

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**DISEÑO DE DOSIFICADORES DE SUSTANCIAS QUÍMICAS  
EMPLEADOS EN PLANTAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Fleitas R., Jorge T.  
para optar al Título de  
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2010.

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **DISEÑO DE DOSIFICADORES DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EMPLEADOS EN PLANTAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.**

Tutor Académico: Prof. Fausto Carpentiero

Tutor Industrial: Ing. Aris Gavidia

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Fleitas R., Jorge T.  
para optar al Título de  
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2010.



Caracas, 05 de mayo de 2.010

## ACTA

Los abajo firmantes, Miembros del Jurado Examinador designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller:

**JORGE FLEITAS**

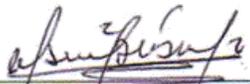
*Titulado:*

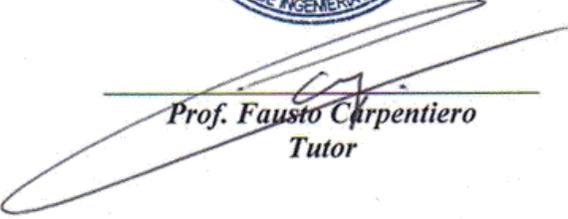
**“DISEÑO DE DOSIFICADORES DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EMPLADOS EN PLANTAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el Plan de Estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Denise Santaromita  
Jurado



  
\_\_\_\_\_  
Prof. Manuel Martínez  
Jurado

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Fausto Carpentiero  
Tutor

## **DEDICATORIA**

A esa energía que nos une a todos y a la que todos pertenecemos, unos la llaman Gaia, muchos otros, Dios.

A mi país, Venezuela, que esta tesis demuestre que se puede trabajar en beneficio de la patria y que no es imposible.

A mi abuela Ylde, a mis padres Eneida y Jaime, a mi hermano Jairo, a mi novia Grecia y a mis amigos cercanos, los que siempre estuvieron ahí.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar a la Universidad Central de Venezuela donde cursé mis estudios de pregrado y a los profesores que me aportaron el conocimiento.

A la Fundación Instituto de Ingeniería (FII) por darme la oportunidad de realizar este trabajo en sus instalaciones y brindarme toda la ayuda que necesité.

A los trabajadores del Centro de Ingeniería Mecánica (CIMEC) y del Centro de Tecnología de los Materiales (CTM) de la FII. En especial a: Aris Gavidia, Nora Expósito, Raúl Romero, Joan Graterol, Henry Alfonso, Iván Zerpa, Juan Teixeira, Jesús Bello, Augusto Rodríguez, Nayarit Díaz, César Lovera, Raúl Ángel, Javier Mañaricua, Elba Hernández, Lissett Franqueira, Neyla Camacho, Alexis Álvarez, Ángel Maiz, Javier Gómez.

Al ingeniero Luis Vásquez y al profesor Iván Saavedra, por su ayuda incondicional en el tema de manejo de compuestos pulverulentos.

A la profesora Denise Santaromita, por su apoyo y guía para la realización de este trabajo.

Al T.S.U. en Metalurgia Carlos Sánchez, por compartir su experiencia en la selección de materiales.

A mis amigos que de alguna u otra manera me brindaron su colaboración.

A mi abuela y mi familia por ser un pilar de apoyo durante toda mi vida.

A mis padres y a mi novia por ser tan persistentes y siempre querer que dé lo mejor de mí, para que sea mejor gente.

Gracias a todos.

**Fleitas R., Jorge T.**

**DISEÑO DE DOSIFICADORES DE SUSTANCIAS QUÍMICAS  
EMPLEADAS EN PLANTAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.**

Tutor Académico: Prof. Fausto Carpentiero. Tutor Industrial: Ing. Aris Gavidia. Caracas, U. C. V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica. 2010. 132 Pág.

Palabras claves: Dosificador, Potabilización, Agua, Hidróxido de Calcio, Sulfato de Aluminio, Hipoclorito de Calcio.

**RESUMEN**

El presente Trabajo Especial de Grado desarrolla el diseño de equipos dosificadores de sustancias químicas, dos (2) en solución (Hipoclorito de Calcio y Sulfato de Aluminio) y uno (1) en polvo (Hidróxido de Calcio), empleados en unidades de coagulación-floculación y desinfección de un sistema de potabilización de agua de río, ubicado en el Bajo Delta del Orinoco, Estado Delta Amacuro, el cual está siendo diseñado por la Fundación Instituto de Ingeniería. Para el desarrollo de los dosificadores, se empleó una metodología de diseño, donde se dividieron las funciones de operación de los equipos (almacenar sustancia en seco, controlar la cantidad de químico en cada dosis, disolver la sustancia en los dosificadores de solución, evitar el apelmazamiento en el dosificador de polvo y dosificar) en subsistemas individuales pero complementarios, con lo cual se facilitó la generación de ideas y la evaluación de las mismas. Luego de determinar las propuestas finales de cada subsistema, se procedió con el diseño de detalle de los equipos. Se seleccionó un motor eléctrico para automatizar el proceso de mezclado en los dosificadores de solución y un vibrador electromagnético para la dosificación en polvo automática. Adicionalmente, cada dosificador consta con un sistema de respaldo mecánico que permite el accionamiento manual en caso de ausencia de energía eléctrica. El diseño de los dosificadores representa un aporte significativo para el sistema de potabilización, con lo cual se mejorarán las condiciones de salud pública de las comunidades indígenas atendidas.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1 El problema .....	3
1.2 Objetivos .....	5
1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....	5
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.3 Justificación.....	6
1.3.1 <i>Tamaño</i> .....	6
1.3.2 <i>Modo de funcionamiento</i> .....	8
1.3.3 <i>Condiciones ambientales</i> .....	9
1.3.4 <i>Personal calificado</i> .....	9
1.4 Alcances .....	10
1.5 Limitaciones .....	11
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	12
2.1 Proceso de coagulación-floculación.....	12
2.1.1 <i>Concentración del coagulante</i> .....	14
2.1 Proceso de desinfección .....	16
2.2 Características de los compuestos químicos .....	18
2.2.1 <i>Hidróxido de Calcio <math>Ca(OH)_2</math></i> .....	18
2.2.2 <i>Sulfato de Aluminio <math>Al_2(SO_4)_3</math></i> .....	20
2.2.3 <i>Hipoclorito de Calcio <math>Ca(ClO)_2</math></i> .....	22
2.3 Comunidad indígena .....	24
2.4 Antecedentes .....	24
2.5 Método de diseño .....	29
2.5.1 <i>Definición del problema</i> .....	30

2.5.2	<i>División de las funciones de operación en subsistemas</i>	30
2.5.3	<i>Generación de ideas</i>	30
2.5.3.1	Tormenta de ideas	31
2.5.3.2	Analogía	32
2.5.3.3	Empatía	32
2.5.3.4	Inversión	33
2.5.4	<i>Evaluación y selección de las propuestas</i>	33
2.5.5	<i>Diseño de detalle</i>	35
2.6	Propiedades de flujo de polvos	35
2.6.1	<i>Índice de Carr</i>	35
2.6.2	<i>Ángulo de reposo</i>	36
2.7	Diseño del agitador para mezcla	38
2.8	Cálculo de potencia para el mezclado	39
2.9	Resistencia a la fatiga	41
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO		42
3.1	Definición del problema	42
3.2	División de las funciones de operación en subsistemas	42
3.3	Generación de ideas	44
3.4	Evaluación y selección de las propuestas	44
3.4.1	<i>Criterios de selección</i>	44
3.4.1.1	Funcionabilidad	45
3.4.1.2	Seguridad	45
3.4.1.3	Energía	45
3.4.1.4	Posibilidad de construcción	45
3.4.1.5	Compatibilidad	46
3.4.1.6	Operatividad	46
3.4.1.7	Protección del compuesto	46

3.4.1.8	Mantenimiento .....	47
3.4.1.9	Vida útil.....	47
3.4.1.10	Costos .....	47
3.4.1.11	Residuos .....	47
3.4.1.12	Estética .....	48
3.4.1.13	Ergonomía .....	48
3.4.1.14	Tamaño .....	48
3.4.2	<i>Matrices de decisión</i> .....	48
3.5	Diseño de detalle .....	53
CAPÍTULO IV DISEÑO DE DOSIFICADORES DE SUSTANCIAS		
QUÍMICAS EN SOLUCIÓN .....		
	DOSIFICADOR DE HIPOCLORITO DE CALCIO .....	54
4.1	Subsistema I: Disolución del compuesto químico .....	54
4.1.1	<i>Hélice tipo turbina con estator</i> .....	55
4.1.2	<i>Turbulencia utilizando deflectores</i> .....	55
4.1.3	<i>Hélice</i> .....	56
4.1.4	<i>Agitando el recipiente</i> .....	57
4.1.5	<i>Batidor de rotación alternativa</i> .....	57
4.1.6	<i>Mezclador magnético</i> .....	58
4.2	Subsistema II: Control de la cantidad de compuesto químico .....	58
4.2.1	<i>Temporizador y actuador</i> .....	59
4.2.2	<i>Reloj mecánico</i> .....	59
4.2.3	<i>Volumen de control</i> .....	60
4.2.4	<i>Proporcional al flujo de agua</i> .....	61
4.3	Subsistema III: Almacenamiento de la sustancia .....	61
4.3.1	<i>Recipiente único</i> .....	62
4.3.2	<i>Compartimientos separados</i> .....	62

4.3.3	<i>Compartimientos separados y removibles</i> .....	63
4.3.4	<i>Empaques sellados</i> .....	63
4.4	Subsistema IV: Adición del químico en polvo a la cámara de mezclado ..	
	.....	64
4.4.1	<i>Apertura de compuertas</i> .....	64
4.4.3	<i>Volteo del recipiente</i> .....	65
4.4.4	<i>Empujando con un pistón</i> .....	66
4.4.5	<i>Fuerza centrífuga</i> .....	66
4.4.6	<i>Girando los recipientes</i> .....	67
4.4.7	<i>Arrastre por vacío</i> .....	67
4.5	Subsistema V: Dosificación de la solución .....	68
4.5.1	<i>Válvula automática y manual</i> .....	68
4.5.2	<i>Dos válvulas en serie</i> .....	69
4.5.3	<i>Compuerta</i> .....	69
4.5.4	<i>Cámara de infusión</i> .....	70
4.5.5	<i>Dispensador</i> .....	70
4.5.6	<i>Cilindro-pistón</i> .....	71
4.5.7	<i>Bomba peristáltica lineal</i> .....	72
4.5.8	<i>Esponja</i> .....	72
4.6	Evaluación de las propuestas.....	73
4.7	Diseño de detalle .....	78
4.7.1	<i>Subsistema I: Disolución del compuesto químico</i> .....	78
4.7.1.1	<i>Recipiente de mezcla</i> .....	78
4.7.1.2	<i>Rodete del mezclador</i> .....	80
4.7.1.3	<i>Potencia necesaria para la agitación</i> .....	80
4.7.1.4	<i>Calculo del factor de seguridad del eje del mezclador</i> .....	81
4.7.2	<i>Sistema de transmisión</i> .....	82

4.7.2.1	Cadenas .....	82
4.7.2.2	Engranajes .....	83
4.7.2.3	Correas .....	84
4.7.2.4	Evaluación de las propuestas .....	84
4.7.3	<i>Acople de sistema automático y manual para el mezclador</i> .....	85
4.7.3.1	Acoples móviles .....	86
4.7.3.2	Desmontando un sistema.....	86
4.7.3.3	Mecanismo diferencial tipo automóvil .....	87
4.7.3.4	Evaluación de las propuestas .....	88
4.7.4	<i>Subsistema II: Control de la cantidad de compuesto químico</i> .....	89
4.7.5	<i>Subsistema IV: Adición del químico en polvo a la cámara de mezclado</i> .....	89
4.7.6	<i>Subsistema V: Dosificación de la solución</i> .....	91
4.7.7	<i>Selección de los materiales a utilizar</i> .....	91
	DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO.....	93
4.8	Diseño de detalle .....	93
4.8.1	<i>Recipiente de Sulfato de Aluminio en seco</i> .....	93
4.8.2	<i>Dosificación de la solución</i> .....	94
	CAPÍTULO V DISEÑO DEL DOSIFICADOR DE SUSTANCIA QUÍMICA EN POLVO .....	95
	DOSIFICADOR DE HIDRÓXIDO DE CALCIO .....	95
5.1	Subsistema I: Geometría del recipiente de almacenamiento.....	95
5.1.1	<i>Tolva cónica</i> .....	95
5.1.2	<i>Tolva trapezoidal</i> .....	96
5.2	Subsistema II: Sistema Anti apelmazante .....	96
5.2.1	<i>Vibración</i> .....	97
5.2.2	<i>Pasador giratorio</i> .....	97

5.2.3	<i>Elemento mecánico que al girar golpee el recipiente</i>	98
5.3	Subsistema III: Dosificación del químico en polvo	98
5.3.1	<i>Tornillo sin fin</i>	99
5.3.2	<i>Descarga a través de un área reducida</i>	100
5.3.3	<i>Paletas giratorias</i>	100
5.3.4	<i>Distribuidor tirabuzón</i>	101
5.3.5	<i>Raspador</i>	102
5.3.6	<i>Arrastre electromagnético</i>	102
5.3.7	<i>Correa</i>	103
5.3.8	<i>Diafragma</i>	103
5.4	Evaluación de las propuestas	104
5.5	Diseño de detalle	107
5.5.1	<i>Subsistema I: Geometría del recipiente de almacenamiento</i>	107
5.5.2	<i>Subsistema II: Sistema Anti apelmazante</i>	108
5.5.3	<i>Subsistema III: Dosificación del químico en polvo</i>	108
5.5.3.1	<i>Leva angular</i>	110
5.5.3.2	<i>Leva lineal</i>	111
5.5.4	<i>Tapa protectora</i>	112
5.5.5	<i>Selección de los materiales a utilizar</i>	113
CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE RESULTADOS		115
CONCLUSIONES		120
RECOMENDACIONES		122
GLOSARIO DE TÉRMINOS		123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		124
ANEXOS		128

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1	Ensamble del sistema de potabilización de agua.....	7
Fig. 1.2	Canaleta Parshall .....	8
Fig. 1.3	Tanque Coagulador.....	8
Fig. 2.1	Dosis Vs Turbiedad .....	15
Fig. 2.2	Hidróxido de Calcio.....	18
Fig. 2.3	Sulfato de Aluminio.....	20
Fig. 2.4	Hipoclorito de Calcio.....	22
Fig. 2.5	Clasificación de dosificadores .....	25
Fig. 2.6	Dosificador de cemento por banda modelo Gravit .....	26
Fig. 2.7	Dosificador Ktron Feeders modelo BSP-100 .....	27
Fig. 2.8	Zonas de funcionamiento del dosificador BSP-100 .....	27
Fig. 2.9	Bomba dosificadora por diafragma modelo Lewa Ecoflow <sup>®</sup> M900..	28
Fig. 2.10	Dosificador volumétrico serie MDP. Piovan.....	29
Fig. 2.11	Relación entre el ángulo de reposo, el índice de Carr y las características de flujo de un polvo .....	37
Fig. 2.12	Medidas de un agitador de turbina .....	38
Fig. 2.13	Número de potencia $N_p$ frente al Número de Reynolds $N_{Re}$ para turbinas de 6 palas .....	40
Fig. 4.1	Propuesta 4.1.1 Hélice tipo turbina con estator .....	55
Fig. 4.2	Propuesta 4.1.2 Turbulencia utilizando deflectores.....	55
Fig. 4.3	Propuesta 4.1.3 Hélice .....	56
Fig. 4.4	Propuesta 4.1.4 Agitando el recipiente .....	57
Fig. 4.5	Propuesta 4.1.5 Batidor de rotación alternativa.....	57
Fig. 4.6	Propuesta 4.1.6 Mezclador magnético.....	58
Fig. 4.7	Propuesta 4.2.1 Temporizador y actuador .....	59

Fig. 4.8	Propuesta 4.2.2 Reloj mecánico .....	59
Fig. 4.9	Propuesta 4.2.3 Volumen de control .....	60
Fig. 4.10	Propuesta 4.2.4 Proporcional al flujo de agua .....	61
Fig. 4.11	Propuesta 4.3.1 Recipiente único .....	62
Fig. 4.12	Propuesta 4.3.2 Compartimientos separados .....	62
Fig. 4.13	Propuesta 4.3.3 Compartimientos separados y removibles .....	63
Fig. 4.14	Propuesta 4.3.4 Empaques sellados .....	63
Fig. 4.15	Propuesta 4.4.1 Apertura de compuertas .....	64
Fig. 4.16	Propuesta 4.4.2 Compuerta deslizante .....	65
Fig. 4.17	Propuesta 4.4.3 Volteo del recipiente .....	65
Fig. 4.18	Propuesta 4.4.3 versión 2 .....	65
Fig. 4.19	Propuesta 4.4.4 Empujando con un pistón .....	66
Fig. 4.20	Propuesta 4.4.5 Fuerza centrífuga .....	66
Fig. 4.21	Propuesta 4.4.6 Girando los recipientes .....	67
Fig. 4.22	Propuesta 4.4.7 Arrastre por vacío .....	67
Fig. 4.23	Propuesta 4.5.1 Válvula automática y manual .....	68
Fig. 4.24	Propuesta 4.5.2 Dos válvulas en serie .....	69
Fig. 4.25	Propuesta 4.5.3 Compuerta .....	69
Fig. 4.26	Propuesta 4.5.4 Cámara de infusión .....	70
Fig. 4.27	Propuesta 4.5.5 Dispensador .....	70
Fig. 4.28	Propuesta 4.5.6 Cilindro-pistón .....	71
Fig. 4.29	Propuesta 4.5.7 Bomba peristáltica lineal .....	72
Fig. 4.30	Propuesta 4.5.8 Esponja .....	72
Fig. 4.31	Recipiente de mezcla .....	79
Fig. 4.32	Rodete del mezclador .....	80
Fig. 4.33	Propuesta 4.7.2.1 Cadenas .....	82
Fig. 4.34	Propuesta 4.7.2.2 Engranajes .....	83

Fig. 4.35	Propuesta 4.7.2.3 Correas .....	84
Fig. 4.36	Sistema de transmisión .....	85
Fig. 4.37	Propuesta 4.7.3.1 Acoples móviles.....	86
Fig. 4.38	Propuesta 4.7.3.2 Desmontando un sistema .....	86
Fig. 4.39	Propuesta 4.7.3.3 Mecanismo diferencial tipo automóvil .....	87
Fig. 4.40	Diferencial .....	88
Fig. 4.41	Recipiente de Hipoclorito de Calcio seco.....	89
Fig. 4.42	Compuerta deslizante .....	90
Fig. 4.43	Seguro de apertura .....	90
Fig. 4.44	Vista isométrica del Dosificador de Hipoclorito de Calcio .....	92
Fig. 4.45	Recipiente de Sulfato de Aluminio en seco .....	93
Fig. 4.46	Vista isométrica del Dosificador de Sulfato de Aluminio .....	94
Fig. 5.1	Propuesta 5.1.1 Tolva cónica.....	95
Fig. 5.2	Propuesta 5.1.2 Tolva trapezoidal .....	96
Fig. 5.3	Propuesta 5.2.1 Vibración .....	97
Fig. 5.4	Propuesta 5.2.2 Pasador giratorio .....	97
Fig. 5.5	Propuesta 5.2.3 Elemento mecánico que al girar golpee el recipiente .....	98
Fig. 5.6	Propuesta 5.3.1 Tornillo sin fin .....	99
Fig. 5.7	Propuesta 5.3.2 Descarga a través de un área reducida .....	100
Fig. 5.8	Propuesta 5.3.3 Paletas giratorias .....	100
Fig. 5.9	Propuesta 5.3.4 Distribuidor tirabuzón.....	101
Fig. 5.10	Propuesta 5.3.5 Raspador .....	102
Fig. 5.11	Propuesta 5.3.6 Arrastre electromagnético .....	102
Fig. 5.12	Propuesta 5.3.7 Correa.....	103
Fig. 5.13	Propuesta 5.3.8 Diafragma .....	103
Fig. 5.14	Tolva de almacenamiento .....	107

Fig. 5.15	Tope .....	109
Fig. 5.16	Varilla .....	109
Fig. 5.17	Propuesta 5.5.3.1 Leva angular .....	110
Fig. 5.18	Propuesta 5.5.3.2 Leva lineal.....	111
Fig. 5.19	Leva angular .....	112
Fig. 5.20	Tapa móvil.....	113
Fig. 5.21	Vista isométrica del Dosificador de Hidróxido de Calcio .....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 2.1.	Zonas de coagulación de la Fig. 2.1.....	15
Tabla. 2.2.	Datos generales del Hidróxido de Calcio .....	18
Tabla. 2.3.	Propiedades físicas del Hidróxido de Calcio .....	19
Tabla. 2.4.	Reactividad del Hidróxido de Calcio.....	19
Tabla. 2.5.	Riesgos para la salud del Hidróxido de Calcio .....	19
Tabla. 2.6.	Datos generales del Sulfato de Aluminio .....	20
Tabla. 2.7.	Propiedades físicas del Sulfato de Aluminio .....	21
Tabla. 2.8.	Reactividad del Sulfato de Aluminio.....	21
Tabla. 2.9.	Riesgos para la salud del Sulfato de Aluminio .....	21
Tabla. 2.10.	Datos generales del Hipoclorito de Calcio .....	22
Tabla. 2.11.	Propiedades físicas del Hipoclorito de Calcio .....	23
Tabla. 2.12.	Reactividad del Hipoclorito de Calcio.....	23
Tabla. 2.13.	Riesgos para la salud del Hipoclorito de Calcio .....	23
Tabla. 2.14.	Tipos de dosificadores. ....	25
Tabla. 2.15.	Escala de evaluación.....	33
Tabla. 2.16.	Ejemplo de una matriz de decisión .....	34
Tabla. 2.17.	Índice de Carr como indicativo de la capacidad de flujo de un polvo .....	36
Tabla. 2.18.	Ángulo de reposo como indicador de las propiedades de flujo de un polvo .....	37
Tabla. 2.19.	Factores de forma para dimensionamiento del rodete. ....	39
Tabla. 2.20.	Constantes a y b de la ecuación (3).....	41
Tabla. 3.1.	Criterios para la evaluación de la disolución del compuesto químico .....	49

Tabla. 3.2.	Criterios para la evaluación del control de la cantidad de compuesto químico .....	49
Tabla. 3.3.	Criterios para la evaluación del almacenamiento de la sustancia .....	50
Tabla. 3.4.	Criterios para la evaluación de la adición del químico en polvo a la cámara de mezclado .....	50
Tabla. 3.5.	Criterios para la evaluación de la dosificación de la solución .....	51
Tabla. 3.6.	Criterios para la evaluación de la geometría del recipiente de almacenamiento .....	51
Tabla. 3.7.	Criterios para la evaluación del sistema anti apelmazante.....	52
Tabla. 3.8.	Criterios para la evaluación de la dosificación del químico en polvo .....	52
Tabla. 4.1.	Matriz de decisión del Subsistema I: Disolución del compuesto químico .....	73
Tabla. 4.2.	Matriz de decisión del Subsistema II: Control de la cantidad de compuesto químico .....	74
Tabla. 4.3.	Matriz de decisión del Subsistema III: Almacenamiento de la sustancia.....	75
Tabla. 4.4.	Matriz de decisión del Subsistema IV: Adición del químico en polvo a la cámara de mezclado .....	76
Tabla. 4.5.	Matriz de decisión del Subsistema V: Dosificación de la solución .....	77
Tabla. 4.6.	Dimensiones del recipiente de mezcla.....	79
Tabla. 4.7.	Dimensiones del rodete.....	80
Tabla. 4.8.	Potencia requerida para la agitación .....	81
Tabla. 4.9.	Factores de seguridad para el eje del mezclador.....	81
Tabla. 4.10.	Matriz de decisión del Sistema de transmisión.....	84

Tabla. 4.11. Matriz de decisión del Acople de sistema automático y manual para el mezclador .....	88
Tabla. 4.12. Dimensiones del recipiente de almacenamiento de Hipoclorito de Calcio .....	89
Tabla. 4.13. Dimensiones del recipiente de almacenamiento de Sulfato de Aluminio .....	94
Tabla. 5.1. Matriz de decisión del Subsistema I: Geometría del recipiente de almacenamiento .....	104
Tabla. 5.2. Matriz de decisión del Subsistema II: Sistema Anti apelmazante .....	105
Tabla. 5.3. Matriz de decisión del Subsistema III: Dosificación del químico en polvo.....	106
Tabla. 5.4. Dimensiones del recipiente de almacenamiento de Hidróxido de Calcio .....	108
Tabla. 5.5. Matriz de decisión del Mecanismo de apertura para la dosificación .....	111

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

$\mu$	Viscosidad dinámica
$a$	Constante
$b$	Constante
$Da$	Diámetro del rodete del mezclador
$Dt$	Diámetro del tanque de mezclado
$E$	Altura de colocación del rodete desde la base
$g$	Gravedad
$H$	Nivel de la mezcla
$J$	Ancho de las placas deflectoras
$L$	Largo del rodete del mezclador
$m$	Coefficiente de corrección del $Np$
$n$	Velocidad de giro
$Nfr$	Número de Froude
$Np$	Número de Potencia
$Nre$	Número de Reynolds
$P$	Potencia
$Rrod$	Radio del rodete del mezclador
$W$	Ancho del rodete del mezclador
$\rho$ aparente	Densidad aparente
$\rho$ real	Densidad real
$\rho$	Densidad del líquido

## INTRODUCCIÓN

El agua representa un símbolo de vida, que abarca más de tres cuartas partes de la superficie terrestre y constituye más del 60% del cuerpo humano. Es esencial para el desarrollo de las personas y vital para su supervivencia. Diariamente se debe ingerir una cierta cantidad de agua, pero no de cualquier tipo, debe ser potable para evitar contraer enfermedades al consumirla. Esta condición se obtiene cuando se somete el agua cruda a un proceso de potabilización, en el cual se eliminan sólidos en suspensión, microorganismos patógenos, coloidales, sabor, olor, color, entre otros.

Dentro de las tecnologías que existen para la potabilización del agua, la de uso más común está basada en los siguientes procesos: coagulación-floculación, sedimentación, filtrado y desinfección. Durante la coagulación-floculación se dosifica Cal ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) para alcalinizar el agua y Sulfato de Aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) para formar los flocs, es decir, agregados de arcillas y partículas orgánicas entre otros. En la desinfección, como su nombre lo indica, se agrega Hipoclorito de Calcio ( $\text{Ca(OCl)}_2$ ) para eliminar agentes patógenos como bacterias, protozoarios, virus, entre otros.

Para garantizar que cada proceso se lleve a cabo de forma eficiente, es necesario controlar la forma, cantidad y tiempo en que se agrega cada compuesto químico, razón por la cual se utilizan dosificadores que regulen estos factores. Cada dosificador debe ser capaz de manejar el compuesto correspondiente, considerando sus características fisicoquímicas y dosis requerida. Es por esta razón que existen diversos tipos y diseños entre los cuales se pueden encontrar: volumétricos, tornillo sinfín, gravimétricos, a pistón, isobáricos, entre otros.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

A pesar de existir una gran variedad de dosificadores en el mercado, no todos se pueden instalar en los sistemas de potabilización debido a que estos sistemas son diseñados para condiciones especiales de calidad de agua, ubicación de la fuente, tipo de comunidad, número de habitantes, modo de funcionamiento, entre otros. Es decir, no existe un sistema de potabilización universal o estándar. En consecuencia, el dosificador a instalar debe adaptarse a los requerimientos de los procesos y unidades en las cuales serán incorporados.

La Fundación Instituto de Ingeniería está desarrollando un sistema de potabilización de agua para abastecer a comunidades indígenas de 250 habitantes del Bajo Delta del Orinoco. Las unidades de coagulación-floculación y desinfección de dicha planta, requieren la incorporación de dosificadores de Hidróxido de Calcio, Sulfato de Aluminio e Hipoclorito de Calcio, para lo cual, el diseño de los mismos se desarrolla en el presente trabajo.

La metodología de diseño aplicada durante el desarrollo de los equipos de dosificación, contempla las siguientes etapas: definición del problema, división de las funciones de los equipos en subsistemas, generación de ideas, evaluación y selección de las propuestas y por último el diseño de detalle. Esta metodología se utilizó en el desarrollo tanto de los dosificadores de solución como en el de polvo.

