</i> °C	Viscosidad † $\mu'$ , centipoises	Conductividad calorífica * <i>k</i> , kcal/m-h-°C	Densidad ** $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$f = \left( \frac{k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \right)^{1/2}$
0	1,794	0,476	999,87	6 900
5	1,519	0,485	999,99	7 860
10	1,310	0,496	999,73	8 870
15	1,140	0,505	999,13	9 900
20	1,005	0,513	998,23	10 930
25	0,894	0,522	997,07	12 150
30	0,801	0,529	995,67	13090
35	0,723	0,535	994,06	14 160
40	0,656	0,541	992,24	15 260
45	0,599	0,547	990,25	16 370
50	0,549	0,553	988,07	17 510
60	0,470	0,562	983,24	19 680
70	0,406	0,570	977,81	21920
80	0,357	0,577	971,83	24 080
90	0,317	0,582	965,34	26 170
100	0,284	0,586	958,38	28 220
110	0,256	0,588	951,0	30 190
120	0,232	0,589	943,4	32 120
130	0,212	0,589	935,2	33 910
140	0,196	0,589	926,4	36 340
150	0,184	0,589	917,3	36 090

<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>VISCOSIDAD DEL AGUA RESIDUAL</b>		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar				
		<b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA</b>	Lámina	Escala	Fecha
		Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa			

## ANEXO II

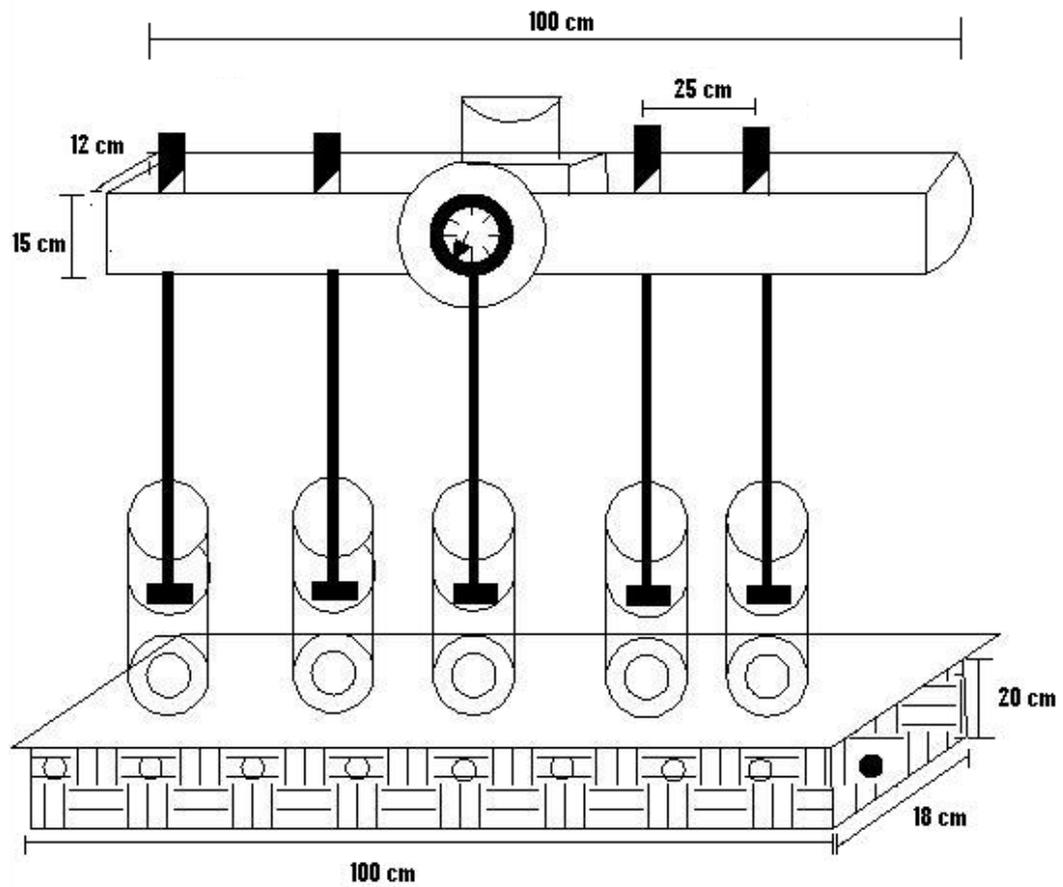
### GRAFICA DE CORRELACION DE POTENCIA



<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>GRAFICA DE CORRELACION DE POTENCIA</b>		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar				
		Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa			