Luego de definir el diseño final de cada equipo, se discuten los resultados obtenidos y se justifican las selecciones realizadas. Seguidamente, se exponen las conclusiones y recomendaciones derivadas de los diseños, además de las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo de los mismos, que servirán al lector como fuente de información para ampliar el tema y el conocimiento en cuanto al diseño de equipos, procesos de potabilización de agua y otros aspectos relacionados con el presente trabajo.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 El problema**

La necesidad de abastecimiento de agua potable se vuelve indispensable en zonas urbanas o rurales, y en algunos casos mucho más urgente en comunidades aisladas de los principales centros poblados, donde los servicios básicos de salud y educación no son completamente atendidos, y las enfermedades gastrointestinales de origen hídrico son frecuentes. Tal es el caso de las comunidades indígenas ubicadas en el Bajo Delta del Orinoco, quienes usan el agua directamente del río para beber, cocinar, bañarse, entre otros.

La Fundación Instituto de Ingeniería para Investigación y Desarrollo Tecnológico (FII), adscrita al Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias, está desarrollando un sistema de potabilización de agua para 250 habitantes, destinado al suministro de agua potable a las comunidades indígenas del Delta del Orinoco, enmarcado en el proyecto: “Asistencia Técnica y Ambiental a Etnias y Comunidades Rurales”.

Debido a las características del agua del río Orinoco, para obtener agua potable, es indispensable agregar compuestos químicos al agua, que permitan la remoción de organismos patógenos, sólidos en suspensión y coloidales.

La FII desarrolló un sistema de potabilización similar al anterior, pero de menor capacidad, el cual abastece a 100 habitantes. Este sistema ya está construido y en funcionamiento desde el año 2008 en la comunidad de Muaina, donde se instaló el primer prototipo. Su diseño contempla la medición, adición y la disolución de los compuestos químicos de forma manual.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Unas de las actividades enmarcadas en el proyecto para 250 habitantes, es el diseño de dosificadores de Hidróxido de Calcio, Sulfato de Aluminio e Hipoclorito de Calcio, para acoplarlos a tanques de coagulación-floculación y de desinfección, que estén adaptados a las especificaciones de las unidades de tratamiento, con la finalidad de controlar la cantidad de compuesto químico incorporado en cada etapa del proceso. Cada dosificador se debe diseñar considerando las características fisicoquímicas del compuesto correspondiente y la dosis requerida.

Estos compuestos químicos se presentan comercialmente en forma de polvo, lo que significa que para su disolución en el agua se deben incorporar sistemas de mezclado previos a la dosificación para asegurar una distribución homogénea de los compuestos en el agua a tratar, en favor de agilizar las reacciones químicas correspondientes.

En el caso del Hidróxido de Calcio, éste se dosificará en polvo debido a que el sistema de mezclado está siendo diseñado por el Instituto de Ingeniería, el cual consiste en un mezclador hidráulico del tipo canaleta Parshall. En consecuencia, este trabajo abarcará sistemas de mezclado sólo para la disolución de Sulfato de Aluminio e Hipoclorito de Calcio.

Para garantizar que cada proceso se lleve a cabo de forma eficaz, es necesario controlar la forma, cantidad y tiempo en que se agrega cada compuesto químico, razón por la cual se utilizan dosificadores que regulen estos factores. Un mejor control implica una automatización de los procesos, aunque dadas las condiciones ambientales de la zona; su aislamiento de centros urbanos y la carencia de personal técnico calificado para su operación, se debe automatizar sólo las funciones que lo requieran realmente.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

La incorporación de los indígenas en la operación de los equipos, incentivará el sentido de compromiso de los habitantes para con el proceso de potabilización. Para el funcionamiento de los equipos de dicho sistema que así lo requieran, se instalarán paneles solares y un banco de baterías, debido a que la zona del Bajo Delta del Orinoco no dispone de un suministro directo de energía eléctrica. En consecuencia, los dosificadores deberán ser diseñados con un mecanismo de respaldo para su accionamiento manual, en caso de no disponer de energía eléctrica.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo general***

Diseñar dosificadores de sustancias químicas en solución y polvo empleados en unidades de coagulación y desinfección de un sistema de potabilización de agua de río en el Bajo Delta del Orinoco.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- Diseñar los componentes que conforman tres dosificadores para los siguientes compuestos químicos: Hidróxido de Calcio, Sulfato de Aluminio e Hipoclorito de Calcio.
- Proponer un sistema de automatización para el funcionamiento de los dosificadores.
- Incorporar un sistema mecánico para el accionamiento manual de los dispositivos.
- Seleccionar un sistema de mezclado y adaptarlo a los dosificadores de solución para la solubilización de Sulfato de Aluminio e Hipoclorito de Calcio.

### **1.3 Justificación**

La mayoría de los dosificadores empleados en plantas de potabilización de agua operan en ambientes controlados, bajo el mando de personal calificado, con circulación de agua continua y con unidades de tratamiento de gran tamaño. Para el caso del sistema de potabilización de agua de río para 250 personas, la operación se realiza por cargas o pulsos de agua, bajo ambientes no controlados, expuestos a condiciones ambientales de alta temperatura y humedad, con operadores no calificados y pequeñas unidades de tratamiento. En consecuencia, se requiere que el diseño de los dosificadores se adapte a estas condiciones y adicionen las cantidades de compuesto químicos correspondiente, ya sea en forma de gránulos o líquido.

Es muy importante controlar la forma y cantidad de compuesto químico que se agrega en los procesos para garantizar el buen funcionamiento del sistema y asegurar la calidad organoléptica, fisicoquímica y microbiológica del agua tratada. En consecuencia, el diseño debe garantizar que los sistemas de dosificación regulen la cantidad de compuesto a agregar en un tiempo determinado, para evitar excederse de la dosis recomendada o agregar dosis insuficientes.

A continuación se mencionan las características más relevantes del sistema de potabilización que está diseñando la FII a tomar en cuenta para el diseño de los dosificadores:

#### **1.3.1 Tamaño**

La mayoría de los dosificadores tienen dimensiones adaptadas a medianas o grandes unidades de tratamiento de agua, lo que resulta inadecuado para el sistema propuesto. En la Fig. 1.1 se muestra la disposición de los equipos que

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

conforman el sistema de potabilización de agua y la ubicación de los dosificadores. Cabe destacar que la planta aún está en proceso de diseño. El tamaño de dosificadores debe ser tal, que puedan ser instalados en las siguientes unidades: Canaleta Parshall (donde se dosificará la Cal), ver Fig. 1.2, el Tanque Coagulador (donde se dosificará el Sulfato de Aluminio), ver Fig. 1.3 y el Tanque de Desinfección (donde se dosificará el Hipoclorito de Calcio,) el cual aún está en diseño.

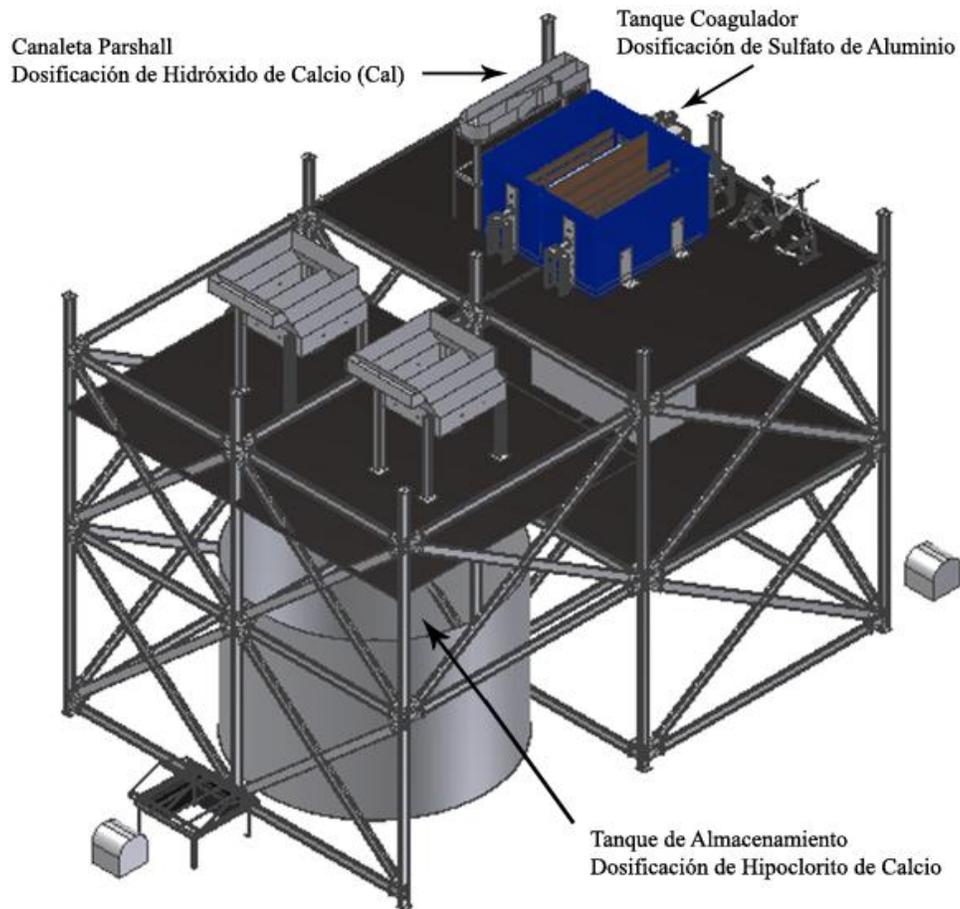


Fig. 1.1 Ensamble del sistema de potabilización de agua. (FII)

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

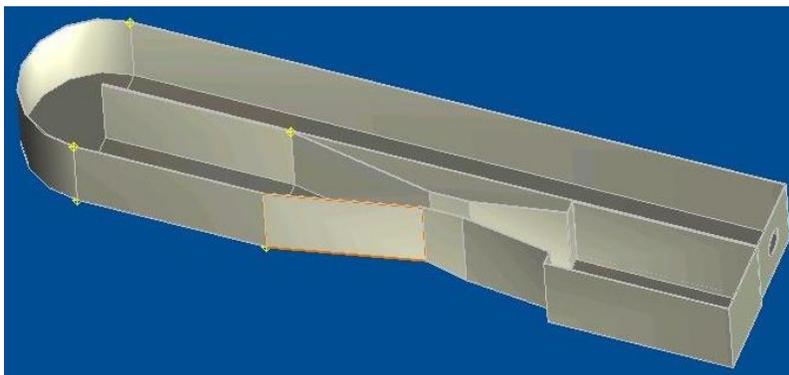


Fig. 1.2 Canaleta Parshall (FII)

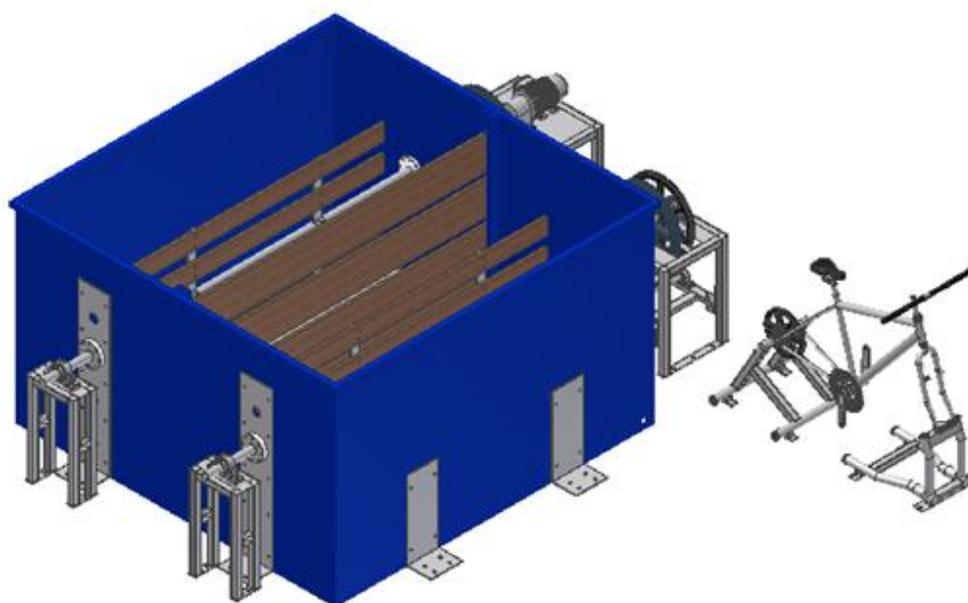


Fig. 1.3 Tanque Coagulador (FII)

### 1.3.2 *Modo de funcionamiento*

Por cada tratamiento se utilizan pequeños volúmenes de 4 m<sup>3</sup> de agua, comparado con la demanda de las zonas urbanas, por lo que el funcionamiento es por carga y no de forma continua como la mayoría de los sistemas de potabilización. Esto supone que después del último tratamiento del día (el tercero), el sistema se detiene, motivo por el cual la cantidad de compuesto

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

químico que quede remanente debe ser mínima para evitar daños en los dispositivos.

Se requiere la incorporación de un sistema mecánico de accionamiento, en paralelo, para garantizar el funcionamiento durante fallas en el automatismo o en el suministro de energía eléctrica.

### ***1.3.3 Condiciones ambientales***

Las temperaturas en el Bajo Delta del Orinoco son superiores a 27°C la mayoría del tiempo, la humedad relativa es aproximadamente 95% y se tienen altas y constantes precipitaciones. Además, como los dosificadores estarán en contacto con sustancias químicas, deben ser capaces de resistir la corrosión (Estado Delta Amacuro, 1997).

### ***1.3.4 Personal calificado***

Los encargados de operar los dosificadores serán los mismos habitantes de la comunidad, no se cuenta con personal técnico especializado que maneje los dispositivos por lo que el diseño debe considerar esta condición.

Una de las metas del proyecto que ejecuta el Instituto de Ingeniería es incentivar el consumo racional de agua potable en la comunidad y el sentido de pertenencia de los sistemas de potabilización a instalar, mediante la incorporación de los habitantes indígenas en las actividades de ensamble, operación y mantenimiento de los equipos y unidades de tratamiento, con entrenamiento previo supervisado por personal calificado del Instituto. En consecuencia, el diseño de los dosificadores deberá ser sencillo y práctico de forma que sea fácil de operar y reparar si fuese el caso.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

La elaboración del presente Trabajo Especial de Grado representará un aporte significativo para el proyecto del Instituto de Ingeniería. Con el diseño del sistema de dosificación y el desarrollo del sistema de potabilización, incluidos los cuatro procesos de tratamiento (coagulación-floculación, sedimentación, filtración y desinfección), se mejorarán las condiciones de salud pública de las comunidades indígenas de la etnia Warao ubicadas en el Bajo Delta, aumentando de esta forma la calidad de vida de sus habitantes.

#### **1.4 Alcances**

El diseño de los dosificadores debe ser realizado tomando en cuenta la posibilidad de construcción de los mismos y disponibilidad de materiales en el mercado nacional.

La selección de los materiales considerará la exposición de los equipos a las condiciones ambientales del Bajo Delta del Orinoco, al compuesto químico que manejará, así como también posibles fuerzas a las que esté sometido.

Los dosificadores deberán controlar la cantidad de sustancia y el tiempo de dosificación para el correcto funcionamiento del sistema de potabilización.

El sistema mecánico para el accionamiento manual debe funcionar paralelo al automático, a modo de respaldo en caso de que falle el automatismo o el suministro de energía eléctrica.

Se elaborarán los planos de conjunto y partes utilizando un paquete computacional de diseño asistido por computadora.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

## 1.5 Limitaciones

Los compuestos químicos deben estar protegidos del ambiente para evitar pérdidas de material, bien sea por contaminación, apelmazamiento, compactación, entre otros.

La capacidad de tratamiento de agua del sistema son 12 m<sup>3</sup> diarios. Para tres tratamientos de 4 m<sup>3</sup> de agua cada uno, los dosificadores deberán tener las siguientes capacidades de almacenaje de sustancia: 1,08 Kg. de Cal, 2,4 Kg. de Sulfato de Aluminio y 0,144 Kg. de Hipoclorito de Calcio.

Luego del último tratamiento del día, la cantidad de compuesto químico residual debe ser mínima a fin de evitar daños en los dosificadores, debido a que el sistema opera por cargas y se detiene luego de potabilizar la última carga de agua.

Los dispositivos deberán ser de operación sencilla, de fácil mantenimiento y limpieza.

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se abarcan los tópicos básicos requeridos para la comprensión del presente trabajo. Antes de comenzar el proceso de diseño, es necesario conocer el proceso de potabilización de agua, las características físico químicas de los compuestos químicos, los respectivos procesos en los que están involucrados: Hidróxido de Calcio (Cal) y Sulfato de Aluminio en la Coagulación-Floculación, e Hipoclorito de Calcio en la Desinfección, así como también la comunidad indígena a beneficiar.

Para la realización de los diseños, es necesario emplear una metodología que establezca las líneas a seguir durante los procesos de creación, evaluación y diseño de detalle. Existen diversos tipos de dosificadores que se utilizan tanto en plantas de potabilización de agua como en otras instalaciones, estos equipos pueden servir de referencia durante las sesiones de generación de ideas.

### **2.1 Proceso de coagulación-floculación**

“Es un proceso complejo que consiste en la desestabilización y posterior agrupamiento de partículas, que debido a sus características no podrían sedimentar por su propio peso y requerirían tiempos excesivamente largos para su decantación, o por su tamaño no sería factible separarlas por filtración, por ello la finalidad es aumentar el peso de dichas partículas y facilitar su asentamiento” (Alberdi, 2001).

“La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores” llamados floc (Arboleda, 2000).

Tal como menciona Arboleda (2000), dicho proceso se usa para:

- a. “Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- b. Remoción de color verdadero y aparente.
- c. Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- d. Destrucción de algas y plancton en general.
- e. Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos entre otros”.

La rápida, completa y violenta dispersión de las sustancias químicas es esencial para obtener una buena coagulación. Luego, una floculación lenta permite a los pequeños flóculos recientemente formados unirse entre ellos y aumentar de tamaño. Para conseguir una eficiente coagulación se requieren ciertas condiciones:

- a. Cantidades adecuadas de coagulante.
- b. Óptimos valores de pH.
- c. Mezcla rápida del coagulante con el agua.
- d. Un lento proceso de agitación para inducir a las pequeñas partículas a unirse entre ellas.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Un factor limitante para la coagulación es la suficiente alcalinidad presente en el agua para reaccionar con el Sulfato de Aluminio que formará los flóculos. Cuando la alcalinidad natural del agua cruda es insuficiente, debe agregarse un compuesto alcalino tal como Cal (Hidróxido de Calcio), Carbonato de Sodio o Soda Cáustica (Hidróxido de Sodio) (Borges, 1970).

### ***2.1.1 Concentración del coagulante***

Podría pensarse que, a mayor concentración de coagulante, mayor efectividad en el proceso de coagulación. Esto resulta costoso por el consumo excesivo de coagulantes y se obtienen los mismos resultados, además se produce una mayor cantidad de lodos y en algunos casos puede dar resultados adversos (Alberdi, 2001).

Esto puede explicarse a través de ensayos de fijación o pruebas de jarro, donde en un equipo adecuado se aplican dosis en orden creciente de coagulante, simulando el proceso de coagulación-floculación-sedimentación y luego determinando la turbiedad residual, se grafica turbiedad residual vs. concentración de coagulante, dando como resultado el gráfico que se presenta en la Fig. 2.1 en la cual se observan cuatro (4) zonas, las cuales se explican en la Tabla. 2.1.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

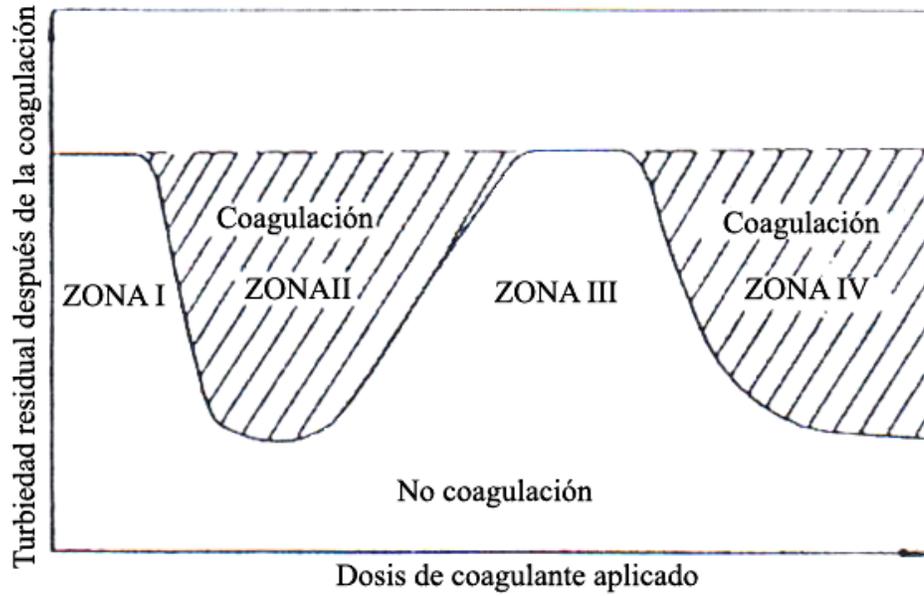


Fig. 2.1 Dosis Vs Turbiedad (Alberdi, 2001)

Tabla. 2.1. Zonas de coagulación de la Fig. 2.1

Zona I	Dosificación insuficiente de coagulante, por tanto no se alcanza la desestabilización de las partículas coloidales.
Zona II	Buena remoción de turbiedad (dosis óptima)
Zona III	Re-estabilización de las partículas coloidales por aplicación de coagulante en exceso.
Zona IV	Remoción de turbiedad por acción de barrido (uso excesivo de coagulante, por consiguiente costoso)

*Nota.* Datos tomados de (Alberdi, 2001)

## 2.1 Proceso de desinfección

“Si bien una planta de tratamiento correctamente operada, en sus procesos de coagulación, sedimentación y filtración logra producir reducciones entre 80% y 95% del total de organismos en el agua, queda suficiente número como para que ésta no pueda ser bebida sin peligro. Es pues necesario realizar un proceso más, para eliminar toda clase de contaminaciones, el cual recibe el nombre de desinfección.” (Arboleda, Vargas, & Correal, 1969)

La desinfección se refiere a la destrucción de los organismos en el agua causantes de enfermedades (patógenos) que son: Bacterias, Protozoarios, Virus y Tremátodos.

Se puede dividir la desinfección en: Desinfección Natural y Desinfección Artificial. La primera se refiere a la muerte progresiva de las bacterias, producidas por agentes naturales, tales como la luz solar, la sedimentación, la filtración en las capas arenosas del suelo, o la estabilización de la materia orgánica. La artificial puede realizarse por rayos ultravioletas, por calor o por desinfectantes químicos, entre los cuales se pueden mencionar: el Ozono, la Plata Ionizada, el Yodo y el Cloro.

El cloro es el desinfectante químico más usado para la purificación de aguas debido a su bajo costo y alto poder bactericida. Se puede aplicar en forma gaseosa o en forma de hipocloritos. Al momento de agregarlo al agua, ocurren unas reacciones químicas que desinfectan el agua al inhibir la supervivencia y capacidad reproductiva de los organismos patógenos. (Arboleda y otros, 1969)

Como menciona Alberdi (2001), la dosis óptima de cloro debe ser determinada experimentalmente debido a que su poder desinfectante depende de la calidad del agua y del tiempo de contacto. Entre las características que influyen en la eficiencia de la desinfección destacan: la presencia de turbiedad,

materia orgánica, pH y temperatura. Se ha demostrado que la turbiedad interfiere en el proceso de la desinfección, ya que las partículas pueden servir de escudo a los microorganismos e interferir en la acción del desinfectante, por lo cual es importante que el proceso de coagulación-floculación se lleve a cabo de forma adecuada.

La materia orgánica también afecta debido a que puede adherirse a la superficie de las células e interferir en el ataque del desinfectante, puede reaccionar con el desinfectante formando compuestos de valor germicida menor o producir compuestos sin ninguna capacidad desinfectante. Uno de los principales efectos de la presencia de materia orgánica es su potencialidad para formar compuestos carcinógenos (trihalometanos THM's) cuando reacciona con desinfectantes halógenos como cloro y bromo, con lo cual, además de la disminución de la capacidad desinfectante se forman subproductos perjudiciales para la salud.

La presencia de algunos compuestos inorgánicos como hierro, manganeso, sulfuros, cianuros, entre otros, pueden ser oxidados por desinfectantes como cloro u ozono, con lo cual se genera una demanda previa a su acción con los microorganismos. El pH afecta la forma química del desinfectante en solución acuosa y puede influir en la destrucción microbiana. La temperatura también afecta las tasas de reacción de algunos pasos del proceso. (Alberdi, 2001)

## 2.2 Características de los compuestos químicos

### 2.2.1 Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$

El Hidróxido de Calcio se conoce comúnmente como Cal muerta o apagada, se comercializa como un polvo blanco, obtenido al reaccionar Óxido de Calcio con agua. La solución de Hidróxido de Calcio en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y ataca varios metales. Sus usos abarcan un amplio campo, desde ingrediente para hacer mortero y yeso hasta reactivo químico en industrias petroleras, químicas y alimenticias. Entre sus usos, el más relevante para el trabajo es la alcalinización del agua para lograr una buena coagulación.



Fig. 2.2 Hidróxido de Calcio (Productos y servicios para la industria del agua latinoamericana)

A continuación se presentan los datos generales (ver Tabla. 2.2), las propiedades físicas (ver Tabla. 2.3), la reactividad (ver Tabla. 2.4) y los riesgos para la salud (ver Tabla. 2.5) del Hidróxido de Calcio.

Tabla. 2.2. Datos generales del Hidróxido de Calcio

Nombre comercial	Cal hidratada, Cal muerta
Nombre químico	Hidróxido de Calcio
Fórmula	$\text{Ca}(\text{OH})_2$

Tabla. 2.3. Propiedades físicas del Hidróxido de Calcio

Densidad real	1 g/ cm <sup>3</sup>
Densidad aparente	0,5 g/cm <sup>3</sup>
Ángulo de reposo	50° aprox
Solubilidad en agua	0.19 g/100 cm <sup>3</sup>
Higroscopia	Alta
Presentación comercial	Polvo fino
Inflamabilidad	Ninguna

Tabla. 2.4. Reactividad del Hidróxido de Calcio

Condición	Estable
Incompatibilidad	Ácidos, Materiales fuertemente Alcalinos, Fósforo, Nitropropano, Nitroparafina, Nitrometano, Nitroetano, y Anhídrido Maleico
Materiales para el manejo	Caucho, nylon, plásticos, acero

Tabla. 2.5. Riesgos para la salud del Hidróxido de Calcio

VÍAS DE ENTRADA	SÍNTOMAS DEL LESIONADO	PRIMEROS AUXILIOS
1.- INGESTIÓN ACCIDENTAL	Provoca trastornos gastrointestinales: Vómito, Diarrea, Contracciones estomacales y Colapso.	Beber inmediatamente agua o leche, si las molestias persisten solicitar atención médica. No dar a consumir nada por la boca a la persona inconsciente
2.- CONTACTO CON LOS OJOS	Es corrosivo, Produce severas irritaciones Puede inducir ulceraciones de la córnea.	Lavar suavemente con agua corriente durante 15 min, abriendo ocasionalmente los párpados. Solicitar atención medica de inmediato.
3.- CONTACTO CON LA PIEL	Corrosivo, puede causar quemaduras si se tiene mucho tiempo en contacto.	Lavar con agua corriente durante 15 min., al mismo tiempo quitarse la ropa y el calzado contaminado. Solicite atención medica
4.- ABSORCIÓN	No identificado	No se dispone de información
5.- INHALACIÓN	Irritación en las vías tracto respiratorias	Traslade a un lugar con ventilación adecuada, Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Solicite atención médica.

*Nota.* Datos de tablas suministrados por la FII

### 2.2.2 Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$

Es un cristal de color marfil, ordinariamente hidratado, que con el almacenaje suele convertirse en terrones relativamente duros. Al agregarlo al agua reacciona con la alcalinidad, para formar Hidróxido de Aluminio. Se utiliza como coagulante metálico para formar flocs ligeramente pesados. Es el coagulante mayormente utilizado en plantas de potabilización de agua debido a su bajo costo y su manejo relativamente sencillo. (Arboleda, 2000)



Fig. 2.3 Sulfato de Aluminio (Sulfato de Aluminio Fabricantes & Suministradores, 1999)

A continuación se presentan los datos generales (ver Tabla. 2.6), las propiedades físicas (ver Tabla. 2.7), la reactividad (ver Tabla. 2.8) y los riesgos para la salud (ver Tabla. 2.9) del Sulfato de aluminio.