**ANEXO III**

**DIAGRAMA DEL EQUIPO**



<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA</b>  Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa	<b>DIAGRAMA DEL EQUIPO</b>		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar				

**ANEXO IV**  
**EQUIPO DE JARRAS**



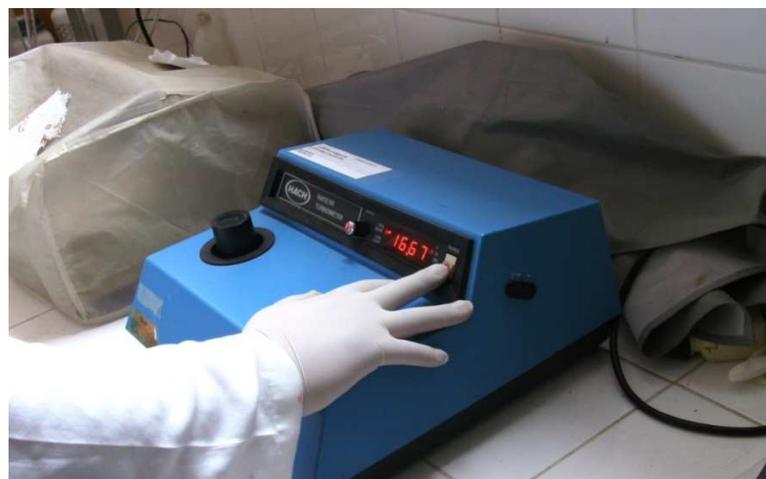
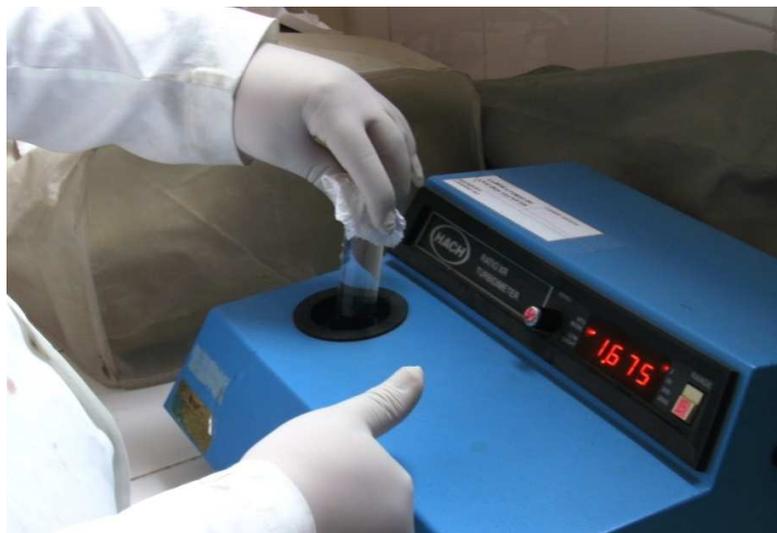
<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>		<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>EQUIPO DE JARRAS</b>		
	Certificado	Por eliminar				
	Por Aprobar	Para informar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA</b>			
	Aprobado	Por calificar	Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa	Lámina	Escala	Fecha

**ANEXO V**  
**TOMA DE MUESTRAS**



<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>		<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>TOMA DE MUESTRAS</b>		
	Certificado	Por eliminar				
	Por Aprobar	Para informar	Víctor Suárez Oquendo	Lámina	Escala	Fecha
	Aprobado	Por calificar	Diego Trujillo Villa			