Tabla. 2.6. Datos generales del Sulfato de Aluminio

Nombre comercial	Alumbre
Nombre químico	Sulfato de Aluminio
Fórmula	$Al_2(SO_4)_3$

Tabla. 2.7. Propiedades físicas del Sulfato de Aluminio

Densidad real	2,7 g/ cm <sup>3</sup>
Densidad aparente	1 g/cm <sup>3</sup>
Solubilidad en agua	790 g/1000 cm <sup>3</sup> a 30°C
Higroscopia	Media
Presentación comercial	Cristales blancos o pardos.
Inflamabilidad	Ninguna
pH óptimo de la solución	5,6

Tabla. 2.8. Reactividad del Sulfato de Aluminio

Condición	Estable
Incompatibilidad	Bases fuertes y metales en presencia de humedad.
Materiales para el manejo	Cemento, acero o plomo (solo Sulfato en polvo), madera, plásticos.

Tabla. 2.9. Riesgos para la salud del Sulfato de Aluminio

VÍAS DE ENTRADA	SÍNTOMAS DEL LESIONADO	PRIMEROS AUXILIOS
1.- INGESTIÓN ACCIDENTAL	La ingestión en grandes cantidades del producto sólido puede causar irritación del tracto gastrointestinal, dolor abdominal, náuseas, vómito y diarrea. Puede causar quemaduras en la boca y el tracto digestivo, sangrado estomacal. Las ingestiones frecuentes del producto pueden causar deficiencia de fósforo, con el consecuente debilitamiento de los huesos.	Beber inmediatamente dos vasos de agua, No inducir el vómito. No dar a consumir nada por la boca a la persona inconsciente.
2.- CONTACTO CON LOS OJOS	Es corrosivo, Produce severas irritaciones Puede inducir ulceraciones de la córnea.	Lavar suavemente con agua corriente durante 15 min, abriendo ocasionalmente los párpados. Solicitar atención medica de inmediato.
3.- CONTACTO CON LA PIEL	Corrosivo, puede causar quemaduras si se tiene mucho tiempo en contacto.	Lavar con agua corriente durante 15 min., al mismo tiempo quitarse la ropa y el calzado contaminado. Solicite atención medica
4.- ABSORCIÓN	No identificado	No se dispone de información
5.- INHALACIÓN	Irritación en las vías tractorespiratorias	Traslade a un lugar con ventilación adecuada, Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Solicite atención médica.

*Nota.* Datos de tablas suministrados por la FII

### 2.2.3 Hipoclorito de Calcio $Ca(ClO)_2$

El Hipoclorito de Calcio se consigue en forma de polvo, gránulos o perdigones blancos con un olor fuerte a cloro. Se utiliza en la desinfección del agua por su alto poder bactericida, su simplicidad en la aplicación y su bajo costo, además de dejar el efecto residual de protección. Tiene en cambio las desventajas de que es corrosivo y puede ocasionar daños severos en la salud si no se manipula de forma correcta, por lo que es importante tomar las precauciones pertinentes y disponer de los equipos de protección necesarios.



Fig. 2.4 Hipoclorito de Calcio (65% de hipoclorito de calcio - Ca, 2008)

A continuación se presentan los datos generales (ver Tabla. 2.10), las propiedades físicas (ver Tabla. 2.11), la reactividad (ver Tabla. 2.12) y los riesgos para la salud (ver Tabla. 2.13) del Hipoclorito de Calcio.

Tabla. 2.10. Datos generales del Hipoclorito de Calcio

Nombre comercial	Cloro Granulado
Nombre químico	Hipoclorito de Calcio
Fórmula química	$Ca(ClO)_2$
Concentración	65%

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Tabla. 2.11. Propiedades físicas del Hipoclorito de Calcio

Densidad real	2,3 g/ cm <sup>3</sup>
Densidad aparente	0,8 g/cm <sup>3</sup>
Solubilidad en agua	217 g/ 1000 cm <sup>3</sup> a 27 °C
Higroscopia	Alta
Presentación comercial	Gránulos blancos
Inflamabilidad	Explosivo después de 100°C

Tabla. 2.12. Reactividad del Hipoclorito de Calcio

Condición	Estable hasta 100 °C
Incompatibilidad	Agua, ácidos, amoniacos, aminas, materiales orgánicos, compuestos nitrogenados y materiales combustibles
Materiales para el manejo	Acrílico, nitrilo, caucho. No utilizar metales.

Tabla. 2.13. Riesgos para la salud del Hipoclorito de Calcio

VÍAS DE ENTRADA	SÍNTOMAS DEL LESIONADO	PRIMEROS AUXILIOS
1.- INGESTIÓN ACCIDENTAL	Puede causar una severa corrosión en la boca, garganta y estómago. Vómito, colapso circulatorio confusión, coma y hasta la muerte. Puede causar edema en la faringe, glotis y laringe y perforación del esófago y estómago	No inducir vómito. Dar grandes cantidades de agua. Si la persona esta inconsciente no administre nada por la boca. Solicite inmediatamente atención médica.
2.- CONTACTO CON LOS OJOS	Visión borrosa, enrojecimiento, dolor y quemadura del tejido ocular.	Lavar suavemente con agua corriente durante 15 min, abriendo ocasionalmente los párpados. Solicitar atención medica de inmediato.
3.- CONTACTO CON LA PIEL	Enrojecimiento, dolor y severa quemadura con presencia de ampollas.	Lavar con agua corriente durante 15 min., al mismo tiempo quitarse la ropa y el calzado contaminado. Solicite atención medica
4.- ABSORCIÓN	No identificado	No se dispone de información
5.- INHALACIÓN	Destruye las mucosas y el tracto respiratorio superior. Sensación de quemadura, tos, dolor de cabeza, respiración dificultosa, náusea y vómito	Traslade a un lugar con ventilación adecuada, Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Solicite atención médica.

*Nota.* Datos de tablas suministrados por la FII

### 2.3 Comunidad indígena

“El pueblo *warao* está asentado desde épocas milenarias, en un espacio caracterizado por su diversidad biológica e hídrica. *Warao* quiere decir “gente de agua”, “gente de la curiara”. Los *warao*, ante todo poseen una orientación cultural acuática. Fisonómicamente, son hombres de estatura pequeña no mayor a 1,60 metros, con el tórax desarrollado, tez cobriza, pelo negro lacio y ojos algo achinados de color castaño.” (Los Warao).

“Los *warao* se agrupan en subtribus de carácter endogámico. Estos pequeños pueblos están dirigidos por un anciano, el "gobernador", acompañado de un "capitán" y de un "fiscal" (denominaciones heredadas de los criollos) cuyos papeles principales son la organización tanto del trabajo comunal como de los eventos culturales y tradicionales. Estos títulos se asignan esencialmente a los hombres mientras que dentro del hogar, la autoridad y la organización es matriarcal.” (Los Waraos del Delta del Orinoco).

### 2.4 Antecedentes

Según Rivas Mijares (1963), los dosificadores de sustancias químicas en los procesos de tratamiento de agua tienen como fin: aplicar las dosis recomendadas por las pruebas de laboratorio en cada etapa del tratamiento, así mismo cataloga a los aparatos de dosificación química en dos grandes grupos que a su vez se subdividen en otros, tal como se muestra en la Fig. 2.5.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

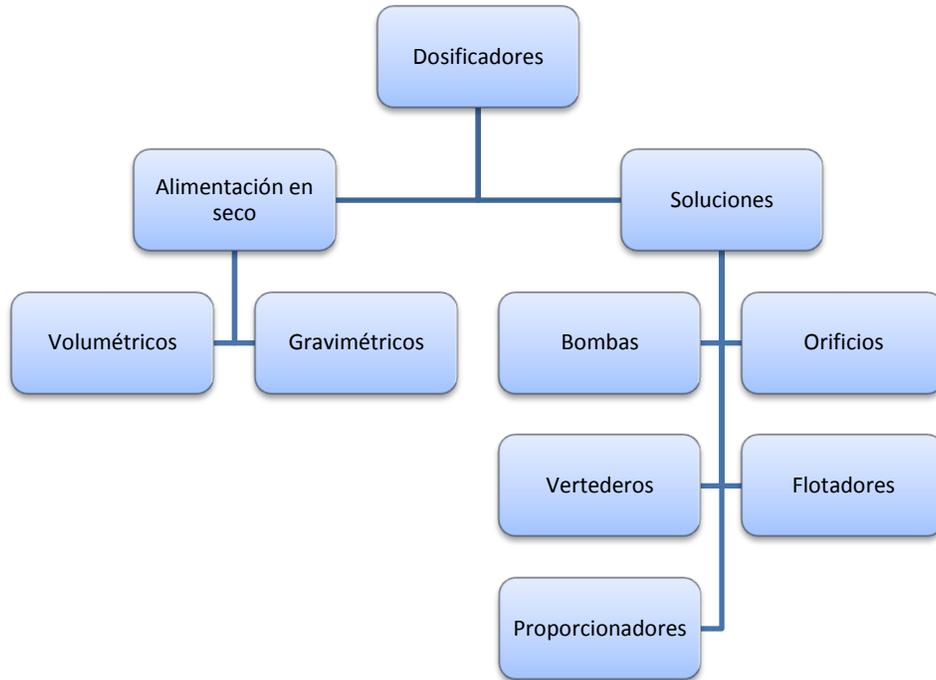


Fig. 2.5 Clasificación de dosificadores

Existen diversos tipos de dosificadores, entre los cuales cabe destacar los descritos en la Tabla. 2.14, que se muestra a continuación:

Tabla. 2.14. Tipos de dosificadores.

Dosificador	Especial para
Volumétrico	Sólidos granulares homogéneos de tales como azúcar, arroz, legumbres, harina de maíz, granos en general.
Tornillo Sinfín	Productos en polvo de difícil deslizamiento como harinas, café molido, cacao, especias, talco, leche en polvo, jabón en polvo, etc.
Gravimétrico	Productos irregulares y no homogéneos como galletas, caramelos, fideos, pastas secas, cereales, alimento balanceado, arandelas, etc.
Pistón	Productos líquidos o viscosos como aceite, mayonesa, miel, mermeladas, dulce de leche, grasa, etc.
Isobárico	Líquidos fluidos como agua mineral, jugos, leches, etc.

Nota. Datos tomados de Dosificadores Ingesir (2000)

A continuación se muestran diferentes tipos de dosificadores utilizados comercialmente con una breve descripción de su funcionamiento.

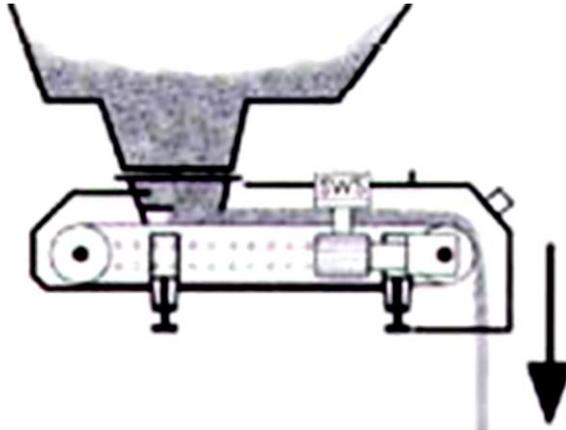


Fig. 2.6 Dosificador de cemento por banda modelo Gravit (Hasler)

Para controlar la velocidad y la cantidad de cemento que se agrega a las mezclas en la industria cementera, se utilizan comúnmente dosificadores por banda, los cuales tienen dos (2) elementos principales, la tolva de almacenamiento y la banda de transporte(ver Fig. 2.6). La separación que existe entre dichos componentes regula el espesor de la capa de cemento, y la velocidad de avance de la correa controla la cantidad de producto a dosificar.

En la Fig. 2.8 se muestra el principio de funcionamiento del dosificador BSP-100 (ver Fig. 2.7) representada por zonas como se describe a continuación: En la zona 1, las fuerzas entre partículas producen la consolidación justo antes de entrar en la zona 2, donde el material está inmovilizado y gira como un cuerpo sólido. En la zona 3, las fuerzas entre partículas descienden por debajo del umbral de inmovilización, permitiendo que se produzca la descarga del material en la zona 4.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.



Fig. 2.7 Dosificador Ktron Feeders modelo BSP-100 (Bulk solids pump (BSP) Feeder Catalog, 2006)

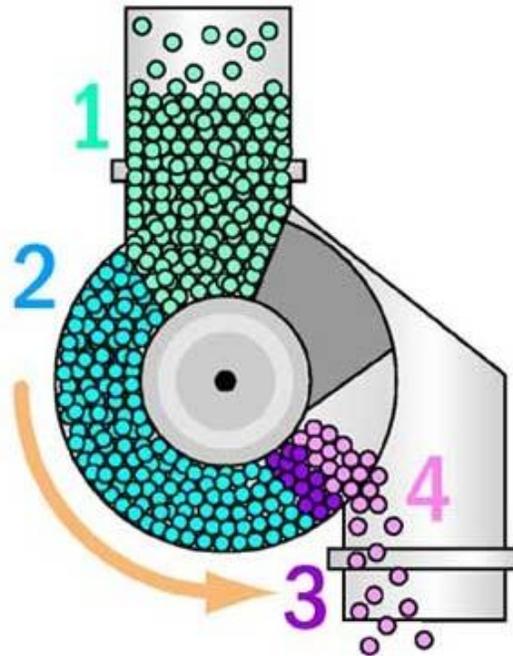


Fig. 2.8 Zonas de funcionamiento del dosificador BSP-100 (Bulk solids pump (BSP) Feeder Catalog, 2006)

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Para la dosificación de soluciones abrasivas, peligrosas para la salud, contaminantes o sensibles, se utilizan con frecuencia bombas de diafragma, las cuales se emplean cuando la ausencia de fugas y la seguridad operacional son requeridas. En la Fig. 2.9 se muestran los elementos básicos de la bomba Lewa Ecoflow<sup>®</sup> M900.

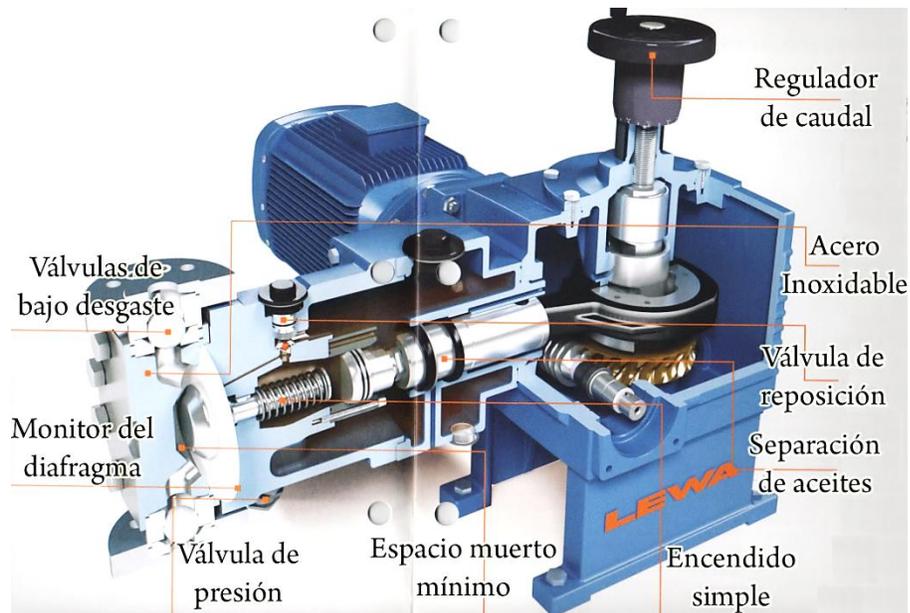


Fig. 2.9 Bomba dosificadora por diafragma modelo Lewa Ecoflow<sup>®</sup> M900 (Lewa, 2007)

Los dosificadores del tipo tornillo sinfín se utilizan para productos en polvo de difícil deslizamiento, como se puede ver en la Tabla. 2.14. La serie MDP comercializada por Piovan, consta de una tolva de almacenamiento y en la parte inferior, de un tornillo sin fin, el cual descarga el producto uniformemente. Este modelo funciona automáticamente luego de ser programado por un operador (ver Fig. 2.10).

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.



Fig. 2.10 Dosificador volumétrico serie MDP. Piován (Dosificadores volumétricos para granulados plásticos-PIOVAN)

Vásquez (1999), realizó su trabajo especial de grado en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV con el título: “Estudio del flujo de un material granular de uso industrial farmacéutico”, donde comparó resultados experimentales con modelos matemáticos que representan el comportamiento del flujo granular.

En el año 2004, Consuegra y González, desarrollaron su Trabajo Especial de Grado en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV con el título: “Diseño concurrente y fabricación de un dosificador automático de alimentos para mascotas”, el mencionado trabajo se enfocó en la dosificación por gravedad del alimento y el control automatizado del tiempo en el que hacía su función, además de la selección de materiales y la construcción de un prototipo del diseño final.

## 2.5 Método de diseño

El objetivo del presente trabajo es diseñar dosificadores de sustancias químicas en solución y polvo empleados en unidades de coagulación y desinfección de un sistema de potabilización de agua de río, en el Bajo Delta del Orinoco, para lo cual se debe seguir una metodología que permita desarrollar el diseño más apropiado.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

La metodología de diseño aplicada para la realización de los tres dosificadores es la siguiente:

### ***2.5.1 Definición del problema***

La definición del problema se puede lograr mediante una serie de pasos previos que abarcan el análisis de la necesidad, la recopilación de datos y la delimitación de las condiciones a satisfacer. El problema permite conocer y delimitar el terreno de lo desconocido, es decisivo en el resultado final. El planteamiento correcto del problema significa, en ocasiones, más que de la mitad de su solución.

### ***2.5.2 División de las funciones de operación en subsistemas***

Un sistema es un conjunto de elementos que existen y trabajan para lograr una meta. Estos elementos que conforman el sistema pueden llamarse a su vez subsistemas, ya que en ocasiones están formados por una o más partes.

Los subsistemas de los equipos están determinados por las funciones de operación que desempeña cada uno, de esta forma se divide al dosificador en varias partes que representan sus funciones principales tomando como base el método de análisis morfológico utilizado por Milani (1997). Esto se realizó con el fin de concentrar esfuerzos de creatividad en cada parte y facilitar la generación de ideas, incorporando las mejores en el diseño final del equipo.

### ***2.5.3 Generación de ideas***

Una vez determinados los subsistemas de cada equipo, deben verse como problemas que necesitan una solución, se procede a la generación de ideas que cumplan la función de cada subsistema, para lo cual uno de los métodos más efectivos es la tormenta de ideas o “brainstorming”, que se puede complementar

con los métodos de analogía, empatía e inversión los cuales se describen a continuación.

#### 2.5.3.1 Tormenta de ideas

Se reúne un grupo de personas de diversas áreas de especialidad y se trata de dar posibles soluciones a los subsistemas designados. En cada reunión debe haber un moderador que dirija la misma para establecer el orden de intervención y hacer respetar las normas del método, también debe haber un encargado de anotar las ideas que se van elaborando durante la sesión, es aconsejable que estén visibles a todos los participantes. Esta figura no es indispensable en el proceso ya que las mismas personas pueden elaborar los bocetos de sus ideas y exponerlas a los demás participantes.

Existen tres (3) fases durante la generación de ideas: la primera se considera una especie de calentamiento, es la fase inicial donde la producción de ideas es baja. En la segunda fase se rompe la inercia mental y los participantes se animan a exponer nuevas ideas e incrementa el número de propuestas. Luego, en la tercera y última fase, los generadores de ideas parecen quedarse sin nuevas propuestas y se enfocan más en cómo mejorar las ideas anteriores incluyendo las de los demás participantes, lo que no implica que se deba suspender la reunión.

Durante la sesión no es permitida ningún tipo de evaluación sobre las propuestas dadas, esto queda bajo responsabilidad del moderador. Se procura que los participantes expongan sus ideas de la forma más espontánea posible logrando así que estas no sean juzgadas por la misma persona antes de decirlas.

El moderador debe lograr que los participantes opinen sobre ideas dichas por otras personas, porque esto generalmente termina en ideas muy superiores a

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

las originales. La duración de las sesiones es variable y depende mucho de las personas involucradas y de la complejidad del subsistema, pero siempre oscila entre media hora y una hora.

#### 2.5.3.2 Analogía

Consiste en buscar similitudes al problema en cuestión en cualquier área, puede ser en la naturaleza, algún proceso productivo, en un laboratorio químico, en una película o hasta en la cocina de la casa. En realidad no importa donde se busque, siempre y cuando se pueda adaptar la solución encontrada al problema dado.

Como dijo Milani en 1997, “Para buscar analogías es necesario tener material en mente con que hacerlo y para esto es necesario observar, estudiar, mantenerse al día. Como por ejemplo leer revistas de diseño para tener a la mano métodos nuevos que permitan tener ideas para relacionar en un momento dado”

#### 2.5.3.3 Empatía

Este método requiere concentrarse en una parte o pieza del sistema y ponerse en el lugar de esa parte, “sentir” las condiciones a las que está sometido, temperaturas, esfuerzos, deformaciones, olor, sabor, textura, etc. Esto le permitirá al que emplee el método (al estar en una posición dentro de la máquina) generar ideas que consideran las sensaciones previamente descritas o prever algún tipo de falla en una solución

Este método es utilizado principalmente por diseñadores con una gran experiencia en el área ya que se requiere de un gran esfuerzo lograr colocarse en el lugar de la máquina.

#### 2.5.3.4 Inversión

Permite obtener un punto de vista distinto al cambiar las condiciones de una situación, es decir, si una pieza se mueve y la otra permanece fija, probar lo contrario, si una cosa encierra otra, invertir posiciones, si se ve algo desde afuera, intentar verlo desde adentro, si se ve desde arriba, voltearlo, etc. como explica Milani (1997).

Realizar este ejercicio libera al diseñador de siempre seguir el mismo camino y llegar a las mismas soluciones, al cambiar la perspectiva de las cosas tanto como se pueda, se abre un mundo de nuevas posibles soluciones al mismo problema.

#### 2.5.4 Evaluación y selección de las propuestas

Luego de haber realizado las sesiones de generación de ideas y haber obtenido varias posibles soluciones al problema planteado, es necesario evaluarlas para determinar cuáles de ellas son las más adecuadas para ser utilizadas en cada subsistema.

La evaluación se realiza en base a criterios de selección, que se establecen según los requerimientos del equipo, los criterios se agrupan según un orden de importancia, para así asignarles un valor en porcentaje de acuerdo a cada subsistema en particular. Para la evaluación de las propuestas en cada uno de los criterios, se utiliza la siguiente escala numérica:

Tabla. 2.15. Escala de evaluación

Deficiente	1
Regular	2
Aceptable	3
Bueno	4
Excelente	5

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Cada propuesta recibe un puntaje (EV) de evaluación según la escala anterior para cada parámetro del subsistema, luego se multiplica por el valor porcentual del mismo (VALOR). Este procedimiento se realiza con cada parámetro y luego se suman los resultados. De esta forma, se obtiene un valor final por cada idea. Esto permite una comparación entre propuestas y la selección objetiva de la idea que mejor se ajuste a los requerimientos del equipo. En la Tabla. 2.16 se puede observar un ejemplo de la evaluación de un subsistema cualquiera. Consta de dos (2) propuestas las cuales fueron evaluadas según siete (7) criterios de selección.

Tabla. 2.16. Ejemplo de una matriz de decisión

CRITERIOS	VALOR (%)	<i>Propuesta 1</i>		<i>Propuesta 2</i>	
		EV	TOT	EV	TOT
<b>Criterio 1</b>	<b>25</b>	5	1,25	4	1
<b>Criterio 2</b>	<b>20</b>	3	0,6	5	1
<b>Criterio 3</b>	<b>20</b>	5	1	5	1
<b>Criterio 4</b>	<b>10</b>	4	0,4	2	0,2
<b>Criterio 5</b>	<b>10</b>	5	0,5	4	0,4
<b>Criterio 6</b>	<b>10</b>	4	0,4	3	0,3
<b>Criterio 7</b>	<b>5</b>	5	0,25	5	0,25
<b>Total</b>	<b>100</b>		4,4		4,15

A continuación se muestra la evaluación de la propuesta 1:

$$(5 * 0,25) + (3 * 0,20) + (5 * 0,20) + (4 * 0,10) + (5 * 0,10) + (4 * 0,10) + (5 * 0,05) = 4,4$$

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

El diseño final al estar conformado por los diferentes subsistemas, contempla la unión de las ideas ganadoras de cada uno, resultando en un equipo que cumple con los requisitos del sistema.

### ***2.5.5 Diseño de detalle***

Esta etapa del proceso de diseño contempla el refinamiento de las propuestas definitivas para el diseño de cada dosificador, pasar de los bocetos de la generación de ideas al diseño final. Esto abarca temas como la selección de materiales a utilizar, detalles de cada subsistema, subsistemas auxiliares, cálculos pertinentes, entre otros.

## **2.6 Propiedades de flujo de polvos**

En lo que se refiere a la manipulación de compuestos en polvo, el flujo es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta. Se puede prever el comportamiento del mismo en base a los siguientes parámetros: el índice de Carr y el ángulo de reposo.

Estos son métodos empíricos y sus resultados deben utilizarse como referencia. Dependiendo de las condiciones ambientales, del proceso y la manipulación, el tamaño y la forma de las partículas pueden cambiar; cuando aumenta el tamaño de los cristales o éstos adoptan una forma más uniforme disminuyen el ángulo de reposo y el índice de Carr.

### ***2.6.1 Índice de Carr***

Este índice se utiliza para valorar la capacidad de flujo de un polvo comparando la densidad aparente y la densidad real del polvo. El índice de compresibilidad de Carr (compresibilidad es un término inapropiado, ya que no

se produce ninguna compresión) constituye una guía empírica de utilidad y se interpreta de acuerdo con la Tabla. 2.17

Tabla. 2.17. Índice de Carr como indicativo de la capacidad de flujo de un polvo

Índice de Carr (%)	Tipo de flujo
5 – 15	Excelente
12 – 16	Bueno
18 – 21	Aceptable o pasable*
23- 35	Malo*
33 – 38	Muy malo
> 40	Extremadamente malo
*Puede mejorarse con un deslizante, por ejemplo, Aerosil al 0,2%	

*Nota.* Datos tomados de Aulton (2004)

$$\text{Índice de Carr (\%)} = \frac{\rho_{\text{real}} - \rho_{\text{aparente}}}{\rho_{\text{real}}} * 100 \quad (1)$$

El índice de Carr es una determinación de un solo punto y no siempre refleja la facilidad o la rapidez con que se consolida el polvo. De hecho, algunos materiales poseen un índice elevado (lo que significa que fluyen poco), pero pueden consolidarse rápidamente. (Aulton, 2004; Vasquez, 1999)

### 2.6.2 Ángulo de reposo

Es el ángulo que forma con la horizontal un montón estático de polvo, el cual tiende a formar un montículo cónico cuando sobre él actúa únicamente la gravedad. Esta geometría se genera debido a un equilibrio entre las fuerzas de gravedad y de fricción entre partículas. Es decir, si en algún momento una partícula queda por fuera de este límite angular, se deslizará por la superficie adyacente. Por consiguiente, existe una relación empírica entre el ángulo de reposo y la capacidad de flujo de un polvo. Los ángulos reflejados en la Tabla. 2.18 pueden servir como referencia de la capacidad de flujo.

Tabla. 2.18. Ángulo de reposo como indicador de las propiedades de flujo de un polvo

Ángulo de reposo (°)	Tipo de flujo
< 20	Excelente
20 – 30	Bueno
30 – 34	Pasable*
> 40	Muy malo
*Puede mejorarse con un deslizante, por ejemplo, Aerosil al 0,2%	

Nota. Datos tomados de Aulton (2004)

En la Fig. 2.11 se ha representado una relación simple entre el ángulo de reposo, el índice de Carr y la capacidad previsible de flujo de un polvo.

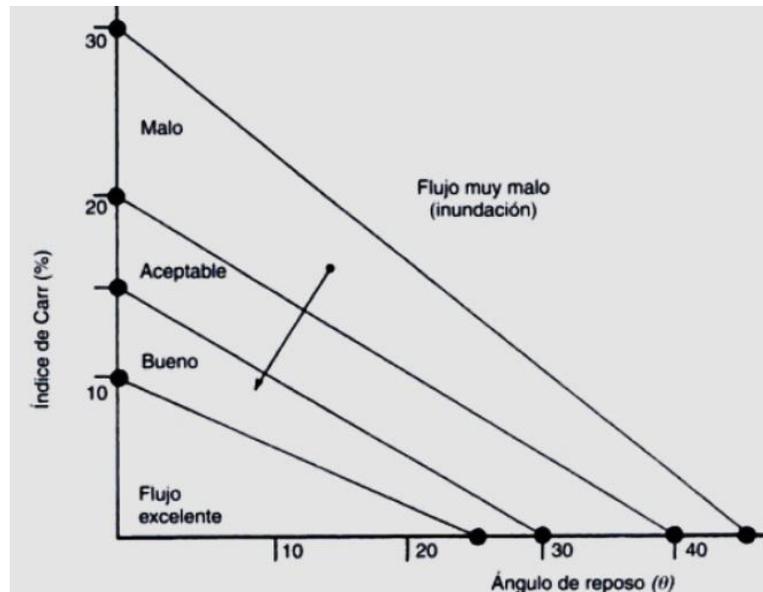


Fig. 2.11 Relación entre el ángulo de reposo, el índice de Carr y las características de flujo de un polvo (Aulton, 2004).

## 2.7 Diseño del agitador para mezcla

Durante el diseño de un tanque para agitación, se establece el tipo y localización del agitador, las proporciones del tanque, el número y dimensiones de las placas deflectoras, entre otros. Cada una de estas decisiones afecta la velocidad de circulación del líquido, los modelos de velocidad y el consumo de potencia. Como punto de partida en el diseño de los problemas ordinarios de agitación, generalmente se utiliza un agitador de turbina del tipo que se muestra en la Fig. 2.12.

El número de placas deflectoras es generalmente de 4, aunque se puede prescindir de ellas si se utiliza un estator que inhiba la aparición del vórtice; el número de palas del agitador generalmente es de 6 u 8. Para la obtención de correlaciones empíricas sencillas, se utilizan relaciones adimensionales llamadas factores de forma, a partir de las distintas medidas lineales, tomando como base el diámetro del tanque  $D_t$  y el diámetro del rodete  $D_a$ . Las proporciones estándar mostradas en la Tabla. 2.19 son ampliamente aceptadas y en ellas se basan muchas de las correlaciones publicadas sobre el funcionamiento de agitadores. (Mc Cabe, Smith, & Harriott, 1991)

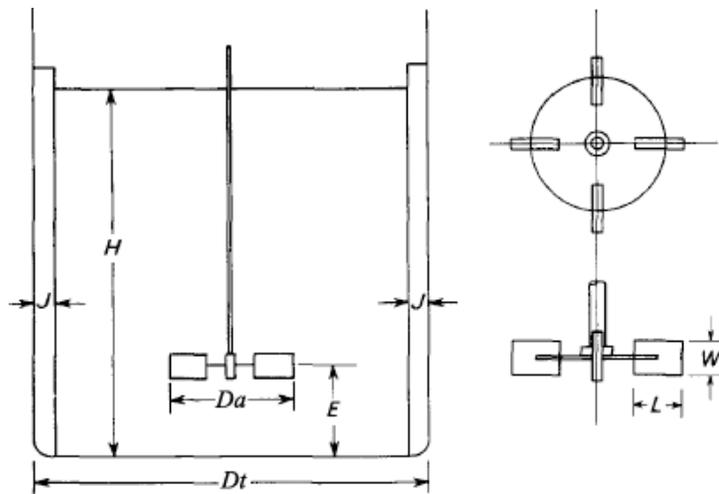


Fig. 2.12 Medidas de un agitador de turbina (Mc Cabe y otros, 1991)

Tabla. 2.19. Factores de forma para dimensionamiento del rodete.

Factor de forma	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>
Relación adimensional	$Da/Dt$	$E/Da$	$L/Da$	$W/Da$	$J/Dt$	$H/Dt$
Valor recomendado	1/3	1	1/4	1/5	1/12	1

*Nota.* Datos tomados de Mc Cabe y otros (1991).

## 2.8 Cálculo de potencia para el mezclado

Con el fin de automatizar el proceso de mezclado, generalmente se incorpora un motor eléctrico para accionar el agitador. Para poder seleccionar dicho elemento adecuadamente, es necesario conocer la potencia requerida para hacer girar el rodete a una velocidad determinada. Según Mc Cabe y otros (1991), es preciso disponer de correlaciones empíricas de la potencia (o del número de potencia,  $N_p$ ) en función de otras variables importantes del sistema, como son: las medidas relevantes del tanque, dimensiones y número de palas del rodete, dimensiones de las placas deflectoras (en caso de ser utilizadas), la viscosidad dinámica  $\mu$  y la densidad  $\rho$  del líquido, la velocidad de giro  $n$  y la gravedad  $g$ . A continuación se presenta una ecuación para determinar la potencia ( $P$ ) comunicada al líquido utilizando un agitador tipo turbina:

$$P = \frac{N_p * n^3 * Da^5 * \rho}{g} \quad (2)$$

El número de potencia ( $N_p$ ), es análogo a un factor de fricción o a un coeficiente de rozamiento. Es proporcional a la relación entre la fuerza de rozamiento que actúa sobre una unidad de área del rodete y la fuerza inercial del fluido. El número de Froude ( $N_{Fr}$ ), es una medida de la relación entre la fuerza inercial y la fuerza gravitacional por unidad de área que actúa sobre el fluido (Mc Cabe y otros, 1991).

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

En la Fig. 2.13 se representan curvas típicas para valores de  $N_P$  vs.  $N_{Re}$  para tanques con y sin placas deflectoras, equipados con turbinas de seis palas planas verticales localizadas centralmente. Las curvas A, B y C, corresponden a tanques con placas deflectoras, indicado por el factor de forma  $S_4$ . La curva D se toma en cuenta para tanques sin placas deflectoras. Para bajos números de Reynolds, inferiores a 300, las curvas A y D son idénticas, sin embargo, las curvas divergen para números de Reynolds más elevados, tal como se muestra en la porción de trazos de la curva D de la Fig. 2.13.

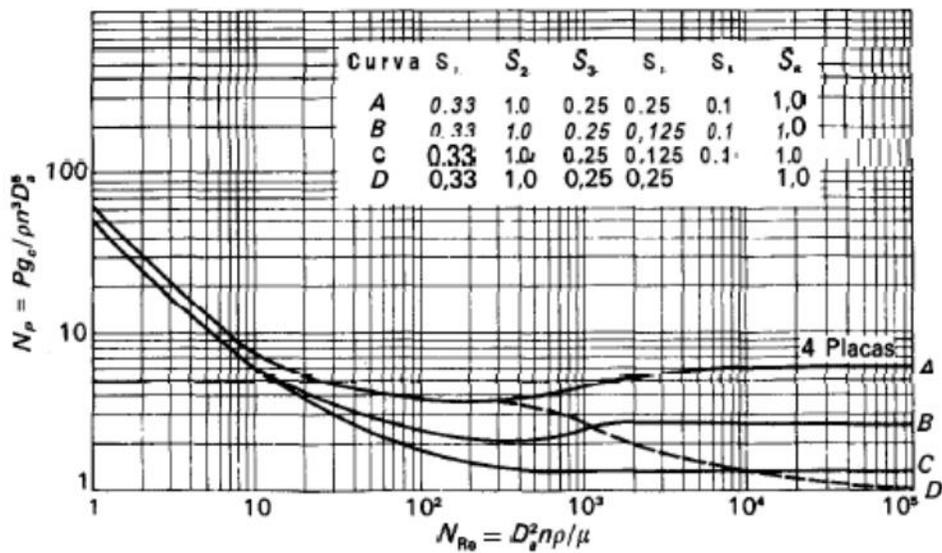


Fig. 2.13 Número de potencia  $N_P$  frente al Número de Reynolds  $N_{Re}$  para turbinas de 6 palas. (Mc Cabe y otros, 1991)

Para utilizar la porción de trazos de la curva D, hay que corregir el número de potencia  $N_P$ , leído de la escala de ordenadas, multiplicándolo por  $N_{Fr}^m$ . El valor del exponente  $m$ , está empíricamente relacionado con el número de Reynolds como se indica en la ecuación (2). En la Tabla. 2.20 se encuentran los valores de  $a$  y  $b$  para dicha ecuación.

$$m = \frac{a - \log_{10} N_{Re}}{b} \quad (3)$$

Tabla. 2.20. Constantes a y b de la ecuación (3).

Constantes de corrección	
a	b
1,0	40,0

*Nota.* Datos tomados de Mc Cabe y otros (1991).

## 2.9 Resistencia a la fatiga

Los elementos de máquinas en su condición de operación, están sometidos a cargas, por lo tanto a esfuerzos, los cuales pueden ser fluctuantes, de pulsaciones, repetidos, con inversión completa, entre otros. Para realizar un diseño que resista las cargas aplicadas para un determinado número de ciclos, es decir, un diseño que resista la fatiga, se utilizan relaciones entre las propiedades mecánicas del material (como el  $S_{ut}$  y el  $S_y$ ) y los esfuerzos medios y alternantes (Shigley & Mischke, 1990). A través de estas relaciones se puede determinar si un elemento soportará o no teóricamente las condiciones de operación a las cuales será sometido. La relación de Goodman modificada, que se presenta a continuación, se recomienda para la evaluación de esfuerzos pulsantes.

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma a}{S_e} + \frac{\sigma m}{S_{ut}} \quad (4)$$

## **CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se describe la metodología de diseño aplicada en el presente trabajo, la cual contempla las siguientes etapas: definición del problema, división de las funciones de operación en subsistemas, generación de ideas, evaluación y selección de las propuestas y por último el diseño de detalle. Se debe tener en cuenta que la metodología de diseño es común para los tres (3) equipos.

### **3.1 Definición del problema**

Tal como se expuso en el planteamiento del problema en el capítulo I, dentro de los procesos de potabilización de agua se encuentran la coagulación-floculación y la desinfección, para los cuales es imprescindible la adición de los compuestos químicos: Hidróxido de Calcio (Cal), Sulfato de Aluminio e Hipoclorito de Calcio. En consecuencia, se requiere el diseño de dosificadores de dichas sustancias químicas que estén adaptados a las especificaciones de las unidades de tratamiento.

### **3.2 División de las funciones de operación en subsistemas**

Los subsistemas se definen por las funciones que desempeña cada dosificador, por consiguiente:

- El dosificador de Hipoclorito de Calcio debe:
  - Almacenar sustancia en seco (químico en polvo).
  - Agregar dicho compuesto a una cámara de mezclado.
  - Controlar la cantidad de químico en cada dosis.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

- Disolver el Hipoclorito en agua.
- Dosificar la solución.
- El dosificador de Sulfato de Aluminio debe:
  - Almacenar sustancia en seco (químico en polvo).
  - Agregar dicho compuesto a una cámara de mezclado.
  - Controlar la cantidad de químico en cada dosis.
  - Disolver el Sulfato en agua.
  - Dosificar la solución.

Como este dosificador tiene las mismas funciones que el de Hipoclorito de Calcio, los subsistemas son los mismos, por lo tanto el diseño final es similar. Las diferencias están en la cantidad de químico almacenado en polvo y la velocidad de dosificación de la solución, siendo ambas mayores que en el caso del dosificador de Hipoclorito de Calcio.

- El dosificador de Hidróxido de Calcio (Cal) debe:
  - Almacenar sustancia en seco (químico en polvo).
  - Controlar la cantidad de químico en cada dosis.
  - Evitar que la Cal se apelmace.
  - Dosificar la Cal.

Las funciones de almacenar el químico en polvo y controlar la cantidad de químico en cada dosis, son comunes con el dosificador de Hipoclorito de Calcio. En consecuencia se decidió utilizar las mismas matrices de decisión y concentrarse en la geometría del recipiente de almacenamiento.

### **3.3 Generación de ideas**

Con el fin de realizar las sesiones de generación de ideas, se reunió un grupo interdisciplinario de profesionales en el área de Ingeniería Mecánica y Química, Licenciados en Química y Biología, Técnicos Químicos y Bachilleres.

Cada reunión tuvo una duración de aproximadamente una (1) hora, en las cuales estaban presentes entre 6 y 9 personas aportando ideas y conocimiento. Varias propuestas que fueron tomadas en cuenta, surgieron fuera de las reuniones. El moderador en cada sesión fue el bachiller Jorge Fleitas, quien se encargó también de dibujar la mayoría de los bocetos para mostrarlos a los participantes.

### **3.4 Evaluación y selección de las propuestas**

Luego de definir las propuestas de los diferentes subsistemas, se seleccionaron aquellas que mejor se ajustaron a los requisitos de los sistemas dosificadores y fueron compatibles entre sí, evaluándolas según criterios de selección a través de matrices de decisión.

#### **3.4.1 Criterios de selección**

Se colocaron en grupos según la importancia de cada parámetro en relación a las características de funcionamiento de los equipos, determinando a cuáles criterios se le da prioridad en la evaluación.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

### Grupo de Alta importancia

#### 3.4.1.1 Funcionabilidad

Considera la eficacia con la que la propuesta se pueda desempeñar en el subsistema, la capacidad de cumplir de forma satisfactoria, la función a la cual fue asignada, es decir, ¿Qué tan bien puede realizar la tarea, la idea a evaluar?

#### 3.4.1.2 Seguridad

Protección al usuario del equipo ante accidentes causados por bordes cortantes, espacios estrechos donde pueda quedar atrapada alguna extremidad del cuerpo, elementos giratorios, etc. Considera tanto la seguridad del operador como la del equipo en sí, en términos de su estructura y partes que lo componen.

#### 3.4.1.3 Energía

La zona donde se instalarán los equipos carece de suministro directo de energía eléctrica, aunque la planta de potabilización de agua contará con paneles solares y un banco de baterías para su autoabastecimiento, los dosificadores deben consumir la menor cantidad posible de energía para llevar a cabo su función ya que otros equipos también dependen de esta fuente.

### Grupo de Media importancia

#### 3.4.1.4 Posibilidad de construcción

Aunque dentro de los objetivos del presente trabajo no está la construcción del equipo, todo buen diseño debe tomar en cuenta los procesos de fabricación de cada pieza, buscando facilitar la elaboración y reducir costos de producción. Contempla la posibilidad de construir la propuesta.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

#### 3.4.1.5 Compatibilidad

Cada subsistema representa una función del equipo, la generación de ideas trata a cada uno de estos por separado pero el diseño final es la unión de las mejores propuestas, razón por la cual esas ideas deben ser compatibles, es decir, deben poder integrarse unas con otras para dar con el diseño definitivo. En caso de no ser posible, deben realizarse las modificaciones pertinentes que permitan su integración. Además de esto, contempla la compatibilidad entre funcionamiento automático y manual para los subsistemas que así lo requieran.

#### 3.4.1.6 Operatividad

Se deben diseñar los equipos para que los habitantes de la comunidad los puedan utilizar de una forma intuitiva, tanto la parte manual como la automática, de este modo se sentirán más motivados a utilizarlos.

#### 3.4.1.7 Protección del compuesto

Dentro del diseño de la planta está contemplado un lugar adecuado para el almacenaje de las sustancias químicas. Adicionalmente, los dosificadores, almacenarán la cantidad suficiente de compuesto para un día de tratamiento, es decir, tres (3) dosis. Cabe destacar que durante el periodo de operación se debe proteger al compuesto químico de cualquier elemento ajeno a su naturaleza que pueda entrar en contacto con él, así como también reducir su exposición a la humedad presente para evitar pérdida de material químico. Aunado a esto, no solo se debe proteger el compuesto químico sino también a los usuarios que se expongan a la manipulación de los mismos, esto pensando sobre todo en los niños que están en la zona.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

#### 3.4.1.8 Mantenimiento

El diseño de los equipos debe facilitar el mantenimiento de los mismos para que los habitantes de la comunidad no tengan que depender de algún soporte técnico proveniente de la ciudad, ya que se encuentran en zonas aisladas en el Bajo delta del Orinoco. En caso de presentarse alguna falla en un equipo, los mismos habitantes deben estar en la capacidad (en lo posible) de arreglar el desperfecto y volver a poner el equipo en funcionamiento. Además de esto, el ensamblaje y desensamblaje deben poder realizarse sin mayores complicaciones para facilitar el mantenimiento preventivo.

#### 3.4.1.9 Vida útil

Da un tiempo estimado en el cual el equipo puede trabajar sin presentar fallas. Esto dependerá sobre todo del mantenimiento preventivo que se realice.

#### 3.4.1.10 Costos

Valor aproximado de fabricación de la propuesta y compra de las partes que lo integran.

#### Grupo de Baja importancia

#### 3.4.1.11 Residuos

La planta de potabilización está diseñada para tratar agua mediante tres (3) cargas por día, esto significa que después del tercer tratamiento los equipos de dosificación también detienen su funcionamiento, por lo que se debe evitar que queden residuos, tanto de químicos en polvo como en solución que puedan generar inconvenientes en la operatividad de los dosificadores.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

#### 3.4.1.12 Estética

La imagen final del diseño debe ser agradable a la vista de los usuarios. Este criterio evalúa si la propuesta es atractiva o no, para que los indígenas se sientan a gusto cuando deban manipular el dosificador.

#### 3.4.1.13 Ergonomía

Adaptar el diseño a la capacidad y necesidades de las personas evitando esfuerzos y posiciones inadecuadas.

#### 3.4.1.14 Tamaño

Los dosificadores almacenarán pequeñas cantidades de compuesto químico, por lo tanto los componentes de los equipos deben estar en proporcionalidad unos con otros.

### 3.4.2 *Matrices de decisión*

Para realizar la evaluación de las ideas se recurrió a una matriz de decisión, en la cual, se compararon las diferentes propuestas de cada subsistema con los criterios de selección correspondientes. Cada criterio tiene un valor porcentual que se le asignó para cada subsistema según su orden de importancia, esto se realizó de acuerdo a juicios de expertos en reuniones en el Instituto de Ingeniería. Es necesario aclarar que no todos los parámetros de selección aplicaron para la evaluación de todos los subsistemas.

A continuación se presentan los criterios que se consideraron en los diseños de los dosificadores de solución: Hipoclorito de Calcio y Sulfato de Aluminio, con su correspondiente valor porcentual.

Tabla. 3.1. Criterios para la evaluación de la disolución del compuesto químico

<b>Disolución del compuesto químico</b>	
CRITERIOS	VALOR (%)
Funcionabilidad	25
Energía	20
Seguridad	20
Mantenimiento	10
Posibilidad de construcción	10
Residuos	10
Operatividad	5
Total	100

Tabla. 3.2. Criterios para la evaluación del control de la cantidad de compuesto químico

<b>Control de la cantidad de compuesto químico</b>	
CRITERIOS	VALOR (%)
Funcionabilidad	25
Compatibilidad	15
Costos	15
Posibilidad de construcción	15
Seguridad	15
Estética	5
Mantenimiento	5
Operatividad	5
Total	100

Tabla. 3.3. Criterios para la evaluación del almacenamiento de la sustancia

<b>Almacenamiento de la sustancia</b>	
CRITERIOS	VALOR (%)
Funcionabilidad	25
Posibilidad de construcción	20
Compatibilidad	15
Protección del compuesto	15
Mantenimiento	10
Ergonomía	5
Estética	5
Residuos	5
Total	100

Tabla. 3.4. Criterios para la evaluación de la adición del químico en polvo a la cámara de mezclado

<b>Adición del químico en polvo a la cámara de mezclado</b>	
CRITERIOS	VALOR (%)
Funcionabilidad	20
Operatividad	15
Posibilidad de construcción	15
Compatibilidad	10
Mantenimiento	10
Residuos	10
Seguridad	10
Ergonomía	5
Estética	5
Total	100

Tabla. 3.5. Criterios para la evaluación de la dosificación de la solución

<b>Dosificación de la solución</b>	
CRITERIOS	VALOR (%)
Funcionabilidad	25
Operatividad	15
Posibilidad de construcción	15
Compatibilidad	10
Mantenimiento	10
Residuos	10
Seguridad	10
Estética	5
Total	100

A continuación se muestran los criterios de selección junto con su valor porcentual utilizados en la evaluación de las ideas de los subsistemas correspondientes al dosificador de Hidróxido de Calcio (Ca) en polvo.

Tabla. 3.6. Criterios para la evaluación de la geometría del recipiente de almacenamiento

<b>Geometría del recipiente de almacenamiento</b>	
CRITERIOS	VALOR (%)
Funcionabilidad	20
Operatividad	15
Posibilidad de construcción	15
Residuos	15
Compatibilidad	10
Estética	10
Mantenimiento	10
Ergonomía	5
Total	100

Tabla. 3.7. Criterios para la evaluación del sistema anti apelmazante

<b>Sistema anti apelmazante</b>	
CRITERIOS	VALOR (%)
Funcionabilidad	20
Operatividad	15
Posibilidad de construcción	15
Compatibilidad	10
Mantenimiento	10
Seguridad	10
Vida útil	10
Ergonomía	5
Estética	5
Total	100

Tabla. 3.8. Criterios para la evaluación de la dosificación del químico en polvo

<b>Dosificación del químico en polvo</b>	
CRITERIOS	VALOR (%)
Funcionabilidad	20
Operatividad	15
Posibilidad de construcción	15
Compatibilidad	10
Mantenimiento	10
Seguridad	10
Vida útil	10
Estética	5
Residuos	5
Total	100

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

### **3.5 Diseño de detalle**

Luego de realizar la evaluación de las diferentes propuestas en cada subsistema, quedó definida la forma de operación de las funciones de los equipos. Para el diseño de detalle, se realizaron reuniones parecidas a las de generación de ideas solo que enfocadas en discutir las características específicas de las ideas seleccionadas para desarrollar los diseños finales.

Varios subsistemas requirieron accesorios para su funcionamiento, por lo cual, se tomaron como subsistemas auxiliares y siguiendo con la misma metodología de diseño, se realizaron las respectivas sesiones de generación de ideas, evaluación y selección de las mismas y el diseño de detalle para integrar la propuesta seleccionada al subsistema en cuestión.

El dosificador de Sulfato de Aluminio, al tener las mismas funciones de operación que el de Hipoclorito de Calcio, se decidió unificar subsistemas y concentrar el diseño de detalle en el almacenamiento de la sustancia y la dosificación de la solución, debido a que la cantidad de compuesto químico es mayor así como también la velocidad de dosificación.

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DE DOSIFICADORES DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN SOLUCIÓN**

#### **DOSIFICADOR DE HIPOCLORITO DE CALCIO**

Siguiendo con la metodología de diseño aplicada a este proyecto, se muestran a continuación los subsistemas del dosificador de Hipoclorito de Calcio y las propuestas de solución para cada uno de ellos producto de las sesiones de generación de ideas. Cada propuesta está representada por un boceto y una breve explicación de las características de su funcionamiento. Luego se evalúan las propuestas mencionadas según los criterios de selección y se determina el diseño final del equipo.

#### **4.1 Subsistema I: Disolución del compuesto químico**

Durante la etapa de desinfección se agrega cloro para eliminar los microorganismos patógenos remanentes y dejar una protección residual en el agua para la posterior distribución en la comunidad; para que esta acción sea efectiva, el cloro se debe distribuir homogéneamente en todo el volumen de agua a tratar.

El Hipoclorito de Calcio que se utilizará en la planta de potabilización de agua se consigue en forma de gránulos, lo cual dificulta su mezcla, es por esto que se necesita disolverlo en agua antes de agregarlo al tanque de desinfección. A continuación se muestran las propuestas obtenidas durante la generación de ideas.

#### 4.1.1 Hélice tipo turbina con estator

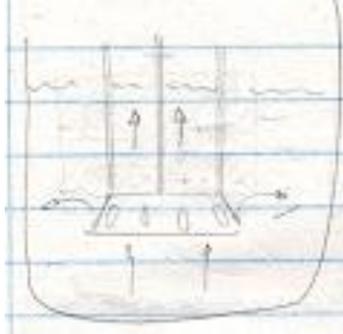


Fig. 4.1 Propuesta 4.1.1 Hélice tipo turbina con estator

Este tipo de mezclador funciona como una bomba centrífuga, tiene un eje vertical y en el extremo inferior tiene unas paletas que giran dentro de un anillo perforado que permanece estático, succiona el líquido desde el fondo y lo expulsa radialmente a través de los orificios del anillo exterior. Los sólidos se dispersan debido a los esfuerzos cortantes lo cual facilita su disolución.

Es muy eficaz a altas velocidades homogeneizando la mezcla, esto se vuelve una desventaja en un sistema que requiere un respaldo manual ya que es necesario un multiplicador de velocidad para que el operador maneje el equipo. Se utiliza comúnmente en recipientes de forma cilíndrica

#### 4.1.2 Turbulencia utilizando deflectores

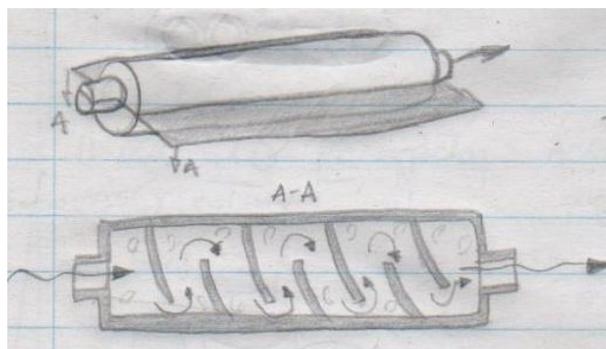


Fig. 4.2 Propuesta 4.1.2 Turbulencia utilizando deflectores

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

La idea consiste en aprovechar la energía cinética del agua y hacerla pasar a través de una especie de laberinto formado por deflectores, semejante a un instrumento de percusión artesanal llamado “palo de lluvia”, de forma tal que la turbulencia generada en el mezclador disuelva el químico. Resulta independiente, ya que no necesita una fuente externa de energía (motores, hélices, etc.) pero los deflectores responsables de generar la turbulencia, dificultan la construcción y el mantenimiento del sistema al retener sedimentos y sólidos en suspensión.

#### **4.1.3 Hélice**

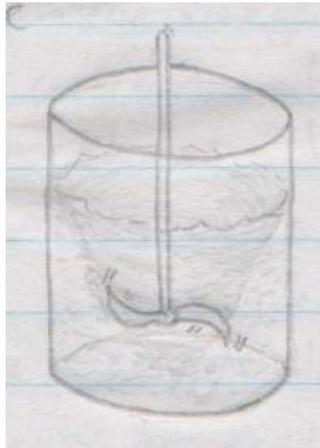


Fig. 4.3 Propuesta 4.1.3 Hélice

Utilizando una o varias hélices unidas a un eje vertical se emplea como una licuadora pero con el motor en la parte superior. Se debe tener cuidado con la formación de un vórtice que pueda desbordar el recipiente de mezcla, para evitar esto se puede colocar una tapa con un sello.

#### 4.1.4 *Agitando el recipiente*



Fig. 4.4 Propuesta 4.1.4 Agitando el recipiente

Se coloca el agua con el Hipoclorito en una mitad del recipiente, luego se tapa con la otra mitad y se agita pasando el contenido de un recipiente a otro para disolver el químico. Es un mezclador de movimiento alternante que debe estar sellado herméticamente para evitar fugas durante el proceso de mezcla.

Para el accionamiento automático se debe colocar un soporte que permita el movimiento y la separación de las partes del mezclador.

#### 4.1.5 *Batidor de rotación alternativa*



Fig. 4.5 Propuesta 4.1.5 Batidor de rotación alternativa

En un recipiente se colocan unas paletas en posición vertical permitiendo que pivoteen sobre el eje del recipiente de forma alternante, realiza la mezcla como una lavadora. Es posible que este tipo de movimiento genere espuma, lo cual es indeseable para la dosificación porque parte del químico queda atrapado con el aire.

#### 4.1.6 Mezclador magnético

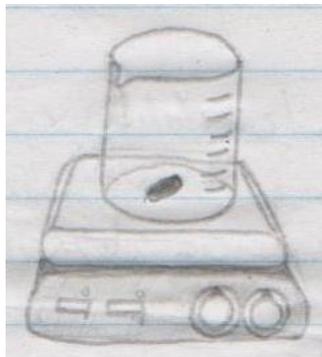


Fig. 4.6 Propuesta 4.1.6 Mezclador magnético

El recipiente se coloca sobre una base que genera un campo electromagnético giratorio, el cual hace que una “pastilla” ferromagnética siga el movimiento del campo provocando un vórtice en la mezcla. La desventaja de este sistema es que la “capsula” es pequeña y fácil de extraviarse, sin la cual el sistema queda inhabilitado, además, éste mezclador no se puede utilizar sin energía eléctrica.