**ANEXO VI**  
**PRUEBAS DE LABORATORIO**



<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>PRUEBAS DE LABORATORIO</b>		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar				

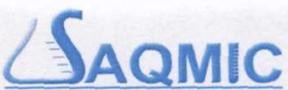
**ANEXO VII**  
**PRUEBAS DE LABORATORIO**



<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>PRUEBAS DE LABORATORIO</b>		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar				
		Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa			

## ANEXO VIII

### ANALISIS TECNICO DEL AGUA SIN TRATAR



SAQMIC  
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 - 032360260  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba - Ecuador

---

**INFORME DE ANALISIS QUIMICO**

*Solicitado por:* Sr. Diego Trujillo  
*Fecha de análisis:* 07 de Octubre de 2010  
*Fecha de entrega de resultados:* 08 de Octubre de 2010  
*Tipo de muestras:* aguas superficiales del Río Chibunga, inicio de muestreo  
*Localidad:* Riobamba

**ANALISIS QUÍMICO:**

Día 1

Determinaciones	Unidades	Resultados
Turbidez inicial	NTU	105.3
pH inicial	Unid	7.29

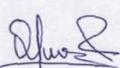
Día 2

Determinaciones	Unidades	Resultados
Turbidez inicial	NTU	107.8
pH inicial	Unid	7.32

Día 3

Determinaciones	Unidades	Resultados
Turbidez inicial	NTU	105.8
pH inicial	Unid	7.24

ATENTAMENTE



Dra. Gina Álvarez Reyes





Dra. Fabiola Villa

*Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo*

<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>ANALISIS TECNICO DEL AGUA SIN TRATAR</b>		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA</b>			
		Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa	Lámina	Escala	Fecha

## ANEXO IX

### ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA



Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 032360260  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

#### INFORME DE ANALISIS QUIMICO

*Solicitado por:* Sr. Diego Trujillo  
*Fecha de análisis:* 05 de Octubre de 2010  
*Fecha de entrega de resultados:* 08 de Octubre de 2010  
*Tipo de muestras:* aguas superficiales del Río Chibunga, día 1  
*Localidad:* Riobamba

#### ANALISIS QUIMICO:

Concentración de sulfato de aluminio (%)	Volumen adicionado (ml.)	pH Unid	Turbidez (NTU)
1	10	7,29	51,3
2	10	7,29	48,2
3	10	7,29	34,3
4	10	7,29	54,2
5	10	7,29	60,3
10	10	7,29	97,3
15	10	7,29	187,3
20	10	7,29	190,3
25	10	7,29	195

ATENTAMENTE

Dra. Gina Álvarez Reyes



Dra. Fabiola Villa

Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo

NOTAS	Categoría del diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA	Lámina	Escala	Fecha
		Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa			

## ANEXO X

### ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA



Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 032360260  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

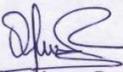
#### INFORME DE ANALISIS QUIMICO

*Solicitado por:* Sr. Diego Trujillo  
*Fecha de análisis:* 05 de Octubre de 2010  
*Fecha de entrega de resultados:* 08 de Octubre de 2010  
*Tipo de muestras:* aguas superficiales del Río Chibunga, día 1  
*Localidad:* Riobamba

#### ANALISIS QUÍMICO:

Concentración de sulfato de aluminio (%)	Volumen adicionado (ml.)	pH Unid	Turbidez (NTU)
3	10	4.0	49,5
3	10	7.0	36,7
3	10	8.0	56,9

ATENTAMENTE

  
Dra. Gina Álvarez Reyes



  
Dra. Fabiola Villa

Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo

NOTAS	Categoría del diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA  Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa	Lámina	Escala	Fecha

## ANEXO XI

### ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA



Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 032360260  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

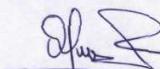
#### INFORME DE ANALISIS QUIMICO

*Solicitado por:* Sr. Diego Trujillo  
*Fecha de análisis:* 05 de Octubre de 2010  
*Fecha de entrega de resultados:* 08 de Octubre de 2010  
*Tipo de muestras:* aguas superficiales del Río Chibunga, día 1  
*Localidad:* Riobamba

#### ANALISIS QUÍMICO:

Concentración de sulfato de aluminio (%)	Volumen adicionado (ml.)	pH Unid	Turbidez (NTU)
3	5	7,29	41,8
3	10	7,29	34,3
3	15	7,29	52,3
3	20	7,29	68,9

ATENTAMENTE

  
Dra. Gina Álvarez Reyes



  
Dra. Fabiola Villa

Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo

NOTAS	Categoría del diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA	Lámina	Escala	Fecha
		Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa			

## ANEXO XII

### ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA



Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 032360260  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

#### INFORME DE ANALISIS QUIMICO

*Solicitado por:* Sr. Diego Trujillo

*Fecha de análisis:* 06 de Octubre de 2010

*Fecha de entrega de resultados:* 08 de Octubre de 2010

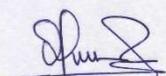
*Tipo de muestras:* aguas superficiales del Río Chibunga, día 2

*Localidad:* Riobamba

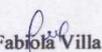
#### ANALISIS QUÍMICO:

Concentración de sulfato de aluminio (%)	Volumen adicionado (ml.)	pH Unid	Turbidez (NTU)
3	5	7,29	40,5
3	10	7,29	35,4
3	15	7,29	53,5
3	20	7,29	67,7

ATENTAMENTE

  
Dra. Gina Álvarez Reyes



  
Dra. Fabiola Villa

Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo

NOTAS	Categoría del diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA	Lámina	Escala	Fecha
		Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa			

## ANEXO XIII

### ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA



Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 032360260

Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

#### INFORME DE ANALISIS QUIMICO

*Solicitado por:* Sr. Diego Trujillo

*Fecha de análisis:* 06 de Octubre de 2010

*Fecha de entrega de resultados:* 08 de Octubre de 2010

*Tipo de muestras:* aguas superficiales del Río Chibunga, día 2

*Localidad:* Riobamba

#### ANALISIS QUÍMICO:

Concentración de sulfato de aluminio (%)	Volumen adicionado (ml.)	pH Unid	Turbidez (NTU)
3	10	4.0	48,1
3	10	7.0	37,2
3	10	8.0	55,6

ATENTAMENTE

  
Dra. Gina Álvarez Reyes



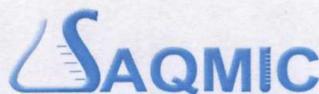
  
Dra. Fabiola Villa

Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.

NOTAS	Categoría del diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA	ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar	Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa	Lámina	Escala	Fecha

## ANEXO XIV

### ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA



Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 032360260  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

#### INFORME DE ANALISIS QUIMICO

*Solicitado por:* Sr. Diego Trujillo  
*Fecha de análisis:* 06 de Octubre de 2010  
*Fecha de entrega de resultados:* 08 de Octubre de 2010  
*Tipo de muestras:* aguas superficiales del Río Chibunga, día 2  
*Localidad:* Riobamba

#### ANALISIS QUÍMICO:

Concentración de sulfato de aluminio (%)	Volumen adicionado (ml.)	pH Unid	Turbidez (NTU)
1	10	7,29	52,3
2	10	7,29	49,3
3	10	7,29	35,6
4	10	7,29	53,7
5	10	7,29	62,3
10	10	7,29	95,1
15	10	7,29	186,5
20	10	7,29	191,5
25	10	7,29	193,3

ATENTAMENTE

Dra. Gina Álvarez Reyes

  
Dra. Fabiola Villa

Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo

NOTAS	Categoría del diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA	Lámina	Escala	Fecha
		Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa			

## ANEXO XV

### ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA



Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 032360260  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

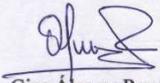
#### INFORME DE ANALISIS QUIMICO

*Solicitado por:* Sr. Diego Trujillo  
*Fecha de análisis:* 07 de Octubre de 2010  
*Fecha de entrega de resultados:* 08 de Octubre de 2010  
*Tipo de muestras:* aguas superficiales del Río Chibunga, día 3  
*Localidad:* Riobamba