#### 4.2 Subsistema II: Control de la cantidad de compuesto químico

Para que el proceso de potabilización de agua se lleve a cabo adecuadamente, se deben respetar las proporciones de químico que se agregan. El Hipoclorito de Calcio no solamente actúa en el tanque de desinfección, sino que deja una protección residual que elimina los microorganismos que pudieran estar presentes en el agua durante su consumo final.

Para la correcta dosificación, se requiere regular la cantidad necesaria para cada uno de los tratamientos, por lo que un sistema de restricción de peso (gravimétrico), de volumen (volumétrico) o de caudal debe ser incorporado. A continuación se muestran las propuestas obtenidas durante la generación de ideas.

#### 4.2.1 *Temporizador y actuador*

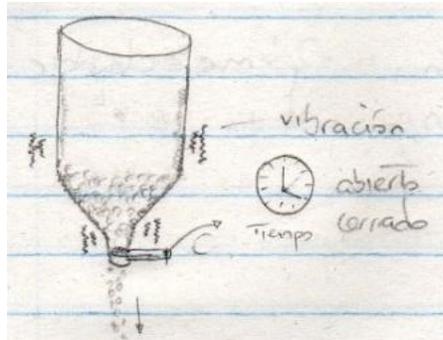


Fig. 4.7 Propuesta 4.2.1 Temporizador y actuador

En la base se coloca un actuador que abra y cierre una compuerta deslizante, el temporizador limita el tiempo de apertura para que caiga la cantidad justa. Este sistema debe ser puesto a prueba para calibrarlo y determinar el tiempo necesario para dosificar la cantidad justa para una carga. Cabe destacar que sin suministro eléctrico, esta propuesta queda inhabilitada.

#### 4.2.2 *Reloj mecánico*

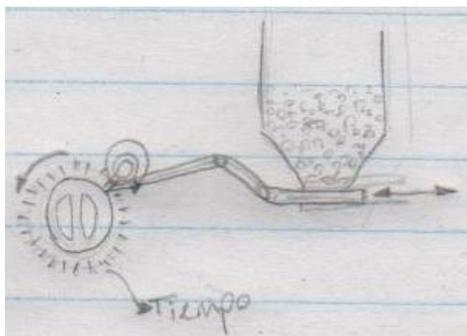


Fig. 4.8 Propuesta 4.2.2 Reloj mecánico

Esta idea utiliza el mismo principio que la propuesta anterior sustituyendo el temporizador por un sistema mecánico. Al girar una perilla unida a un resorte torsional, éste actúa como un reloj. El mismo eje mediante una biela abre y/o cierra la compuerta de descarga, determinando el tiempo que permanecerá abierta para la dosificación.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

### 4.2.3 *Volumen de control*

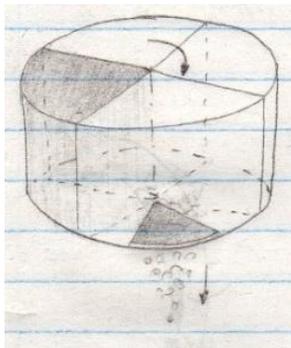


Fig. 4.9 Propuesta 4.2.3 Volumen de control

Como cada dosis tiene la misma cantidad de compuesto químico, se pueden almacenar en compartimentos separados en un cilindro.

Se divide en cuatro (4) partes iguales mediante travesaños, los cuales mantienen sus ángulos rectos entre sí pero pueden girar alrededor del eje del cilindro. La parte inferior tiene un orificio para la descarga del químico. Cuando se giran las secciones, una de estas se posiciona sobre la porción libre de la base y descarga su contenido al tanque.

Una de las secciones está sellada en la parte superior, para que al momento de llenar los compartimentos, el orificio de la base quede tapado, evitando un derrame químico indeseado.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

#### 4.2.4 *Proporcional al flujo de agua*

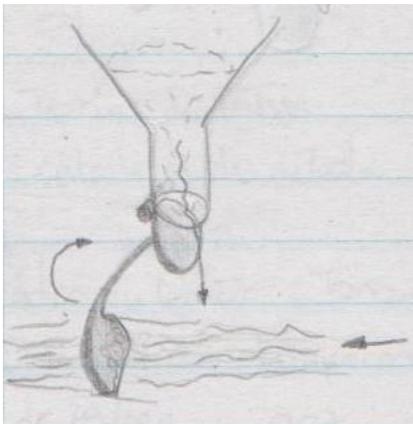


Fig. 4.10 Propuesta 4.2.4 Proporcional al flujo de agua

Mediante un mecanismo se limita el caudal de descarga del químico en función del caudal de entrada del agua, mientras más agua entre, más Hipoclorito será descargado, por lo que la proporción de compuesto químico en el agua permanece constante.

### 4.3 **Subsistema III: Almacenamiento de la sustancia**

El dosificador está pensado para almacenar suficiente Hipoclorito de Calcio para tres (3) tratamientos de agua. El químico debe estar protegido del ambiente para que no se contamine, reducir su exposición a la humedad presente, así como también disminuir en lo posible el contacto con las personas, sobre todo los niños, ya que este compuesto es tóxico. A continuación se muestran las propuestas obtenidas durante la generación de ideas.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

### 4.3.1 Recipiente único

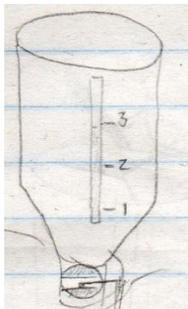


Fig. 4.11 Propuesta 4.3.1 Recipiente único

La totalidad de compuesto químico necesario para los tres (3) tratamientos del día, se almacenan en un único recipiente. La cantidad se determina mediante una marca de nivel en un visor transparente. La descarga se realiza por partes, dosificando un tercio del contenido con cada tratamiento.

### 4.3.2 Compartimientos separados

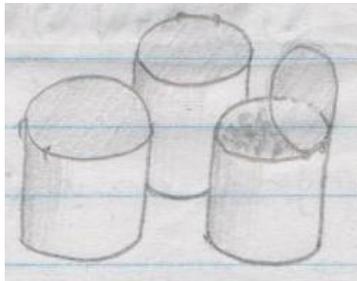


Fig. 4.12 Propuesta 4.3.2 Compartimientos separados

La cantidad de Hipoclorito que se necesita durante el día de tratamiento, se divide para las tres (3) dosis, una en cada compartimiento. Los recipientes son iguales, permitiendo nivelarlos para controlar las cantidades presentes en cada uno.

### 4.3.3 *Compartimientos separados y removibles*

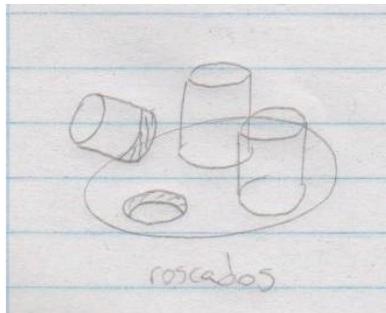


Fig. 4.13 Propuesta 4.3.3 Compartimientos separados y removibles

Siguiendo con la idea anterior, se agrega la cantidad necesaria para cada dosis en recipientes separados, con la diferencia que estos se trasladan desde la ubicación del equipo hasta el lugar de almacenaje para su recarga, de esta forma se protege el compuesto químico durante el trayecto de regreso al dosificador.

### 4.3.4 *Empaques sellados*

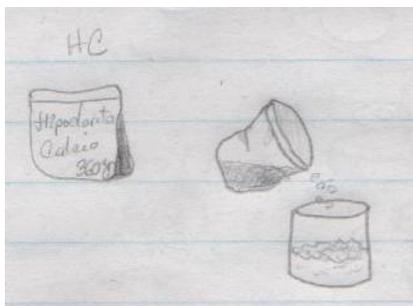


Fig. 4.14 Propuesta 4.3.4 Empaques sellados

El compuesto químico es guardado en bolsas plásticas de cierre hermético con la cantidad exacta para cada carga de agua a tratar, lo cual permite tener almacenado cierta cantidad de empaques y también ahorrar tiempo al momento de dosificar, ya que no es necesario determinar las dosis en cada tratamiento.

Se agregan directamente a la cámara de mezclado. Cada vez que se necesite realizar un tratamiento se lleva un empaque con la cantidad justa. El

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

inconveniente de esta propuesta es que alguien debe pesar el contenido en cada bolsa y luego sellarla para almacenarlas.

#### **4.4 Subsistema IV: Adición del químico en polvo a la cámara de mezclado**

Este subsistema tiene como propósito hacer llegar el compuesto químico desde el recipiente de almacenamiento hasta la cámara de mezclado para su disolución en agua. No es necesario agregarlo de forma paulatina ya que el mezclador se encargará de disolverlo, así que se puede agregar toda la dosis instantáneamente. A continuación se muestran las propuestas obtenidas durante la generación de ideas.

##### **4.4.1 Apertura de compuertas**

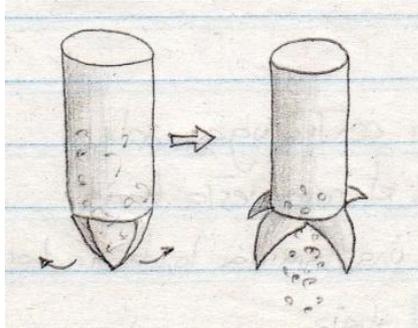


Fig. 4.15 Propuesta 4.4.1 Apertura de compuertas

La parte inferior del recipiente está formada por una serie de láminas que cierran como una especie de garra, impidiendo que el contenido del cilindro escape. Al momento de dosificar, se abren estas láminas y el compuesto químico cae por gravedad.

#### 4.4.2 Compuerta deslizante

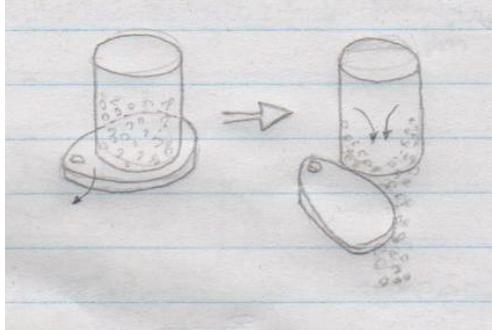


Fig. 4.16 Propuesta 4.4.2 Compuerta deslizante

Se tiene un cilindro donde se almacena la dosis del tratamiento, la parte inferior del mismo es abierta para permitir la descarga del compuesto. Se coloca un elemento debajo del cilindro que tape la salida del químico, cuando ésta compuerta se gira, deja libre el paso del Hipoclorito hacia la cámara de mezclado.

#### 4.4.3 Volteo del recipiente

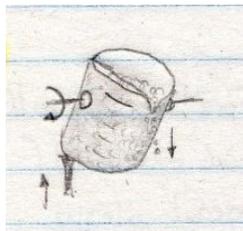


Fig. 4.17 Propuesta 4.4.3 Volteo del recipiente

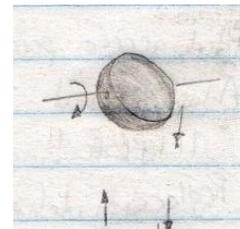


Fig. 4.18 Propuesta 4.4.3 versión 2

El recipiente donde se encuentra el compuesto químico puede pivotar respecto a un eje horizontal, lo cual permite que al girar media vuelta, el compuesto desborde el recipiente y se descargue completamente. Un inconveniente de esta propuesta es que deja el compuesto químico a la intemperie.

#### 4.4.4 Empujando con un pistón

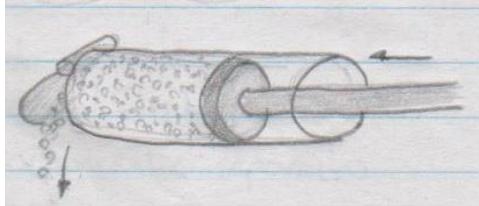


Fig. 4.19 Propuesta 4.4.4 Empujando con un pistón

Utilizando el principio de una inyectora, se carga con el Hipoclorito de Calcio, tres (3) cilindros individuales para cada dosis. Al momento de la dosificación, un pistón empuja el compuesto hacia la salida, en cada tratamiento se descarga completamente, uno a la vez. En la salida del cilindro se encuentra una compuerta que retiene al compuesto químico y se abre al momento del tratamiento para realizar la descarga.

#### 4.4.5 Fuerza centrífuga

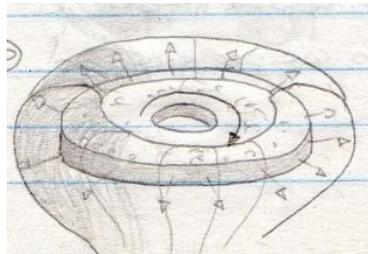


Fig. 4.20 Propuesta 4.4.5 Fuerza centrífuga

La propuesta considera un disco cóncavo donde se coloca el Hipoclorito y una pantalla exterior para redirigir el compuesto. Cuando el disco comienza a girar, las fuerzas centrífugas expulsan al químico radialmente hacia la pantalla, la cual lo desvía hacia abajo donde caerá en la cámara de mezclado.

#### 4.4.6 Girando los recipientes

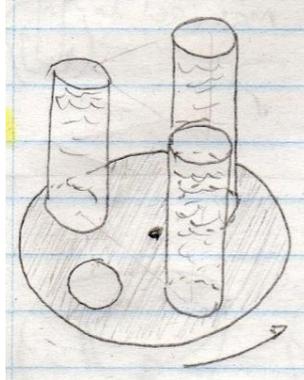


Fig. 4.21 Propuesta 4.4.6 Girando los recipientes

Se colocan tres cilindros en posición vertical que contengan las tres dosis del día de tratamiento. La parte inferior de cada uno está en contacto con una lámina que bloquea la salida, dicha lámina tiene un orificio. Cada giro de  $120^\circ$  posiciona un cilindro sobre el agujero, liberando todo el contenido del compuesto químico.

#### 4.4.7 Arrastre por vacío

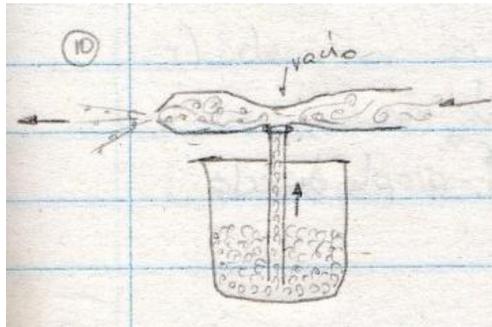


Fig. 4.22 Propuesta 4.4.7 Arrastre por vacío

Cuando se hace pasar aire a presión por un conducto con un cambio de sección, se genera un vacío en la sección de menor diámetro. Se puede utilizar este vacío para arrastrar la sustancia contenida en el envase y llevarla a través del mismo conducto a la cámara de mezclado.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Cabe destacar que para el funcionamiento de esta propuesta es necesario un elemento que genere el aire comprimido.

#### **4.5 Subsistema V: Dosificación de la solución**

Los caudales de entrada al tanque de almacenamiento, tanto del agua proveniente del filtro (proceso previo a la cloración) como de la solución dosificada, deben ser proporcionales entre sí, para evitar una distribución desigual de Hipoclorito de Calcio en el volumen de agua del tanque. En consecuencia, es necesario incorporar un sistema de regulación de caudal para cumplir con esta condición. A continuación se muestran las propuestas obtenidas durante la generación de ideas.

##### **4.5.1 Válvula automática y manual**

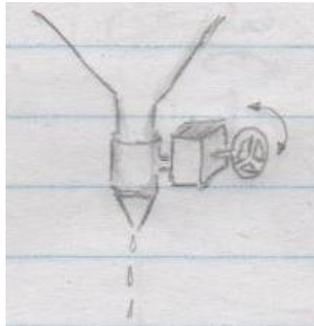


Fig. 4.23 Propuesta 4.5.1 Válvula automática y manual

En la descarga se coloca una válvula solenoide con un volante que permita su accionamiento manual en caso de fallo en el suministro de energía eléctrica. Estas válvulas permiten regular el flujo de solución que entra al tanque de desinfección, bien sea por medio de un controlador electrónico o manualmente con el volante.

#### 4.5.2 *Dos válvulas en serie*

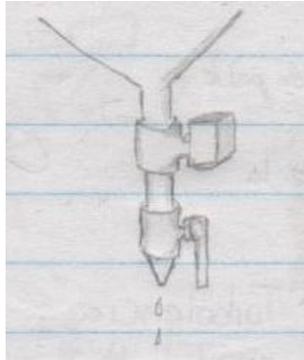


Fig. 4.24 Propuesta 4.5.2 Dos válvulas en serie

El mismo principio que la propuesta anterior solo que separando las válvulas, la solenoide sería normalmente abierta para permitir en caso de no haber electricidad, el uso de la válvula de globo para regular el caudal de descarga.

#### 4.5.3 *Compuerta*

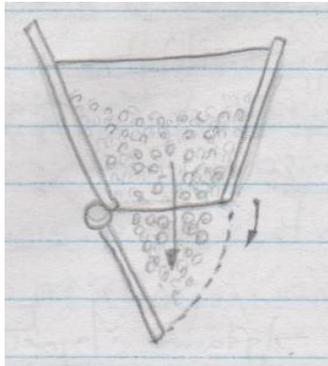


Fig. 4.25 Propuesta 4.5.3 Compuerta

Al momento de la dosificación se abre una compuerta de forma tal que permita un flujo adecuado de solución, se debe calibrar para determinar el ángulo apropiado que permita la correcta dosificación. Durante el mezclado de la solución, la compuerta debe sellar herméticamente para evitar fugas.

#### 4.5.4 Cámara de infusión



Fig. 4.26 Propuesta 4.5.4 Cámara de infusión

Utilizando un gotero similar a las cámaras de infusión utilizadas en los hospitales, se regula el flujo de la solución de Hipoclorito de Calcio que será agregado al tanque de desinfección. Esta propuesta permite mantener la solución en la cámara de mezclado durante la disolución del compuesto químico y abrir la válvula reguladora al comienzo de la dosificación.

#### 4.5.5 Dispensador



Fig. 4.27 Propuesta 4.5.5 Dispensador

Esta propuesta se basa en una especie de surtidor que se utiliza a menudo para extraer el contenido de los botellones de agua mineral. Con este mecanismo se puede dosificar la misma cantidad de solución cada vez que se presiona el dispensador. Un inconveniente de esta propuesta es que no extrae en

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

su totalidad el volumen de solución, dejando residuos en la parte inferior del recipiente.

#### 4.5.6 Cilindro-pistón

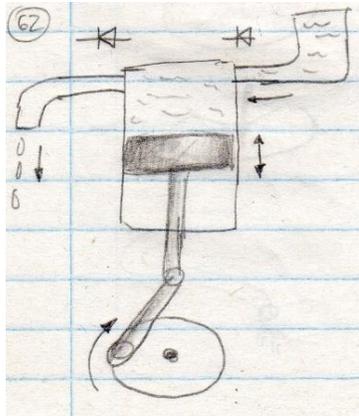


Fig. 4.28 Propuesta 4.5.6 Cilindro-pistón

Utilizando un mecanismo cilindro-pistón se succiona solución de la cámara de mezclado y se bombea hacia el tanque de desinfección, se colocan unas válvulas check en la entrada y salida del cilindro, que condicionen el flujo de solución en un sentido. Con cada revolución del eje inferior, el pistón sube y baja una vez, bombeando siempre la misma cantidad de solución.

La construcción de esta propuesta resulta compleja ya que los mecanismos existentes son metálicos y al entrar en contacto con la solución de Hipoclorito de Calcio se corroen, por lo tanto se debe recurrir a materiales que resistan a la corrosión de este químico.

#### 4.5.7 *Bomba peristáltica lineal*

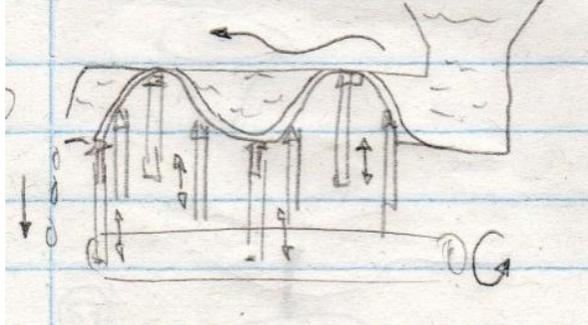


Fig. 4.29 Propuesta 4.5.7 Bomba peristáltica lineal

Los movimientos peristálticos son movimientos de contracción y relajación ondulatorios usados en muchos sistemas biológicos como el aparato digestivo. Se puede utilizar un mecanismo cigüeñal como el de los pistones del motor de un automóvil que, al subir y bajar alternadamente, emulan las ondulaciones del movimiento peristáltico, con lo cual se puede desplazar cantidades justas de solución a través de un canal.

#### 4.5.8 *Esponja*

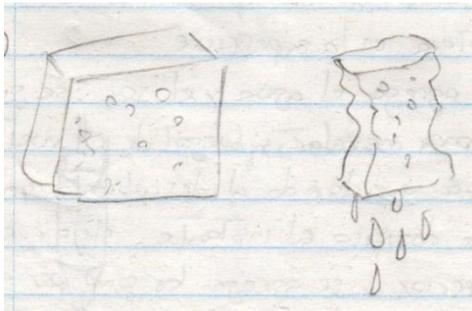


Fig. 4.30 Propuesta 4.5.8 Esponja

La esponja absorbe cierta cantidad de solución de la cámara de mezclado, al exprimirla descarga su contenido. Hay que comprimir la esponja con algo que proteja al operador para que no entre en contacto con la solución. Es muy posible que queden residuos en la esponja luego de finalizar la dosificación.

#### 4.6 Evaluación de las propuestas

Luego de haber realizado la generación de ideas para cada subsistema, se elaboraron matrices de decisión utilizando la metodología de diseño, determinando las ideas que mejor se ajustan a los requisitos del proyecto.

Tabla. 4.1. Matriz de decisión del Subsistema I: Disolución del compuesto químico

DISOLUCIÓN DEL COMPUESTO QUÍMICO													
CRITERIOS	VALOR (%)	<i>Hélice tipo turbina con estator</i>		<i>Turbulencia utilizando deflectores</i>		<i>Hélice</i>		<i>Agitando el recipiente</i>		<i>Batidor de rotación alternativa</i>		<i>Mezclador magnético</i>	
		EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT
<b>Funcionabilidad</b>	<b>25</b>	5	1,25	4	1	4	1	3	0,75	4	1	3	0,75
<b>Energía</b>	<b>20</b>	3	0,6	5	1	4	0,8	4	0,8	3	0,6	5	1
<b>Seguridad</b>	<b>20</b>	5	1	5	1	4	0,8	3	0,6	4	0,8	3	0,6
<b>Mantenimiento</b>	<b>10</b>	4	0,4	3	0,3	5	0,5	5	0,5	4	0,4	5	0,5
<b>Posibilidad de construcción</b>	<b>10</b>	4	0,4	2	0,2	5	0,5	2	0,2	5	0,5	5	0,5
<b>Residuos</b>	<b>10</b>	5	0,5	4	0,4	4	0,4	4	0,4	5	0,5	3	0,3
<b>Operatividad</b>	<b>5</b>	5	0,25	5	0,25	5	0,25	4	0,2	5	0,25	4	0,2
<b>Total</b>	<b>100</b>		4,4		4,15		4,25		3,45		4,05		3,85

CAPÍTULO IV DISEÑO DE DOSIFICADORES DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN SOLUCIÓN

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Tabla. 4.2. Matriz de decisión del Subsistema II: Control de la cantidad de compuesto químico

CONTROL DE LA CANTIDAD DE COMPUESTO QUÍMICO									
CRITERIOS	VALOR (%)	<i>Temporizador y actuador</i>		<i>Reloj mecánico</i>		<i>Volumen de control</i>		<i>Proporcional al flujo de agua</i>	
		EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT
<b>Funcionabilidad</b>	<b>25</b>	5	1,25	4	1	5	1,25	4	1
<b>Compatibilidad</b>	<b>15</b>	5	0,75	5	0,75	5	0,75	4	0,6
<b>Costos</b>	<b>15</b>	2	0,3	5	0,75	5	0,75	5	0,75
<b>Posibilidad de construcción</b>	<b>15</b>	5	0,75	5	0,75	5	0,75	3	0,45
<b>Seguridad</b>	<b>15</b>	5	0,75	5	0,75	5	0,75	4	0,6
<b>Estética</b>	<b>5</b>	4	0,2	4	0,2	4	0,2	5	0,25
<b>Mantenimiento</b>	<b>5</b>	3	0,15	4	0,2	4	0,2	4	0,2
<b>Operatividad</b>	<b>5</b>	4	0,2	5	0,25	5	0,25	5	0,25
<b>Total</b>	<b>100</b>		4,35		4,65		4,9		4,1

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Tabla. 4.3. Matriz de decisión del Subsistema III: Almacenamiento de la sustancia

ALMACENAMIENTO DE LA SUSTANCIA									
CRITERIOS	VALOR (%)	<i>Recipiente único</i>		<i>Compartimientos separados</i>		<i>Compartimientos separados y removibles</i>		<i>Empaques sellados</i>	
		EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT
<b>Funcionabilidad</b>	<b>25</b>	4	1	5	1,25	4	1	3	0,75
<b>Posibilidad de construcción</b>	<b>20</b>	5	1	5	1	5	1	5	1
<b>Compatibilidad</b>	<b>15</b>	3	0,45	5	0,75	5	0,75	5	0,75
<b>Protección del compuesto</b>	<b>15</b>	5	0,75	5	0,75	4	0,6	3	0,45
<b>Mantenimiento</b>	<b>10</b>	5	0,5	4	0,4	4	0,4	5	0,5
<b>Ergonomía</b>	<b>5</b>	4	0,2	4	0,2	5	0,25	5	0,25
<b>Estética</b>	<b>5</b>	5	0,25	5	0,25	5	0,25	4	0,2
<b>Residuos</b>	<b>5</b>	5	0,25	4	0,2	4	0,2	4	0,2
<b>Total</b>	<b>100</b>		4,4		4,8		4,45		4,1

CAPÍTULO IV DISEÑO DE DOSIFICADORES DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN SOLUCIÓN

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Tabla. 4.4. Matriz de decisión del Subsistema IV: Adición del químico en polvo a la cámara de mezclado

ADICIÓN DEL QUÍMICO EN POLVO A LA CÁMARA DE MEZCLADO															
CRITERIOS	VALOR (%)	<i>Apertura de compuertas</i>		<i>Compuerta deslizante</i>		<i>Volteo del recipiente</i>		<i>Empujando con un pistón</i>		<i>Fuerza centrífuga</i>		<i>Girando los recipientes</i>		<i>Arrastre por vacío</i>	
		EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT
<b>Funcionabilidad</b>	<b>20</b>	4	0,8	5	1	5	1	5	1	3	0,6	5	1	4	0,8
<b>Operatividad</b>	<b>15</b>	5	0,75	5	0,75	4	0,6	4	0,6	4	0,6	5	0,75	4	0,6
<b>Posibilidad de construcción</b>	<b>15</b>	4	0,6	5	0,75	4	0,6	4	0,6	4	0,6	4	0,6	2	0,3
<b>Compatibilidad</b>	<b>10</b>	5	0,5	5	0,5	5	0,5	4	0,4	2	0,2	5	0,5	4	0,4
<b>Mantenimiento</b>	<b>10</b>	5	0,5	4	0,4	5	0,5	3	0,3	4	0,4	4	0,4	3	0,3
<b>Residuos</b>	<b>10</b>	4	0,4	4	0,4	5	0,5	3	0,3	5	0,5	4	0,4	5	0,5
<b>Seguridad</b>	<b>10</b>	4	0,4	4	0,4	3	0,3	4	0,4	2	0,2	5	0,5	5	0,5
<b>Ergonomía</b>	<b>5</b>	5	0,25	5	0,25	4	0,2	5	0,25	4	0,2	4	0,2	5	0,25
<b>Estética</b>	<b>5</b>	5	0,25	5	0,25	5	0,25	4	0,2	4	0,2	4	0,2	4	0,2
<b>Total</b>	<b>100</b>		4,45		4,7		4,45		4,05		3,5		4,55		3,85

CAPÍTULO IV DISEÑO DE DOSIFICADORES DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN SOLUCIÓN

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Tabla. 4.5. Matriz de decisión del Subsistema V: Dosificación de la solución

DOSIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN																	
CRITERIOS	VALOR (%)	<i>Válvula automática y manual</i>		<i>Dos válvulas en serie</i>		<i>Compuerta</i>		<i>Cámara de infusión</i>		<i>Dispensador</i>		<i>Cilindro-pistón</i>		<i>Bomba peristáltica lineal</i>		<i>Espanja</i>	
		EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT
<b>Funcionabilidad</b>	<b>25</b>	5	1,25	5	1,25	3	0,75	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
<b>Operatividad</b>	<b>15</b>	5	0,75	4	0,6	5	0,75	5	0,75	5	0,75	4	0,6	3	0,45	5	0,75
<b>Posibilidad de construcción</b>	<b>15</b>	2	0,3	4	0,6	4	0,6	5	0,75	5	0,75	3	0,45	2	0,3	5	0,75
<b>Compatibilidad</b>	<b>10</b>	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5	3	0,3	4	0,4	3	0,3	5	0,5
<b>Mantenimiento</b>	<b>10</b>	2	0,2	4	0,4	5	0,5	3	0,3	4	0,4	3	0,3	2	0,2	5	0,5
<b>Residuos</b>	<b>10</b>	4	0,4	3	0,3	4	0,4	4	0,4	3	0,3	3	0,3	3	0,3	1	0,1
<b>Seguridad</b>	<b>10</b>	5	0,5	5	0,5	2	0,2	5	0,5	5	0,5	4	0,4	4	0,4	3	0,3
<b>Estética</b>	<b>5</b>	5	0,25	3	0,15	4	0,2	4	0,2	5	0,25	4	0,2	4	0,2	2	0,1
<b>Total</b>	<b>100</b>		4,15		4,3		3,9		4,65		4,5		3,9		3,4		4,25

## 4.7 Diseño de detalle

Luego de haber seleccionado las propuestas correspondientes a cada subsistema, es necesario afinar los detalles de cada una para pasar del boceto de la idea al diseño final en cuestión.

### 4.7.1 *Subsistema I: Disolución del compuesto químico*

Tal como se muestra en la Tabla. 4.1, la propuesta seleccionada para la disolución del Hipoclorito de Calcio, fue la Hélice tipo turbina con estator, la cual está compuesta por el eje del mezclador, el rodete y el anillo exterior. Esta propuesta integra a su vez al recipiente de mezcla. A continuación se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de este subsistema.

#### 4.7.1.1 Recipiente de mezcla

El Hipoclorito de Calcio debe disolverse en agua filtrada para dosificarlo en forma líquida, cabe destacar que al momento mismo de la mezcla, el químico comienza a reaccionar, por lo tanto, se debe hacer una solución casi saturada para que la mayor reacción ocurra en el tanque de desinfección y no en el dosificador, además de evitar que decanten sólidos sin disolver.

En el Instituto de Ingeniería se realizaron pruebas de solubilidad del Hipoclorito de Calcio que se utilizará en la planta de tratamiento, determinando el volumen mínimo de agua requerida para la completa disolución del químico para una dosis de tratamiento (48 gramos en 5 litros). Este volumen a su vez, condiciona el tamaño del recipiente de mezcla, el cual debe contener el agua y dejar un margen de seguridad ya que la mezcla aumenta de volumen en un 20%. En consecuencia, el volumen del recipiente ocupa un 40% más del volumen de agua para el mezclado, es decir, 7 litros.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Se incorporó un visor de nivel para que el operador pueda observar hasta donde se llena de agua el recipiente y visualizar el comportamiento de la mezcla. La salida es de 3/4 de pulgada (19 mm aprox). El ángulo del cono es de 30°, esto permite que la solución no se estanque dentro del recipiente y que el mezclador funcione adecuadamente.

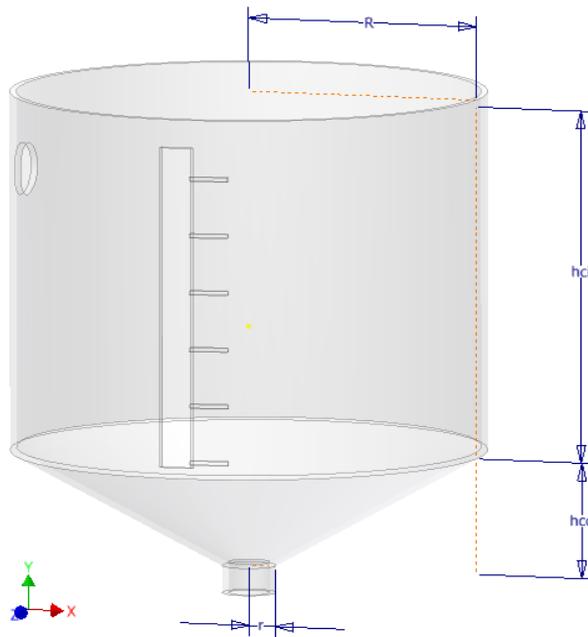


Fig. 4.31 Recipiente de mezcla

Tabla. 4.6. Dimensiones del recipiente de mezcla

Volumen [l]	h <sub>ci</sub> [mm]	h <sub>co</sub> [mm]	R [mm]	r [mm]
7,0	173,1	56,3	107,0	9,5

#### 4.7.1.2 Rodete del mezclador

Las dimensiones del rodete están condicionadas por el recipiente donde va a mezclar, como se indica en la Tabla. 2.19, donde se recomienda que el diámetro del rodete sea un tercio del diámetro del recipiente. Las dimensiones finales del rodete se muestran en la Tabla. 4.7.

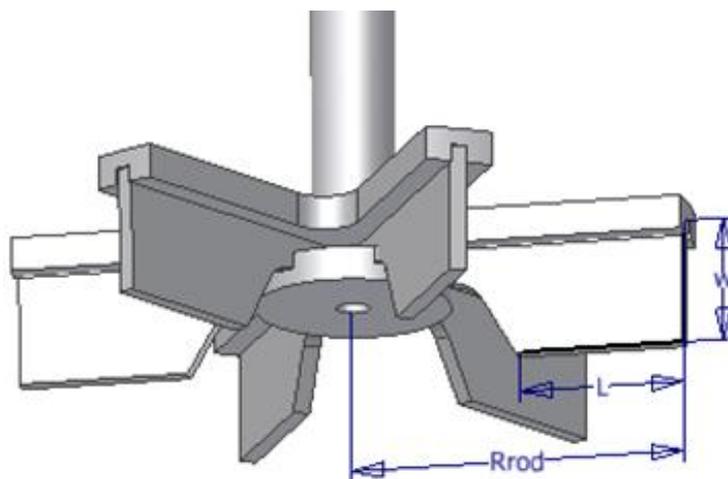


Fig. 4.32 Rodete del mezclador

Tabla. 4.7. Dimensiones del rodete

Rrod [mm]	W [mm]	L [mm]	E [mm] (Altura de colocación)
35,7	7,1	17,8	71,3

#### 4.7.1.3 Potencia necesaria para la agitación

Para poder seleccionar adecuadamente el motor eléctrico para el movimiento automático, se debe conocer la potencia necesaria para realizar la mezcla. Utilizando la ecuación (2), se obtuvo un valor de 0,05 HP (37,9 W) el cual se muestra en la Tabla. 4.8. En consecuencia, se seleccionó un motor eléctrico monofásico, el cual estará funcionando tres veces cada día en

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

intervalos de 2 horas aproximadamente. Se seleccionó un motor monofásico de 1/6 de HP (124 W), el cual tiene un tamaño proporcional al equipo de dosificación y potencia suficiente para accionar el mezclador y soportar las pérdidas mecánicas en el sistema, consecuencia de las altas temperaturas del ambiente y el tipo de servicio.

Tabla. 4.8. Potencia requerida para la agitación

P [HP]	0,05
P [W]	37,9

#### 4.7.1.4 Cálculo del factor de seguridad del eje del mezclador

De acuerdo al modo de operación de la planta de potabilización de agua, se utilizará el mezclador para disolver el Hipoclorito de Calcio previo a la dosificación, aproximadamente durante dos (2) minutos para cada una de las tres dosis (3) del día de tratamiento. La potencia requerida para realizar el mezclado es de 37,9 W, con lo cual, el mencionado eje estará sometido, por un corto período de tiempo, a un esfuerzo torsional pulsante. Para determinar si el eje soportará la carga aplicada, se calculó el factor de seguridad tanto a carga estática como a fatiga utilizando la relación de Goodman modificada (ecuación 4) como una primera aproximación (ver Tabla. 4.9), teniendo en cuenta que debido a las estructuras moleculares diferentes entre el nylon y el acero, el comportamiento ante la fatiga no sea igual.

Tabla. 4.9. Factores de seguridad para el eje del mezclador

n estático	18,9
n fatiga	17,2

#### 4.7.2 Sistema de transmisión

El mezclador trabaja de forma más eficaz a mayores velocidades de giro, esta condición es fácilmente cubierta con el accionamiento automático, empleando un motor eléctrico, sin embargo, para el accionamiento manual del mismo, es necesaria la incorporación de un multiplicador de velocidad.

Siguiendo con la metodología de diseño, se estableció el multiplicador de velocidad como un subsistema adicional, para el cual se realizó la correspondiente generación de ideas y evaluación de las mismas, las cuales se presentan a continuación.

##### 4.7.2.1 Cadenas

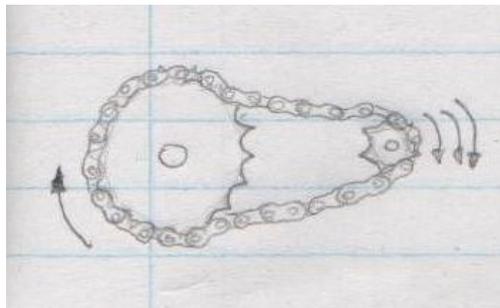


Fig. 4.33 Propuesta 4.7.2.1 Cadenas

Como en la transmisión de una bicicleta, se utilizan cadenas y piñones para aumentar la velocidad en la salida. El torque se genera en el piñón más grande. En el caso del sistema de transmisión para el dosificador, se utilizaría una manivela para un accionamiento con el(los) brazo(s) en vez de pedales para ahorrar espacio.

Debe realizarse un buen mantenimiento, de lo contrario, la cadena tiende a salirse de los dientes de los piñones, generando inconvenientes y retraso en el mezclado.

#### 4.7.2.2 Engranajes

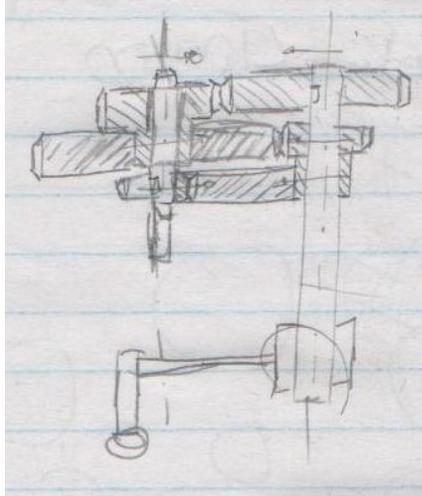


Fig. 4.34 Propuesta 4.7.2.2 Engranajes

Los engranajes son una buena manera de transmitir potencia, y en este caso, multiplicar la velocidad a la salida. Soportan grandes esfuerzos y si se utilizan engranajes cónicos, éstos permiten tener ejes perpendiculares, dando la posibilidad de tener el eje del mezclador vertical y la salida a la manivela horizontal.

Se pueden utilizar en varias etapas lo cual permite disminuir las distancias entre los ejes a transmitir el torque, por lo tanto, se obtiene un diseño compacto que se adapta a las dimensiones del equipo dosificador. Es preferible que estén sellados o por lo menos protegidos del ambiente.

4.7.2.3 Correas

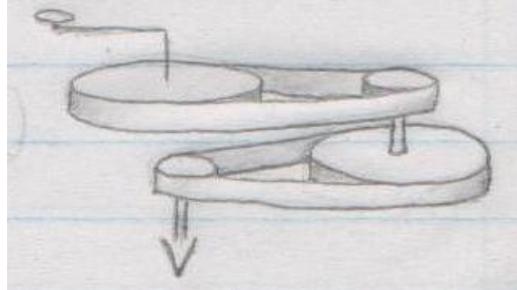


Fig. 4.35 Propuesta 4.7.2.3 Correas

Las correas se parecen mucho a las cadenas, con la diferencia que pueden deslizar en caso de alguna obstrucción. No suelen utilizarse para centros de ejes cercanos, el cual es el caso en cuestión por el tamaño del dosificador. Hay que tensionarlas y estar pendiente que no se salgan del carril. Se deben cambiar cuando estén gastadas para proteger a los usuarios y evitar daños en el equipo consecuencia de una ruptura de las mismas.

4.7.2.4 Evaluación de las propuestas

Tabla. 4.10. Matriz de decisión del Sistema de transmisión

SISTEMA DE TRANSMISIÓN							
CRITERIOS	VALOR (%)	<i>Cadenas</i>		<i>Engranajes</i>		<i>Correas</i>	
		EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT
<b>Funcionabilidad</b>	<b>20</b>	3	0,6	5	1	5	1
<b>Operatividad</b>	<b>15</b>	4	0,6	5	0,75	4	0,6
<b>Posibilidad de construcción</b>	<b>15</b>	5	0,75	4	0,6	5	0,75
<b>Compatibilidad</b>	<b>10</b>	4	0,4	5	0,5	4	0,4
<b>Mantenimiento</b>	<b>10</b>	3	0,3	4	0,4	4	0,4
<b>Seguridad</b>	<b>10</b>	4	0,4	4	0,4	4	0,4
<b>Vida útil</b>	<b>10</b>	5	0,5	5	0,5	4	0,4

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Tabla 4.10 *Cont.*

<b>Estética</b>	<b>5</b>	4	0,2	5	0,25	4	0,2
<b>Tamaño</b>	<b>5</b>	4	0,2	5	0,25	3	0,15
<b>Total</b>	<b>100</b>		3,95		4,65		4,3



Fig. 4.36 Sistema de transmisión

#### 4.7.3 *Acople de sistema automático y manual para el mezclador*

Para el accionamiento del mezclador es necesario un mecanismo de acople entre los siguientes componentes:

1. Motor eléctrico – Eje del mezclador.
2. Sistema de transmisión manual – Eje del mezclador.

Para ahorrar energía en el motor y evitar que el sistema de accionamiento manual gire solo y pueda herir a alguien, en el momento en que un sistema, bien sea el automático o el manual, esté moviendo el mezclador, el otro sistema debe estar inoperante.

#### 4.7.3.1 Acoples móviles

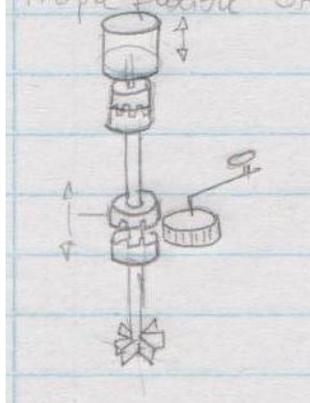


Fig. 4.37 Propuesta 4.7.3.1 Acoples móviles

El eje del mezclador tiene en el extremo inferior las paletas, en el superior un acople para el motor y en el medio otro acople para el sistema manual. Los acoples flexibles pueden deslizar en el mismo eje del mezclador para acoplar y desacoplar los sistemas, ejemplo: cuando se inhabilita el accionamiento automático, la parte inferior del acople sigue girando solidario al eje, pero al no estar en contacto con su parte superior, el motor simplemente permanece estático y solo la manivela, que sí está acoplada, es la que transmite el movimiento.

#### 4.7.3.2 Desmontando un sistema

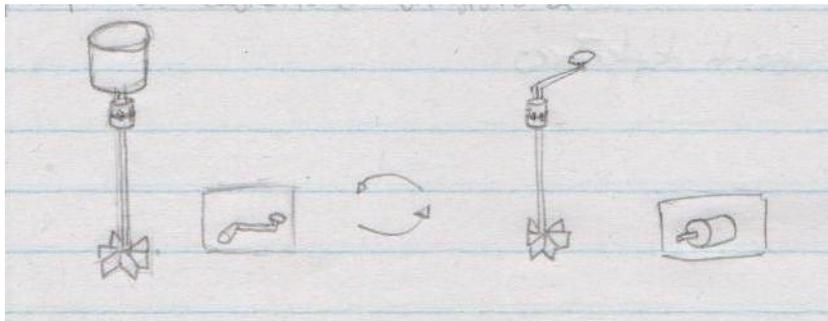


Fig. 4.38 Propuesta 4.7.3.2 Desmontando un sistema

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Para el accionamiento del mezclador solamente se necesita un sistema, bien sea el automático utilizando el motor eléctrico o el manual utilizando una manivela. Mientras se está utilizando uno, se puede guardar el otro en un compartimiento cerca del dosificador. Cuando se necesite cambiar la modalidad de accionamiento, bastaría con separar el acople flexible en la parte superior y sustituir un sistema por el otro.

#### 4.7.3.3 Mecanismo diferencial tipo automóvil

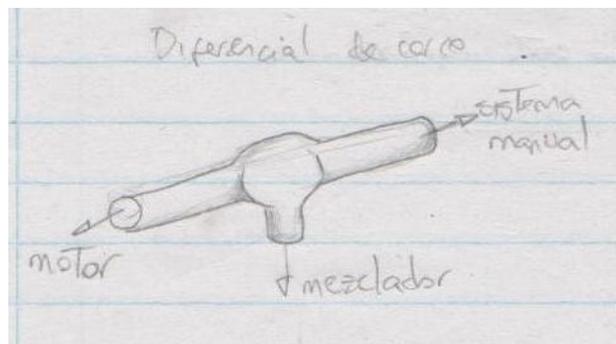


Fig. 4.39 Propuesta 4.7.3.3 Mecanismo diferencial tipo automóvil

Al momento de transmitir la potencia necesaria para el movimiento del eje del mezclador, el motor eléctrico y el sistema de transmisión manual deben funcionar independientes, en función de esto, se propuso un elemento diferencial como los empleados en las transmisiones de los automóviles.

Estos sistemas diferenciales permiten que el motor y el sistema de transmisión manual siempre permanezcan acoplados, pero al bloquear el giro de uno, solo el segundo es el responsable de transmitir la potencia al mezclador al momento del funcionamiento del equipo, mientras el primero permanece estático.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

4.7.3.4 Evaluación de las propuestas

Tabla. 4.11. Matriz de decisión del Acople de sistema automático y manual para el mezclador

ACOPLE DE SISTEMA AUTOMÁTICO Y MANUAL PARA EL MEZCLADOR							
CRITERIOS	VALOR (%)	<i>Acoples móviles</i>		<i>Acople flexible desmontando un sistema</i>		<i>Mecanismo diferencial tipo automóvil</i>	
		EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT
<b>Funcionabilidad</b>	<b>25</b>	4	1	3	0,75	5	1,25
<b>Operatividad</b>	<b>15</b>	3	0,45	5	0,75	5	0,75
<b>Posibilidad de construcción</b>	<b>15</b>	3	0,45	5	0,75	5	0,75
<b>Compatibilidad</b>	<b>10</b>	5	0,5	5	0,5	5	0,5
<b>Mantenimiento</b>	<b>10</b>	3	0,3	5	0,5	5	0,5
<b>Seguridad</b>	<b>10</b>	5	0,5	2	0,2	4	0,4
<b>Vida útil</b>	<b>10</b>	4	0,4	4	0,4	4	0,4
<b>Estética</b>	<b>5</b>	5	0,25	5	0,25	3	0,15
<b>Total</b>	<b>100</b>		3,85		4,1		4,7



Fig. 4.40 Diferencial

**4.7.4 Subsistema II: Control de la cantidad de compuesto químico**

Las propuestas seleccionadas para el subsistema II (ver Tabla. 4.2) y para el subsistema III (ver Tabla. 4.3) resultaron ser las siguientes: utilizar un volumen de control para regular la cantidad de compuesto químico y almacenar la sustancia en compartimientos separados, respectivamente. Ambas propuestas se complementan entre sí, por lo cual se integraron en una sola como se muestra en la Fig. 4.41. Se dejó un margen de 20% de seguridad para evitar derrames del material al momento del llenado de los recipientes, las dimensiones de los mismos se pueden detallar en la Tabla. 4.12

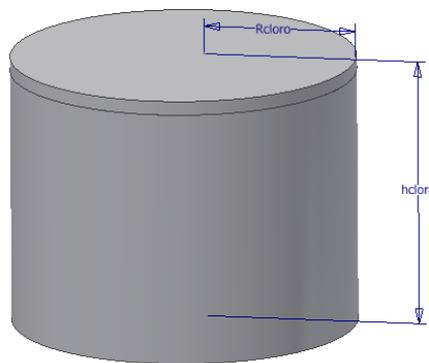


Fig. 4.41 Recipiente de Hipoclorito de Calcio seco

Tabla. 4.12. Dimensiones del recipiente de almacenamiento de Hipoclorito de Calcio

Volumen [cm <sup>3</sup> ]	Rcloro [mm]	hcloro [mm]
72,0	20,4	54,9

**4.7.5 Subsistema IV: Adición del químico en polvo a la cámara de mezclado**

Luego de realizar la evaluación del subsistema IV (ver Tabla. 4.4), la propuesta que obtuvo mayor puntaje fue la compuerta deslizante. Debajo de los recipientes de almacenamiento, se coloca una compuerta que funcione como

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

tapa inferior y retenga el compuesto químico (ver Fig. 4.42). La forma geométrica de la compuerta se adecuó de tal forma que al abrir, no interfiriera con los soportes del anillo perforado del estator para el mezclado.

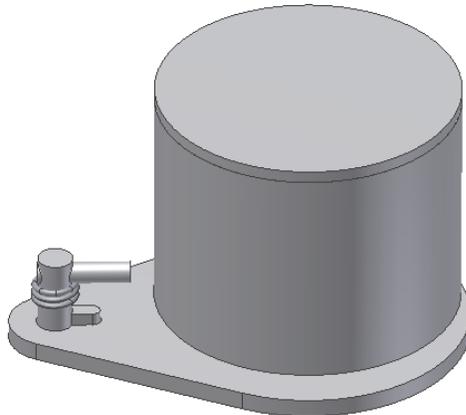


Fig. 4.42 Compuerta deslizante

Con el fin de evitar que las compuertas se abran accidentalmente, se incorporó un seguro para prevenir esta situación como se muestra en la Fig. 4.43, el cual debe ser presionado y girado para cambiar la posición de operación de la compuerta entre abierta o cerrada.

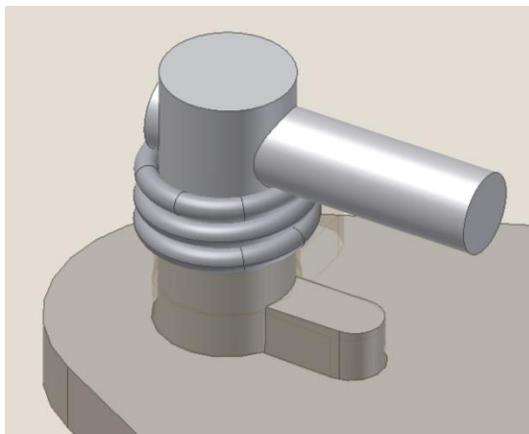


Fig. 4.43 Seguro de apertura

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

#### **4.7.6 *Subsistema V: Dosificación de la solución***

En la Tabla. 4.5 se puede observar el resultado de la evaluación de las propuestas para la dosificación de la solución. El subsistema V contará con una cámara de infusión, la cual permite una dosificación por goteo y tiene incorporado un regulador de flujo, con lo que se puede obtener una proporcionalidad entre la dosis de Hipoclorito de Calcio en solución y el agua proveniente del filtro.

#### **4.7.7 *Selección de los materiales a utilizar***

Los elementos que estén en contacto con el cloro en solución no deben ser de metal para evitar el problema de corrosión, en consecuencia, es necesario construir el recipiente de mezcla en un material que resista este efecto. Además de esto, como el sistema trata agua para el consumo humano, es recomendable utilizar materiales que se empleen en la industria alimenticia.

Entre los materiales que se estudiaron para la fabricación del recipiente se encontró que el más apropiado es el Polietileno de alta densidad (PEAD), por presentar una alta resistencia a los efectos corrosivos de las sustancias químicas, sin embargo, la fabricación del prototipo del recipiente en PEAD requiere la elaboración de un molde, lo cual incrementa los costos de construcción.

El eje del mezclador estará sometido a torsión y a un ambiente corrosivo de Hipoclorito de Calcio, así como las paletas y el anillo del mezclador, por lo que se seleccionó Nylon como material de fabricación dada su maquinabilidad y su resistencia tanto mecánica como química.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

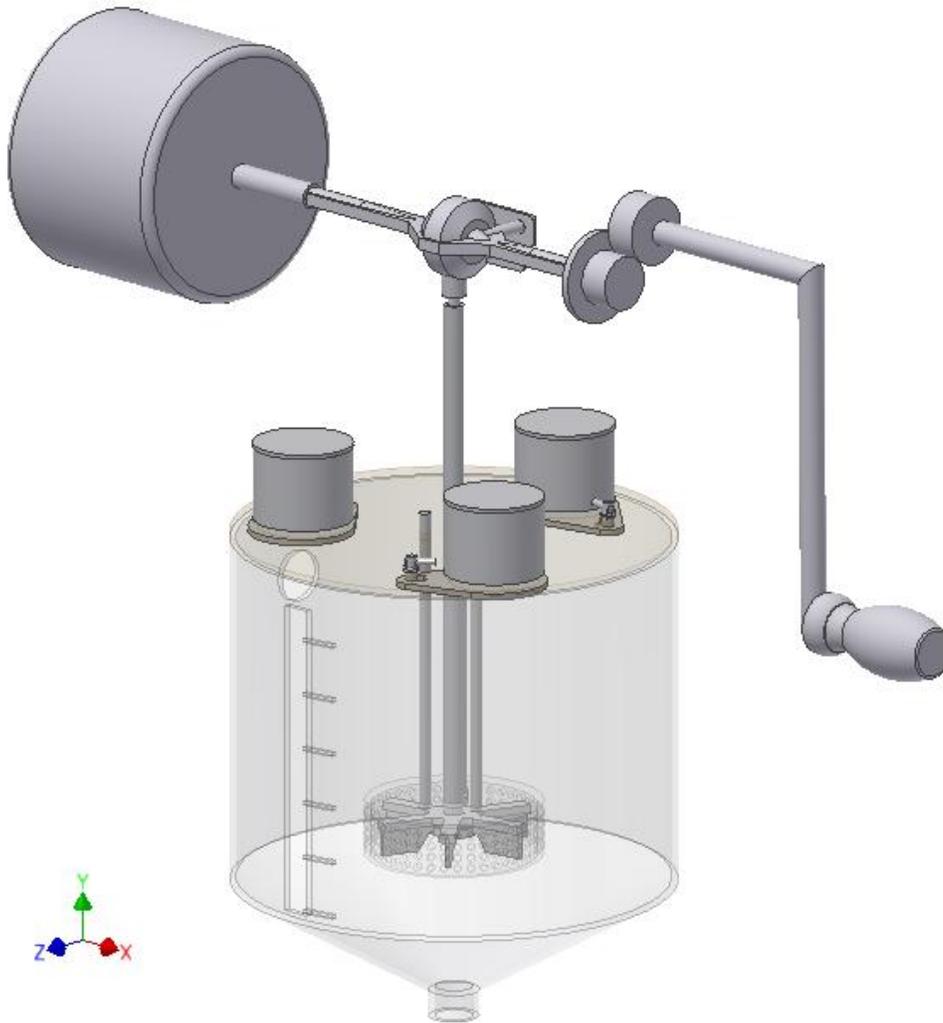


Fig. 4.44 Vista isométrica del Dosificador de Hipoclorito de Calcio

## DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO

Debido a que las especificaciones del dosificador de Sulfato de Aluminio son muy parecidas a las de Hipoclorito de Calcio, se decidió adaptar el diseño de este último con el fin de crear uniformidad y facilitar el proceso de construcción de las piezas. Por lo tanto los elementos que se seleccionaron permanecen igual exceptuando el recipiente de almacenamiento y la descarga de la solución.

### 4.8 Diseño de detalle

#### 4.8.1 Recipiente de Sulfato de Aluminio en seco

Por razones de espacio se decidió diseñar el recipiente de almacenamiento del Sulfato en polvo con la parte inferior cónica para su integración al recipiente de mezclado.