#### ANALISIS QUÍMICO:

Concentración de sulfato de aluminio (%)	Volumen adicionado (ml.)	pH Unid	Turbidez (NTU)
3	5	7,29	42,1
3	10	7,29	34,9
3	15	7,29	52,7
3	20	7,29	67,2

ATENTAMENTE

  
Dra. Gina Álvarez Reyes



  
Dra. Fabiola Villa

Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo

NOTAS	Categoría del diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA		
	Certificado Por eliminar Por Aprobar Para informar Aprobado Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA  Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa	Lámina	Escala	Fecha

## ANEXO XVI

### ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA



Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 032360260  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

#### INFORME DE ANALISIS QUIMICO

Solicitado por: Sr. Diego Trujillo

Fecha de análisis: 07 de Octubre de 2010

Fecha de entrega de resultados: 08 de Octubre de 2010

Tipo de muestras: aguas superficiales del Río Chibunga, día 3

Localidad: Riobamba

#### ANALISIS QUÍMICO:

Concentración de sulfato de aluminio (%)	Volumen adicionado (ml.)	pH Unid	Turbidez (NTU)
3	10	4.0	49,6
3	10	7.0	36,9
3	10	8.0	57,1

ATENTAMENTE

  
Dra. Gina Alvarez Reyes



  
Dra. Fabiola Villa

Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo

NOTAS	Categoría del diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA		
	Certificado Por eliminar Por Aprobar Para informar Aprobado Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA  Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa	Lámina	Escala	Fecha

## ANEXO XVII

### ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA



Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos  
 Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 032360260  
 Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

#### INFORME DE ANALISIS QUIMICO

*Solicitado por:* Sr. Diego Trujillo  
*Fecha de análisis:* 07 de Octubre de 2010  
*Fecha de entrega de resultados:* 08 de Octubre de 2010  
*Tipo de muestras:* aguas superficiales del Río Chibunga, día 3  
*Localidad:* Riobamba

#### ANALISIS QUÍMICO:

Concentración de sulfato de aluminio (%)	Volumen adicionado (ml.)	pH Unid	Turbidez (NTU)
1	10	7,29	53,9
2	10	7,29	48,7
3	10	7,29	34,9
4	10	7,29	54,1
5	10	7,29	61,5
10	10	7,29	95,9
15	10	7,29	188,1
20	10	7,29	189,3
25	10	7,29	194,3

ATENTAMENTE



Dra. Gina Alvarez Reyes

Dra. Fabiola Villa

Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo

<b>NOTAS</b>	<b>Categoría del diagrama</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	ANALISIS TECNICO DEL AGUA TRATADA		
	Certificado      Por eliminar Por Aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar				
		Víctor Suárez Oquendo Diego Trujillo Villa			

**MANUAL DE  
OPERACIÓN DEL  
EQUIPO DE PRUEBA DE  
JARRAS**

Antes de empezar a utilizar el equipo debemos seguir algunas instrucciones básicas para el mejor desempeño del equipo.

Asegurarnos que el equipo se encuentre desconectado



Posteriormente se levanta toda la parte superior como se indica en le grafico.



Verificamos que las jarras se encuentren limpias para poder empezar a usar el equipo.



Colocamos el volumen predeterminado en cada jarra esto es de 1 litro.



Colocamos encima de la base iluminada en los lugares específicos para cada jarra.



Procedemos a colocar la parte superior del equipo en el lugar correspondiente.



Prendemos la base iluminada con el interruptor A que se encuentra en la parte inferior izquierda del equipo.



En este momento se debe prender el sistema de agitación de acuerdo a las revoluciones por minuto que se desee.



Se regula el tiempo necesario de mezcla utilizando el temporizador.



De forma inmediata se debe colocar el coagulante a cada jarra procurando que la dosificación sea simultánea en cada jarra para que todos tengan las mismas condiciones.



Una vez transcurrido la agitación rápida y la agitación lenta se procede a dejar reposar cada jarra un tiempo predeterminado.



Se procede a levantar la parte superior del equipo.



Se extrae un determinado volumen de cada jarra para poder analizarlo en el turbidímetro.