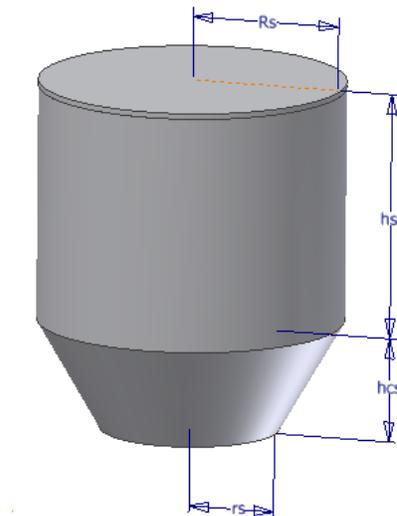


Fig. 4.45 Recipiente de Sulfato de Aluminio en seco

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Tabla. 4.13. Dimensiones del recipiente de almacenamiento de Sulfato de Aluminio

Volumen [cm <sup>3</sup> ]	hsl [mm]	hco [mm]	Rs [mm]	rs [mm]
880,0	85,8	48,5	53,0	25,0

#### 4.8.2 Dosificación de la solución

El proceso de coagulación-floculación comienza con una mezcla rápida para homogeneizar la mezcla del coagulante en el agua del tanque, por este motivo la descarga de la solución debe ser igualmente rápida por lo que en vez de un sistema de goteo se colocará una válvula de cierre rápido.

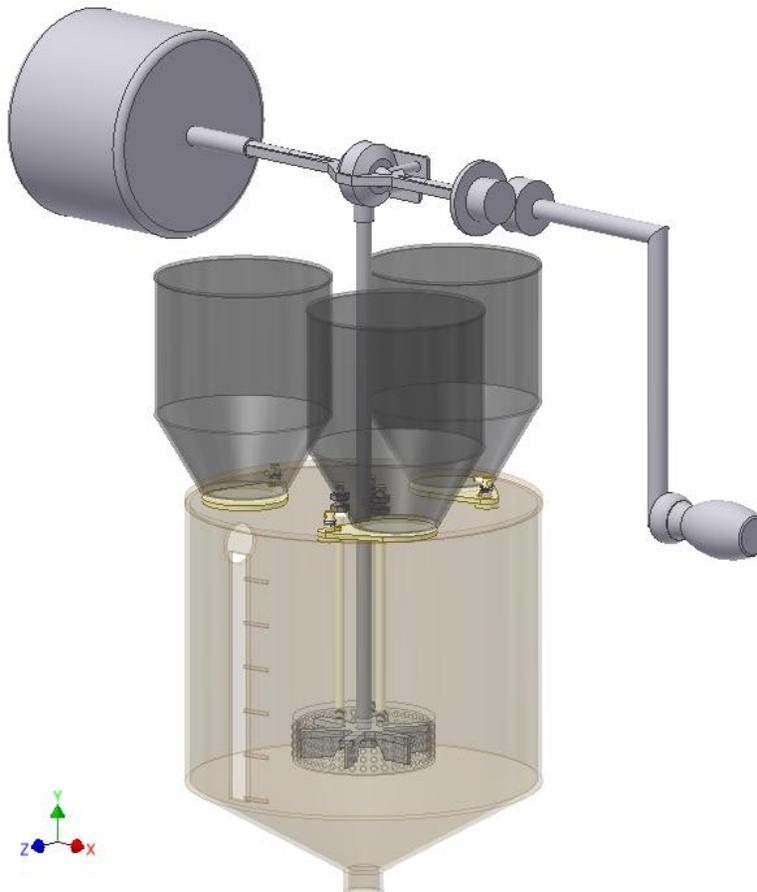


Fig. 4.46 Vista isométrica del Dosificador de Sulfato de Aluminio

## CAPÍTULO V DISEÑO DEL DOSIFICADOR DE SUSTANCIA QUÍMICA EN POLVO

### DOSIFICADOR DE HIDRÓXIDO DE CALCIO

En este capítulo se describen los subsistemas del dosificador de Hidróxido de Calcio (Cal), las propuestas obtenidas en las sesiones de generación de ideas, la evaluación de cada una y el diseño de detalle.

#### 5.1 Subsistema I: Geometría del recipiente de almacenamiento

Para tener una referencia del comportamiento del flujo de la Cal, se determinó su índice de Carr utilizando la ecuación (1).

$$\text{Índice de Carr (\%)} = \frac{1 - 0,5}{1} * 100 = 50\%$$

Comparando este valor con los de la Tabla. 2.17 y sabiendo que el ángulo de reposo es mayor que 40° (ver Tabla. 2.18), se observa que la cal presenta un flujo extremadamente malo, por ende, el recipiente debe ayudar a que el químico deslice hasta la salida. A continuación se muestran las propuestas obtenidas durante la generación de ideas.

##### 5.1.1 Tolva cónica

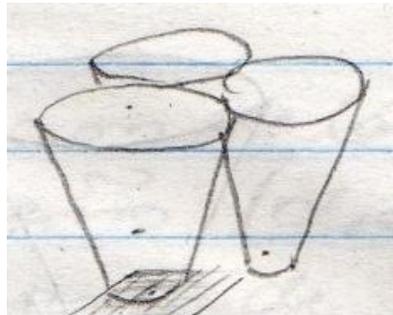


Fig. 5.1 Propuesta 5.1.1 Tolva cónica

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

La tolva cónica es comúnmente utilizada en la descarga de silos, se pueden colocar tres (3) recipientes uno al lado del otro o también con un patrón circular. Dada la cantidad de Cal que se almacenará, los conos serán pequeños, pudiendo dificultar la construcción de esta propuesta.

### 5.1.2 *Tolva trapezoidal*

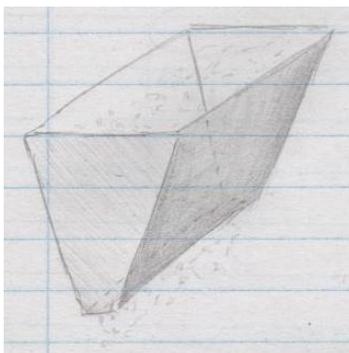


Fig. 5.2 Propuesta 5.1.2 Tolva trapezoidal

Se dispone de tres (3) tolvas trapezoidales una al lado de la otra mediante las caras verticales. El alto ángulo de inclinación de las paredes permite al compuesto químico deslizarse hasta la descarga. Como la propuesta utiliza caras planas se facilita su construcción.

## 5.2 **Subsistema II: Sistema Anti apelmazante**

Principalmente por la presencia de alta humedad relativa en la zona del Bajo Delta del Orinoco el Hidróxido de Calcio tiende a formar terrones. Se debe evitar que la cal se apelmace porque puede generar obstrucciones en los orificios de salida y si llega a caer a la canaleta Parshall (el mezclador), su apelmazamiento dificultaría aún más su disolución en el agua. A continuación se muestran las propuestas obtenidas durante la generación de ideas.

### 5.2.1 Vibración

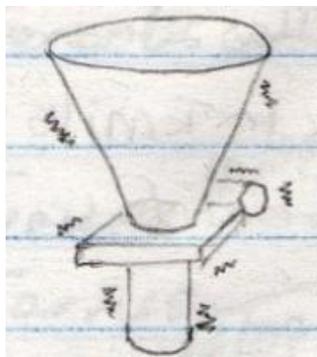


Fig. 5.3 Propuesta 5.2.1 Vibración

La vibración mantiene en movimiento a las partículas de Cal, dificultando su unión y por ende su apelmazamiento. Se puede colocar un vibrador electromagnético que cumpla esta función.

Más importante que la amplitud, es la frecuencia de las vibraciones, las cuales se recomiendan utilizar altas. Una ventaja de esta propuesta es que actúa sobre los tres (3) compartimientos al mismo tiempo, por ende, al dosificar un recipiente, se mantiene la vibración en los otros dos (2) evitando posibles apelmazamientos.

### 5.2.2 Pasador giratorio



Fig. 5.4 Propuesta 5.2.2 Pasador giratorio

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Introduciendo un pasador dentro del recipiente, se mueve la Cal directamente al hacerlo girar. En la parte inferior tiene unas salientes en forma de hélice que simulan un tornillo. Cuando se gira el pasador, estas hélices hacen que la Cal suba, permitiendo que el compuesto de los bordes pueda bajar.

### 5.2.3 *Elemento mecánico que al girar golpee el recipiente*

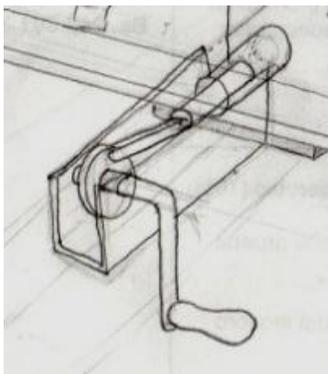


Fig. 5.5 Propuesta 5.2.3 Elemento mecánico que al girar golpee el recipiente

Esta idea fue inspirada por el movimiento de golpeteo al cernir harina con un tamiz. Un sistema mecánico de biela-pistón emula dicho movimiento al girar una manivela; el pistón golpea la superficie externa de la pared transmitiendo la vibración a la Cal almacenada en la tolva. Una ventaja de este mecanismo es que no está en contacto directo con la Cal.

### 5.3 **Subsistema III: Dosificación del químico en polvo**

Al dosificar la cal, se debe realizar de forma paulatina, para que cuando entre en contacto con el agua en la canaleta Parshall, que es el mezclador, se pueda disolver fácilmente. Si se descarga la cal demasiado rápido, se puede formar un cúmulo de cal y será más difícil su disolución en el agua. Se busca que al finalizar el último tratamiento del día, prácticamente no quede compuesto químico remanente, para evitar la formación de terrones que puedan

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

obstruir las salidas. A continuación se muestran las propuestas obtenidas durante la generación de ideas.

### 5.3.1 *Tornillo sin fin*



Fig. 5.6 Propuesta 5.3.1 Tornillo sin fin

Utilizando un tornillo sin fin, también conocido como tornillo de Arquímedes, se puede desplazar una cantidad constante de material por cada giro del tornillo. De esta forma, se realiza una descarga uniforme de la tolva hacia la canaleta. El eje del tornillo tiene una pequeña inclinación respecto a la horizontal para ayudar a que el polvo baje por gravedad y evitar acumulaciones indeseadas en la parte inferior de la tolva.

Un sistema muy parecido se utiliza en las cementeras para trasladar el producto y se han presentado casos en los que el cemento se queda adherido a las paredes internas del cilindro y a las hélices del tornillo, situación que podría ocurrir con la Cal.

### 5.3.2 Descarga a través de un área reducida



Fig. 5.7 Propuesta 5.3.2 Descarga a través de un área reducida

Se utiliza una válvula tipo aguja para regular el flujo de Cal, al colocar un obstáculo en la salida, se limita la descarga del compuesto químico, teniendo la posibilidad de cerrar completamente o dejar que caiga libremente. El material del tope debe soportar una ligera presión al momento del cierre y evitar que la Cal se adhiera a éste.

### 5.3.3 Paletas giratorias

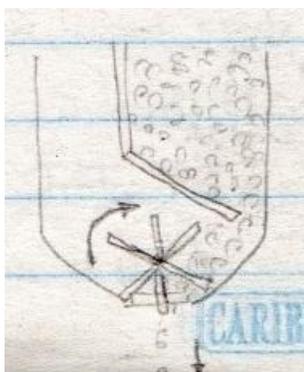


Fig. 5.8 Propuesta 5.3.3 Paletas giratorias

Esta propuesta consta de unas paletas unidas a un eje y de una carcasa externa. El espacio que hay entre cada paleta funciona como un volumen de control, encerrando una cantidad justa de Cal. Cuando el eje gira, se descarga

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

uniformemente en la salida. Las paletas y la carcasa están en una disposición tal que impide que la Cal caiga por su propia cuenta, de esta manera se controla la cantidad de compuesto químico que se agrega al agua.

#### 5.3.4 *Distribuidor tirabuzón*

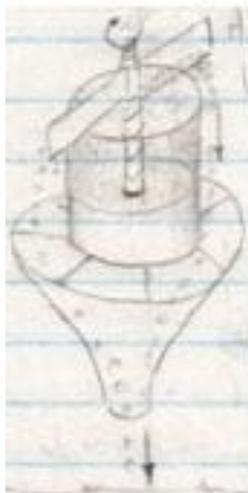


Fig. 5.9 Propuesta 5.3.4 Distribuidor tirabuzón

La Cal se coloca en un cilindro hueco con un tope inferior que puede subir y bajar. Este distribuidor funciona como un saca-corchos de botellas de vino, con la diferencia que al girar, en vez de subir el corcho, sube el tope inferior empujando la Cal hacia arriba. En la parte superior hay unos brazos que al girar, redireccionan la Cal ascendente hacia la periferia del cilindro, cayendo ésta por los bordes hacia un embudo que apunta a la canaleta Parshall.

Un inconveniente de esta idea es que la parte superior queda expuesta al medio ambiente y a la humedad presente en él, lo que propicia un mayor grado de apelmazamiento. Además de esto, se corre el riesgo de causar daños al operador con los brazos redireccionadores.

### 5.3.5 Raspador

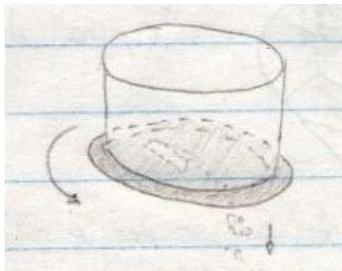


Fig. 5.10 Propuesta 5.3.5 Raspador

Se tiene un cilindro con un disco giratorio en la parte inferior, el cual tiene una especie de hojilla tipo rallador de papas. Esta hojilla es retráctil, permitiendo (cuando está guardada) almacenar la Cal. Al momento de la dosificación, la hojilla sube y cuando el disco comienza a girar, el compuesto químico cae a través de la abertura. Es muy útil en una situación donde se aglomera la Cal, ya que al “rallarlo” se pulveriza.

### 5.3.6 Arrastre electromagnético

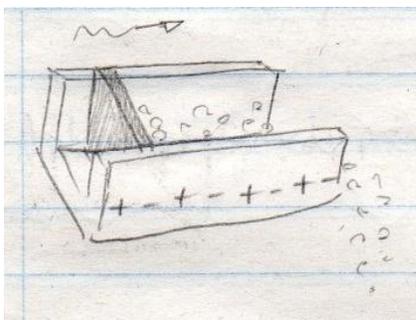


Fig. 5.11 Propuesta 5.3.6 Arrastre electromagnético

La Cal se coloca en un canal rectangular, con un extremo abierto y el otro cerrado por una lámina ferromagnética que desliza sobre unos rieles. Por fuerzas electromagnéticas, se mueve la lámina hasta el extremo opuesto arrastrando consigo el compuesto químico.

Es necesario un suministro confiable de energía eléctrica para el correcto funcionamiento de esta propuesta, así como un controlador electrónico que determine la velocidad de avance de la lámina para regular la dosificación.

### 5.3.7 *Correa*

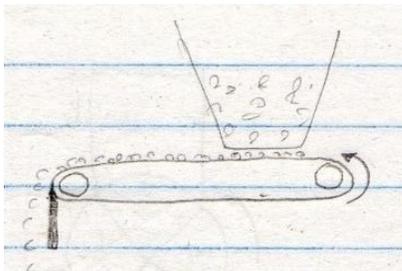


Fig. 5.12 Propuesta 5.3.7 Correa

Esta propuesta tiene dos (2) formas de controlar la dosis de compuesto químico, la primera es regulando el espacio libre que hay entre la correa y la descarga de la tolva, con esto se limita la altura de la capa. La segunda es controlando la velocidad de la correa, mientras más rápido, más Cal se dosificará.

### 5.3.8 *Diafragma*

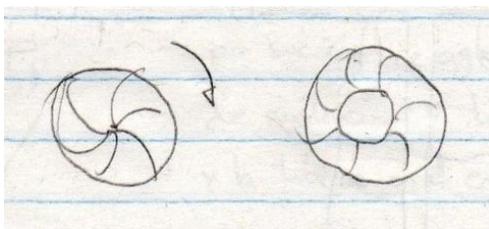


Fig. 5.13 Propuesta 5.3.8 Diafragma

Una serie de láminas curvas se disponen de tal forma que al girar una sobre la otra, abren o cierran un orificio central. Este mecanismo se utiliza en las cámaras fotográficas para regular la entrada de luz, por lo que su aplicación para regular la salida de un polvo quizás presente dificultades sobre todo en los canales por las que deslizan las láminas.

#### 5.4 Evaluación de las propuestas

Luego de haber realizado la generación de ideas para cada subsistema, se elaboraron matrices de decisión utilizando la metodología de diseño, determinando las ideas que mejor se ajustan a los requisitos del proyecto.

Tabla. 5.1. Matriz de decisión del Subsistema I: Geometría del recipiente de almacenamiento

GEOMETRÍA DEL RECIPIENTE DE ALMACENAMIENTO					
CRITERIOS	VALOR (%)	<i>Tolva cónica</i>		<i>Tolva trapezoidal</i>	
		EV	TOT	EV	TOT
<b>Funcionabilidad</b>	<b>20</b>	5	1	5	1
<b>Operatividad</b>	<b>15</b>	5	0,75	5	0,75
<b>Posibilidad de construcción</b>	<b>15</b>	3	0,45	5	0,75
<b>Residuos</b>	<b>15</b>	4	0,6	5	0,75
<b>Compatibilidad</b>	<b>10</b>	5	0,5	5	0,5
<b>Estética</b>	<b>10</b>	5	0,5	4	0,4
<b>Mantenimiento</b>	<b>10</b>	3	0,3	4	0,4
<b>Ergonomía</b>	<b>5</b>	5	0,25	5	0,25
<b>Total</b>	<b>100</b>		4,35		4,8

CAPÍTULO V DISEÑO DEL DOSIFICADOR DE SUSTANCIA QUÍMICA EN POLVO

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Tabla. 5.2. Matriz de decisión del Subsistema II: Sistema Anti apelmazante

SISTEMA ANTI APELMAZANTE							
CRITERIOS	VALOR (%)	Vibración		Pasador giratorio		<i>Elemento mecánico que al girar golpee el recipiente</i>	
		EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT
<b>Funcionabilidad</b>	<b>20</b>	5	1	5	1	5	1
<b>Operatividad</b>	<b>15</b>	5	0,75	5	0,75	5	0,75
<b>Posibilidad de construcción</b>	<b>15</b>	5	0,75	4	0,6	4	0,6
<b>Compatibilidad</b>	<b>10</b>	5	0,5	4	0,4	5	0,5
<b>Mantenimiento</b>	<b>10</b>	3	0,3	4	0,4	5	0,5
<b>Seguridad</b>	<b>10</b>	5	0,5	4	0,4	4	0,4
<b>Vida útil</b>	<b>10</b>	4	0,4	4	0,4	4	0,4
<b>Ergonomía</b>	<b>5</b>	5	0,25	5	0,25	5	0,25
<b>Estética</b>	<b>5</b>	4	0,2	4	0,2	4	0,2
<b>Total</b>	<b>100</b>		4,65		4,4		4,6

CAPÍTULO V DISEÑO DEL DOSIFICADOR DE SUSTANCIA QUÍMICA EN POLVO

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Tabla. 5.3. Matriz de decisión del Subsistema III: Dosificación del químico en polvo

DOSIFICACIÓN DEL QUÍMICO EN POLVO																	
CRITERIOS	VALOR (%)	<i>Tornillo sin fin</i>		<i>Descarga a través de un área reducida</i>		<i>Paletas giratorias</i>		<i>Distribuidor tirabuzón</i>		<i>Raspador</i>		<i>Arrastre electromagnético</i>		<i>Correa</i>		<i>Diafragma</i>	
		EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT	EV	TOT
<b>Funcionabilidad</b>	<b>20</b>	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	4	0,8
<b>Operatividad</b>	<b>15</b>	5	0,75	5	0,75	5	0,75	4	0,6	5	0,75	4	0,6	5	0,75	5	0,75
<b>Posibilidad de construcción</b>	<b>15</b>	3	0,45	5	0,75	4	0,6	4	0,6	5	0,75	3	0,45	5	0,75	3	0,45
<b>Compatibilidad</b>	<b>10</b>	5	0,5	5	0,5	5	0,5	2	0,2	2	0,2	3	0,3	5	0,5	3	0,3
<b>Mantenimiento</b>	<b>10</b>	4	0,4	5	0,5	5	0,5	4	0,4	4	0,4	3	0,3	3	0,3	3	0,3
<b>Seguridad</b>	<b>10</b>	4	0,4	4	0,4	4	0,4	3	0,3	3	0,3	4	0,4	4	0,4	4	0,4
<b>Vida útil</b>	<b>10</b>	5	0,5	5	0,5	5	0,5	4	0,4	4	0,4	5	0,5	3	0,3	3	0,3
<b>Estética</b>	<b>5</b>	5	0,25	5	0,25	4	0,2	3	0,15	5	0,25	4	0,2	3	0,15	5	0,25
<b>Residuos</b>	<b>5</b>	3	0,15	4	0,2	5	0,25	5	0,25	4	0,2	5	0,25	4	0,2	4	0,2
<b>Total</b>	<b>100</b>		4,4		4,85		4,7		3,9		4,25		4		4,35		3,75

## 5.5 Diseño de detalle

Luego de haber seleccionado las propuestas correspondientes a cada subsistema, es necesario afinar los detalles de cada una para pasar del boceto de la idea al diseño final en cuestión.

### 5.5.1 Subsistema I: Geometría del recipiente de almacenamiento

Tal como se puede observar en la Tabla. 5.1, la geometría seleccionada para el recipiente de almacenamiento es de tolva trapezoidal (ver Fig. 5.14). Con el fin de que las paredes de dicha tolva soporten soldaduras sanitarias y deformaciones consecuencia del calor generado durante las mismas, se recomienda para su fabricación láminas de 3mm de espesor como valor mínimo, Las paredes diagonales tienen una inclinación de  $70^\circ$  respecto a la horizontal para evitar estancamientos dentro del recipiente y el volumen del recipiente tiene un 20% más que el volumen ocupado por la Cal (ver Tabla. 5.4)

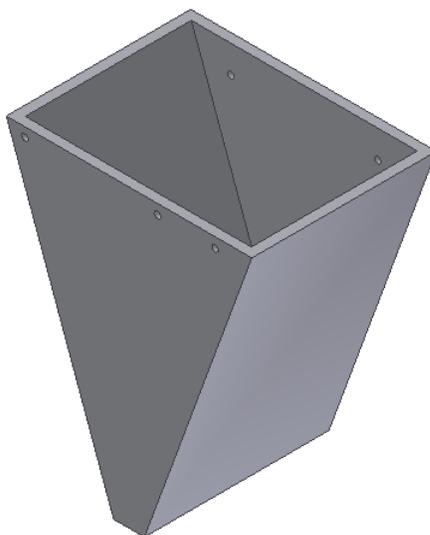


Fig. 5.14 Tolva de almacenamiento

Tabla. 5.4. Dimensiones del recipiente de almacenamiento de Hidróxido de Calcio

Volumen [cm <sup>3</sup> ]	h [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]
830,8	151,0	116,0	90,0	6,0

### 5.5.2 *Subsistema II: Sistema Anti apelmazante*

Luego de evaluar las propuestas para el subsistema II como se muestra en la Tabla. 5.2, se seleccionó el método de vibración para evitar el apelmazamiento del Hidróxido de Calcio. El vibrador electromagnético se activará solamente al momento de la dosificación para ahorrar energía, la configuración de las ondas se hará para ser de alta frecuencia y se colocará en la tolva central para equidistar de las tolvas de los extremos con el fin de distribuir las vibraciones entre los tres (3) recipientes.

Para el sistema mecánico de respaldo se seleccionó la propuesta del elemento mecánico que al girar golpee el recipiente, la cual en la evaluación, obtuvo el puntaje inmediatamente inferior al vibrador electromagnético.

### 5.5.3 *Subsistema III: Dosificación del químico en polvo*

Para realizar la dosificación del Hidróxido de Calcio en polvo, se generaron varias ideas y se evaluaron como se muestra en la Tabla. 5.3, dando como resultado la selección de una descarga a través de un área reducida, con una especie de válvula tipo aguja. Esta válvula consta de un tope con la geometría de la parte inferior de la tolva para regular la descarga (ver Fig. 5.15) y una varilla que comunica dicho tope a la parte superior de los recipientes para controlar la apertura y cierre (ver Fig. 5.16).

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

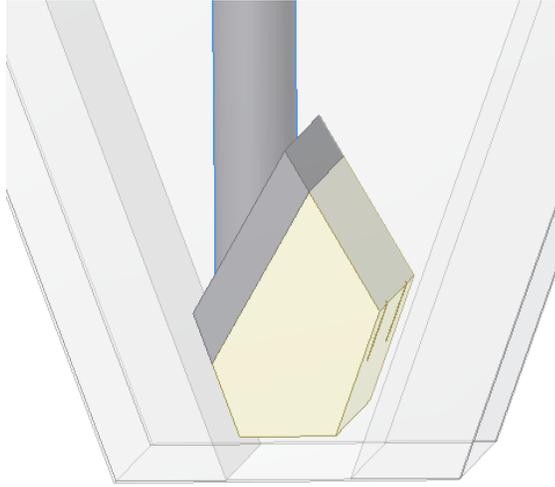


Fig. 5.15 Tope



Fig. 5.16 Varilla

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Antes de dosificar, cada recipiente de almacenamiento se debe llenar con la cantidad de Cal requerida para una dosis, durante este proceso, las descargas de las tolvas deben permanecer cerradas. Al momento de la dosificación, sólo la tolva activa estará abierta mientras las otras dos (2) deben estar cerradas. Para controlar las posiciones de apertura y cierre de las tolvas se necesita un mecanismo que cumpla esta función, para el cual se siguió la misma metodología de diseño como se muestra a continuación.

#### 5.5.3.1 Leva angular

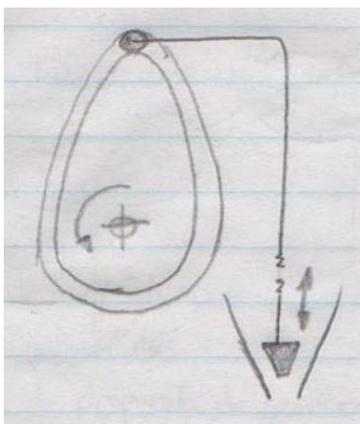


Fig. 5.17 Propuesta 5.5.3.1 Leva angular

La leva presenta un canal por donde pasa la guía de la varilla que cierra la descarga de la tolva, está hecho de esta forma para controlar la altura de la apertura y asegurar la correcta dosificación del compuesto químico. Las tres (3) levallas se encuentran desfasadas  $120^\circ$  entre sí, de modo tal que la geometría de las mismas permita la descarga de un compartimiento mientras los otros dos (2) permanecen cerrados, en cada giro de  $60^\circ$ , las tres (3) descargas quedan bloqueadas.

### 5.5.3.2 Leva lineal

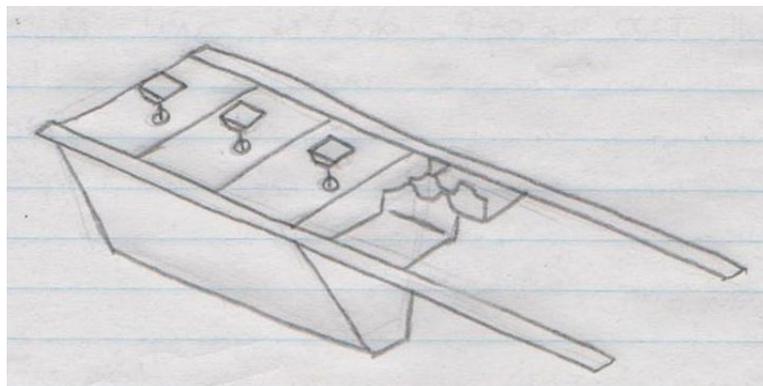


Fig. 5.18 Propuesta 5.5.3.2 Leva lineal

Se colocan los recipientes sobre unas guías que permiten su desplazamiento lineal. Se utiliza una leva en forma de cuña que permanece estacionaria. En la parte superior de las varillas que controlan la apertura y cierre de las tolvas, se coloca un sobresaliente que al hacer contacto con la cuña, se levanta, desbloqueando de esta manera la descarga de la tolva. Cuando se mueve el conjunto, la varilla vuelve a su posición gracias a un resorte y se puede continuar a la próxima dosificación con la siguiente tolva.

### 5.5.3.3 Evaluación de las propuestas

Tabla. 5.5. Matriz de decisión del Mecanismo de apertura para la dosificación

MECANISMO DE APERTURA PARA LA DOSIFICACIÓN					
CRITERIOS	VALOR (%)	<i>Leva angular</i>		<i>Leva lineal</i>	
		EV	TOT	EV	TOT
<b>Funcionabilidad</b>	<b>25</b>	5	1,25	5	1,25
<b>Operatividad</b>	<b>15</b>	5	0,75	4	0,6
<b>Posibilidad de construcción</b>	<b>15</b>	4	0,6	4	0,6

Tabla 5.5 *Cont.*

<b>Compatibilidad</b>	<b>10</b>	5	0,5	5	0,5
<b>Mantenimiento</b>	<b>10</b>	5	0,5	5	0,5
<b>Seguridad</b>	<b>10</b>	5	0,5	4	0,4
<b>Vida útil</b>	<b>10</b>	4	0,4	4	0,4
<b>Estética</b>	<b>5</b>	5	0,25	4	0,2
<b>Total</b>	<b>100</b>		4,75		4,45

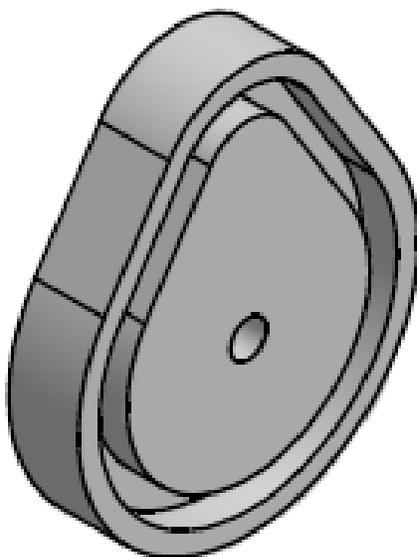


Fig. 5.19 Leva angular

#### 5.5.4 *Tapa protectora*

La tapa superior que protege a las tolvas se dividió en dos (2) secciones, una fija y otra móvil. La parte fija, sirve de soporte para las varillas que abren y cierran las descargas de las tolvas. La tapa móvil desliza por una guía hacia afuera y luego gira para colocarse en posición vertical, quedando unida a la estructura y a la vez permitiendo el acceso al interior de las tolvas para su recarga o mantenimiento (ver Fig. 5.20).

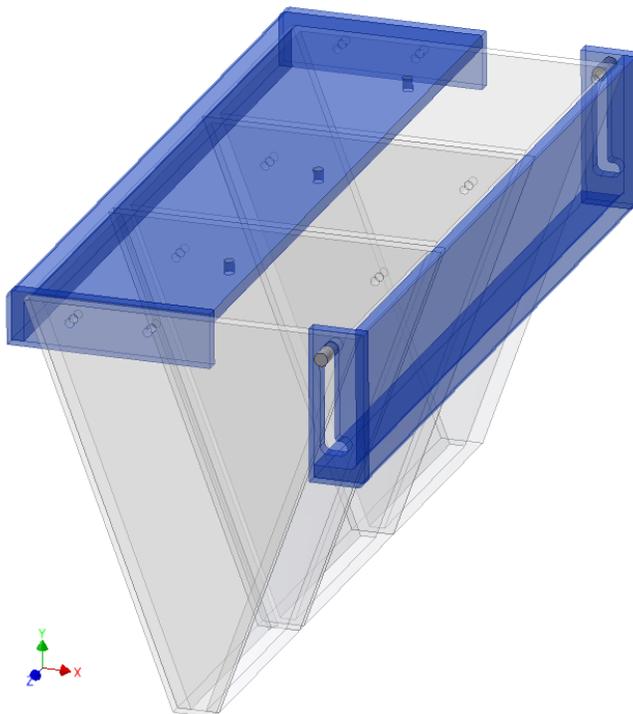


Fig. 5.20 Tapa móvil

#### 5.5.5 Selección de los materiales a utilizar

Debido a las condiciones ambientales presentes en el Bajo Delta del Orinoco, la cal al ser higroscópica absorbe fácilmente la humedad del ambiente, por lo tanto se apelmaza. Para evitar esta condición desfavorable, se seleccionó un elemento que transmita movimiento del compuesto químico a través de la vibración de las paredes del recipiente de almacenamiento. Por este motivo, el material a ser utilizado para la fabricación del contenedor debe soportar los esfuerzos generados por dichas vibraciones. Se seleccionó Acero Inoxidable debido a su alta resistencia mecánica y su capacidad de soportar las condiciones ambientales a las que será sometido el equipo. No obstante, las guías que están en contacto con las levas se fabricarán de nylon por su bajo coeficiente de fricción.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

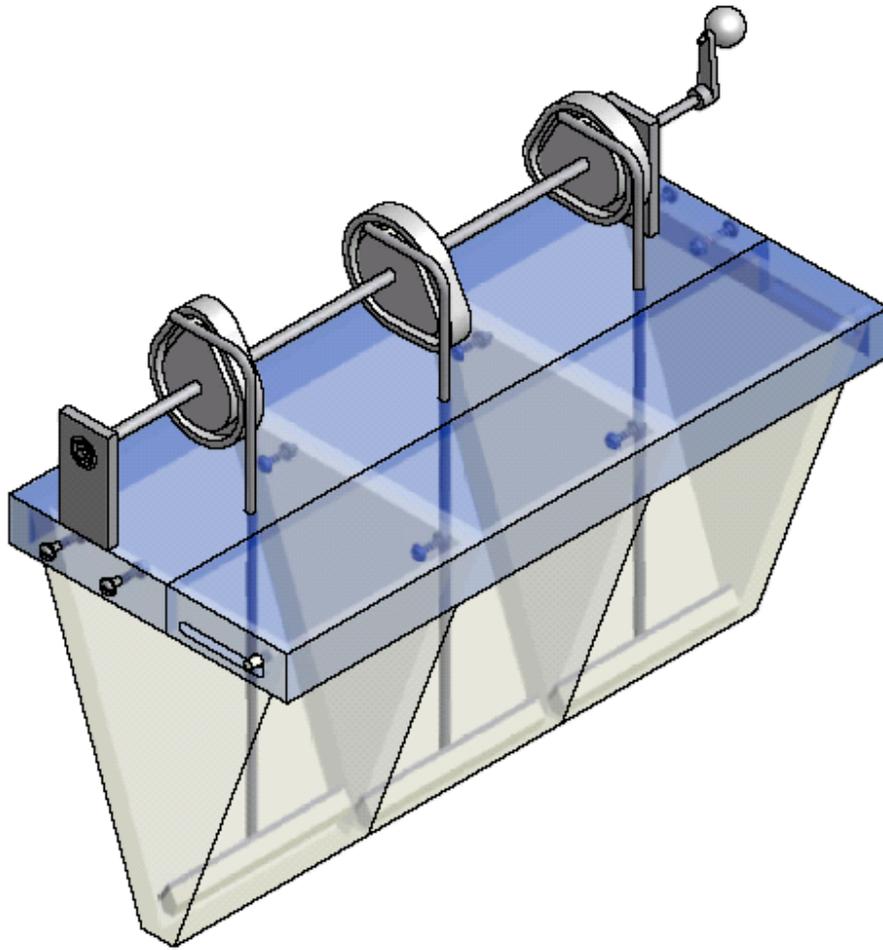


Fig. 5.21 Vista isométrica del Dosificador de Hidróxido de Calcio

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

De acuerdo al diseño del dosificador de Hipoclorito de Calcio se presentan los análisis referentes a los resultados:

Las sesiones de generación de ideas que se realizaron para buscar posibles soluciones a los subsistemas planteados, dieron como resultado 35 propuestas en total, las cuales fueron evaluadas siguiendo la metodología de diseño para seleccionar las que mejor se ajustaran a los requerimientos de la unidad de desinfección.

La evaluación de las propuestas del subsistema I: disolución del compuesto químico, resultó en un mezclador tipo turbina con estator, el cual tiene gran eficiencia homogeneizando soluciones, reduce la formación de vórtices y disminuye la generación de espuma en el recipiente gracias al efecto del estator. Las dimensiones del rodete, se determinaron de acuerdo a las proporcionalidades recomendadas en la literatura especializada. Dicho agitador se utilizará en un recipiente de mezcla, el cual, para prevenir la sedimentación del compuesto químico en solución, contiene el volumen necesario para un tratamiento, incluyendo un margen de seguridad, en total 7 litros. La parte inferior del mencionado recipiente, tiene forma cónica para evitar el estancamiento de la solución durante la dosificación.

Para automatizar la mezcla, se incorporó un motor eléctrico monofásico de 1/6 de HP (124 W) para mover el eje del mezclador, el cual, de acuerdo al modo de operación de la planta de potabilización, estará funcionando tres veces por día de tratamiento, en intervalos de 2 horas aproximadamente. El mencionado motor es de los más pequeños y con potencia suficiente para

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

accionar el mezclador y soportar las pérdidas mecánicas en el sistema, consecuencia de las altas temperaturas del ambiente y el tipo de servicio. El cálculo de la potencia necesaria para la agitación de la mezcla dio 0,05 HP (37,9 W).

El eje del mezclador se encarga de transmitir la potencia al rodete. Al realizar el cálculo del factor de seguridad tanto estático como a fatiga para las condiciones de operación del mencionado eje, se obtuvieron valores de 5,6 y 5,1 respectivamente. Estos valores cumplen con las teorías de diseño, debido a que éstas expresan que deben ser mayores que la unidad para garantizar diseños seguros.

El accionamiento manual del mezclador, requirió la incorporación de un multiplicador de velocidad, para el cual se seleccionó el uso de engranajes debido a que soportan grandes esfuerzos y permiten disminuir las distancias entre los ejes a transmitir el torque. Esto facilitó un diseño compacto que se adaptara a las dimensiones del equipo dosificador.

El mecanismo de acople entre el sistema manual, el automático y el mezclador, resultó un diferencial de automóvil a escala. De esta forma, los elementos siempre están acoplados pero mediante el diferencial se permite el movimiento de uno u otro para accionar el mezclador.

La propuesta seleccionada para el subsistema II: control de la cantidad de compuesto químico y la del subsistema III: almacenamiento de la sustancia, se complementaron entre sí, permitiendo que los recipientes de almacenaje del compuesto granular, sirvan de volumen de control para medir las dosis de Hipoclorito de Calcio para cada carga.

Antes de disolver dicha sustancia, es necesario controlar la adición del químico en polvo a la cámara de mezclado (subsistema IV), para lo cual, se seleccionaron compuertas deslizantes que cumplan esta función. La disposición

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

triangular de las mencionadas compuertas, permite el libre giro de las mismas dentro del recipiente de mezclado. Con el fin de evitar que las compuertas se abran accidentalmente y se agregue más de una dosis por carga, se incorporó un seguro para prevenir esta situación indeseada.

Para la última etapa del equipo dosificador (subsistema V), se seleccionó un sistema de goteo empleado comúnmente en la administración de sueros y medicinas, este sistema permite regular el flujo de descarga y comercialmente se consiguen en materiales plásticos que resisten los efectos corrosivos de la solución de Hipoclorito de Calcio. Por esta razón, se seleccionó PEAD como material para el recipiente de mezcla y Nylon para los componentes del mezclador.

De acuerdo al diseño del dosificador de Sulfato de Aluminio se presentan los análisis referentes a los resultados:

Dado que las funciones de operación del dosificador de Sulfato de Aluminio son iguales a las del dosificador de Hipoclorito de Calcio, se decidió unificar diseños con el fin de crear uniformidad y facilitar el proceso de construcción de las piezas. Por lo tanto, los elementos que se seleccionaron para el dosificador de Hipoclorito de Calcio, permanecen igual exceptuando el recipiente de almacenamiento y la descarga de la solución.

Los recipientes de almacenamiento del compuesto químico se redimensionaron para tener el volumen apropiado y contener las dosis de Sulfato de Aluminio. Se diseñaron con forma de tolva para poder acoplarlos al diseño del recipiente de mezcla.

La descarga de la solución es instantánea, por lo que no se necesita una cámara de infusión para regular la salida, por lo cual se seleccionó una válvula de cierre rápido.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

De acuerdo al diseño del dosificador de Hidróxido de Calcio se presentan los análisis referentes a los resultados:

Las sesiones de generación de ideas que se realizaron para buscar posibles soluciones a los subsistemas planteados, dieron como resultado 15 propuestas en total, las cuales fueron evaluadas siguiendo la metodología de diseño para seleccionar las que mejor se ajustaran a los requerimientos de la unidad de mezclado (canaleta Parshall).

La evaluación de las propuestas del subsistema I: geometría del recipiente de almacenamiento, dio como resultado una tolva trapezoidal, la cual permite un flujo uniforme evitando que se acumule Hidróxido de Calcio en el interior. La inclinación de las paredes de la tolva es  $70^\circ$  debido a que la Cal presenta un flujo extremadamente malo, dado su índice de Carr (50%) y su ángulo de reposo ( $50^\circ$ ).

Para evitar que la Cal se apelmace (subsistema II), se incorporó un elemento vibrador electromagnético para distribuir las vibraciones entre los tres (3) recipientes de almacenamiento. Dichas vibraciones se activarán al momento de la dosificación, ayudando en primera instancia a la descarga de la tolva activa y evitando que la Cal contenida en las tolvas inactivas se aglomere.

La descarga a través de un área reducida se seleccionó para la dosificación del químico en polvo (Subsistema III), la cual es compatible con la geometría trapezoidal de la tolva de almacenamiento, que reduce el área transversal a medida que se acerca a la parte inferior. El tope de la descarga calza en la base de la tolva en el cierre para evitar fugas de compuesto químico. Para subir y bajar el tope, es decir, abrir y cerrar la descarga, se utiliza una varilla que pasa a través de la tapa fija y se controla por medio de una leva. Dado que son tres (3) tolvas de almacenamiento, se colocó una leva por cada

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

una, desfasadas 120° entre sí. Esta disposición permite la apertura individual de cada tolva para la dosificación y el cierre global para la recarga.

Para recargar el compuesto químico en las tolvas, se dividió la tapa protectora en 2 secciones, permitiendo por un lado soportar las varillas de los topes y por el otro, acceso al interior de las tolvas para su recarga o mantenimiento, sin tener que separar la tapa móvil del equipo gracias a unas guías fijas.

El acero inoxidable se seleccionó como material para las tolvas de almacenamiento y tapa protectora debido a sus buenas propiedades mecánicas, resistencia a condiciones ambientales como las del Bajo Delta del Orinoco y su comportamiento ante las vibraciones.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los análisis de los resultados de los diseños de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua, se presentan las siguientes conclusiones:

- Se diseñaron equipos de dosificación para compuestos químicos, uno (1) en polvo: Hidróxido de Calcio y dos (2) en solución: Sulfato de Aluminio e Hipoclorito de Calcio, los cuales cumplen con los requisitos de diseño de las unidades de coagulación-floculación y desinfección de la planta de potabilización de agua.
- El sistema de mezclado de los dosificadores de Hipoclorito de Calcio y Sulfato de Aluminio es del tipo turbina con estator para asegurar la rápida homogeneidad de la solución y reducir la aparición de vórtices en el recipiente.
- El movimiento automático del mezclador para los dosificadores de solución es transmitido por un motor eléctrico monofásico de 1/6 HP (124 W), teniendo un sistema mecánico de respaldo para eventualidades de falta de suministro de energía eléctrica, el cual utiliza un sistema de transmisión, que comprende una manivela y un multiplicador de velocidades, lo que permite alcanzar manualmente, la velocidad de operación del mezclador.
- Para los recipientes de mezcla de los dosificadores de Hipoclorito de Calcio y Sulfato de Aluminio se seleccionó PEAD, el cual posee una buena resistencia a ataques químicos.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

- El volumen de los recipientes de mezcla de los dosificadores de solución es para una carga de solución, evitando la sedimentación del compuesto químico en suspensión.
- El dosificador de Hidróxido de Calcio en polvo posee un elemento de vibración para la descarga automática de las tolvas contenedoras, promoviendo un flujo uniforme en la descarga de las mismas y evitando que el compuesto químico se apelmace.
- La apertura de la salida del dosificador de polvo es controlada por una varilla, cuyo movimiento está restringido por una leva, esto permite el cierre global para la recarga de las tolvas y la apertura individual para la dosificación.
- La reposición de Cal se realiza mediante una tapa móvil, que desliza sobre unas guías fijas al equipo, permitiendo el acceso al interior de las tolvas sin necesidad de retirar la tapa del equipo.

## RECOMENDACIONES

Con el fin de realizar mejoras a los diseños desarrollados en el presente trabajo, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Usar Hipoclorito de Sodio en vez de Hipoclorito de Calcio ya que es líquido, por lo que no se necesitaría el sistema de mezclado obteniendo un diseño más simple.
- Triturar el Hipoclorito de Calcio antes de mezclar para aumentar el área de contacto líquido-sólido y facilitar la disolución del químico.
- Diseñar una estructura externa que de soporte al motor, al diferencial, al sistema mecánico de accionamiento manual y al recipiente de mezcla de los dosificadores de solución.
- Colocar una válvula flotador dentro del recipiente de mezcla para controlar automáticamente el llenado del mismo.
- Construir un primer prototipo del recipiente de mezcla para realizar pruebas de funcionamiento en fibra de vidrio con un recubrimiento que resista el ataque de la solución química.
- Construir prototipos de los equipos diseñados para verificar su funcionamiento y realizar mejoras para una próxima versión.
- Elaborar un manual de uso de los equipos para el adiestramiento de los usuarios.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

### **1. *pH***

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. La sigla significa "potencial de hidrógeno" (pondus Hydrogenii o potentia Hydrogenii). Una solución es ácida si su pH es inferior a 7 y básica si es superior a 7.

### **2. *Alcalinidad***

La Alcalinidad es la capacidad de una solución acuosa para neutralizar ácidos o aceptar protones. Esta representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua.

### **3. *Turbiedad***

Se puede definir turbiedad como la expresión de la propiedad óptica de una solución que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra. Esto es consecuencia por lo general de la concentración de coloides en el agua.

### **4. *Densidad real***

Se define como la masa de una sustancia entre el volumen que ocupa la misma.

### **5. *Densidad aparente***

Es la densidad real de una sustancia más los intersticios de aire que existen entre partículas.

### **6. *Higroscopia***

Es la capacidad de un material de absorber la humedad presente en el ambiente.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberdi, R. (2001). *Tratamiento básico para potabilización de aguas*. Caracas.
- American Water Works Association. (2002). *Calidad y tratamiento del agua, Manual de suministros de agua comunitaria* (5ta ed.). Madrid: McGraw - Hill.
- Amézquita, U., & Villegas, E. (1993). *Diseño de una cámara de sandblasting con sus sistemas auxiliares*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Caracas.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo I* (3ra ed.). Santa Fe de Bogotá: McGraw-Hill.
- Arboleda, J., Vargas, F., & Correal, H. (1969). *Manual de tratamiento de aguas potables*. Caracas: Programa de Educación de Ingeniería Sanitaria.
- Arias, F. (1999). *El proyecto de investigación. Guía para su elaboración* (3ra ed.). Caracas: Episteme.
- Aulton, M. E. (2004). *Farmacia: La ciencia del diseño de las formas farmacéuticas* (2da ed.). Madrid: Elsevier.
- Boccardo, R. (2006). *Creatividad en la ingeniería de diseño*. Caracas: Equinoccio, Universidad Simón Bolívar.
- Borges, C. (1970). *Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable*. Estados Unidos.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida, Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada*. Lima.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Consuegra, F., & González, G. (2004). *Diseño concurrente y fabricación de un dosificador automático de alimentos para mascotas*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Caracas.

Crawford, R. (2002). *Plastics engineering* (3ra ed.). Oxford.

Diccionario enciclopédico. (1995). *El pequeño Larousse*. Taunton, Massachusetts: Larousse.

Dixon, J. R. (1970). *Diseño en ingeniería Inventiva , Análisis y Toma de Decisiones*. Mexico: Limusa-Wiley, S.A.

Jácome, L., & Rivas, C. (2009). *Diseño y construcción de un dispositivo para realizar ensayos de compresión plana tipo Ford a temperaturas moderadas*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Caracas.

Lewa. (2007). *Lewa ecoflow® the innovate metering pumps*. Leonberg, Alemania: Autor.

Mc Cabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (4ta ed.). Madrid: McGraw-Hill.

Milani, R. (1997). *Diseño para nuestra realidad* (2da ed.). Caracas: Equinoccio, Universidad Simón Bolívar.

Rivas M., G. (1963). *Tratamiento de potabilización de las aguas*. Madrid: Nuevas gráficas.

Romero, J. (1999). *Potabilización del agua*. Colombia: (s.e.).

Ruiz, Á., & Barrantes, H. (2006). *Geometrías*. Cartago: Tecnológica de Costa Rica.

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

Shigley, J., & Mischke, C. (1990). *Diseño en ingeniería mecánica* (4ta ed.). México: Mc Graw Hill.

Tonon, C., & Padrón, O. (2007). *Diseño de una plataforma para realizar múltiples ensayos de fatiga*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Caracas.

Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica. (s.f.). *Instructivo para elaborar el anteproyecto de trabajo especial y el trabajo especial*. Caracas. (s.p.).

Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2010). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales* (4ta ed.). Caracas: Fedupel.

Vasquez, R. (1999). *Estudio del flujo de un material granular de uso industrial farmacéutico*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Caracas.

## FUENTES ELECTRÓNICAS

*65% de Hipoclorito de Calcio - Ca*. (2008). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.perfeto.com/be-long-grupo/807/sell/products/65-de-hipoclorito-de-calcio-ca.html> [Consulta: 2009, Junio 6]

*Bulk Solids Pump (BSP) Feeder Catalog*. (2006). [Página web en Línea]. Disponible: [http://www.ktron.com/Products/feeders/BSP\\_Overview.cfm](http://www.ktron.com/Products/feeders/BSP_Overview.cfm) [Consulta: 2009, Junio 29]

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

*Dosificadores volumétricos para granulados plásticos-PIOVAN.* (s.f.). [Página web en Línea]. Disponible [http://www.piovan.com/prod\\_dett.asp?idapp=1&idfam=5&idprod=120](http://www.piovan.com/prod_dett.asp?idapp=1&idfam=5&idprod=120) [Consulta: 2009, Junio 24]

*Dosificadores Ingesir.* (2000). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.ingesir.com.ar/dosific.htm> [Consulta: 2009, Abril 24]

*Estado Delta Amacuro.* (1997). [Página web en Línea]. Disponible: [http://vzla.tripod.com/delta\\_amacuro.htm](http://vzla.tripod.com/delta_amacuro.htm) [Consulta: 2009, Junio 12]

*Gobierno en Línea, Estado Delta Amacuro.* (s.f.). [Página web en Línea]. Disponible: [http://www.gobiernoenlinea.ve/venezuela/perfil\\_delta\\_amacuro.html](http://www.gobiernoenlinea.ve/venezuela/perfil_delta_amacuro.html) [Consulta: 2009, Junio 12]

Hasler. (s.f.). *Impact flowmeter for granular materials.* [Documento en Línea]. Disponible: <http://www.hasler-int.com/products/download/gran.pdf> [Consulta: 2009, Junio 27]

*Los Warao.* (s.f.). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.fundacionyakeraja.org/loswarao.htm> [Consulta: 2009, Julio 14]

*Los Waraos del Delta del Orinoco.* (s.f.). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.newfrontiersadventures.com/ve/Warao.html> [Consulta: 2009, Julio 17]

*Productos y servicios para la industria del agua Latinoamericana.* (s.f.). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.aguamarket.com/Diccionario/terminos.asp?Id=273&termino=Cal%2C+Aprovisionamiento> [Consulta: 2009, Junio 6]

*Sulfato de Aluminio Fabricantes & Suministradores.* (1999). [Página web en Línea]. Disponible: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/aluminum-sulphate-50941694.html> [Consulta: 2009, Mayo 29]

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

ANEXOS

Cálculo de dimensiones

- Recipiente de mezcla

$$V_{cil} := \pi \cdot R^2 \cdot h_{ci}$$

*Volumen de un cilindro*

$$V_{cono} := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_{co} \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r)$$

*Volumen de un cono*

$$V_{rm} = V_{cil} + V_{cono}$$

*Volumen del recipiente*

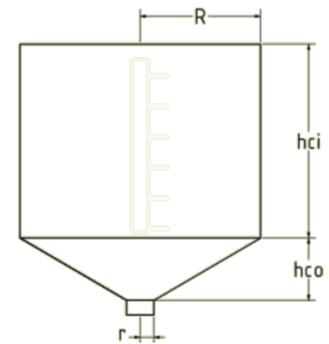
$$V_{rm} = 7 \text{ litros}$$

$$h_{ci} = 173.1 \text{ [mm]}$$

$$h_{co} = 56.3 \text{ [mm]}$$

$$R = 107 \text{ [mm]}$$

$$r = 9.5 \text{ [mm]}$$



- Recipiente de Hipoclorito de Calcio seco

$$V_{cloro} = \pi \cdot R_{cloro}^2 \cdot h_{cloro}$$

*Volumen de un cilindro*

$$V_{cloro} = \frac{1.2 \text{ Masa}}{\rho \text{ aparente}}$$

*Volumen de almacenamiento*

$$\rho \text{ aparente} = \frac{0.8 \text{ [g]}}{\text{[cm}^3\text{]}}$$

*Densidad aparente*

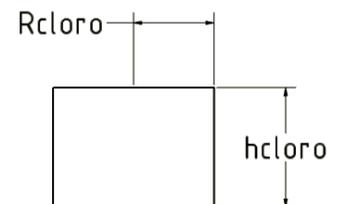
$$\text{Masa} = 48 \text{ [g]}$$

*Cantidad de cada dosis*

$$V_{cloro} = 72.0 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$R_{cloro} = 20.4 \text{ [mm]}$$

$$h_{cloro} = 54.9 \text{ [mm]}$$



Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

• Recipiente de Sulfato de Aluminio en seco

$$\rho_{aparente} = 1 \frac{[g]}{[cm]^3}$$

$$M_{sulfato} = 800 [g]$$

Densidad aparente

Cantidad de cada dosis

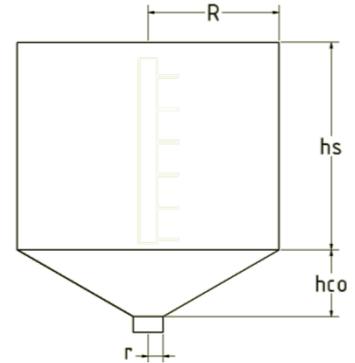
$$V_{sulfato} = 880.0 [cm^3]$$

$$h_s = 85.8 [mm]$$

$$h_{co} = 48.5 [mm]$$

$$R = 53.0 [mm]$$

$$r = 25 [mm]$$



• Dimensiones de la tolva:

$$V_{cal} = \frac{h \cdot (a + c) \cdot b}{2}$$

$$V_{cal} = \frac{1.2 \text{ Masa}}{\rho_{aparente}}$$

$$\rho_{aparente} = \frac{0.5 [g]}{[cm]^3}$$

$$Masa = 360 [g]$$

Volumen de la Tolva

Volumen de almacenamiento

Densidad aparente

Cantidad de cada dosis

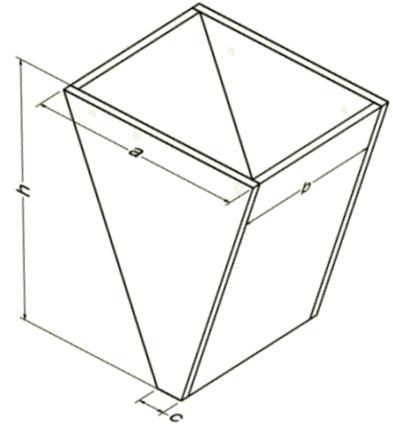
$$V_{cal} = 830.8 [cm]^3$$

$$h = 151 [mm]$$

$$a = 116 [mm]$$

$$b = 90 [mm]$$

$$c = 6 [mm]$$



• Dimensiones del rodete del mezclador

$$R_{rod} := \frac{1}{3} \cdot R$$

$$R_{rod} = 35.7 [mm]$$

$$w_{rod} := \frac{1}{5} \cdot R_{rod}$$

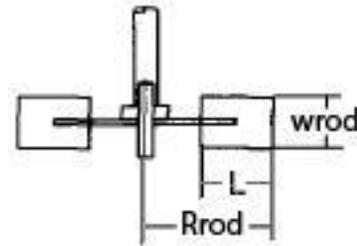
$$w_{rod} = 7.1 [mm]$$

$$L := \frac{R_{rod}}{2}$$

$$L = 17.8 [mm]$$

$$h_{rod} := 2 \cdot R_{rod}$$

$$h_{rod} = 71.3 [mm] \quad \text{Altura de colocación del rodete (desde la base del recipiente de mezcla)}$$



Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

- Potencia necesaria para la agitación.

$$P = \frac{Np \cdot n^3 \cdot Da^5 \cdot \rho}{g}$$

*Consumo de Potencia*

$$n = 1550 \quad n = \frac{29.2}{[s]}$$

*Velocidad de giro*

$$Da = 2 \cdot Rrod \quad Da = 0.2 [ft]$$

*Diámetro del rodete*

$$\rho = 62.428 \left[ \frac{lb}{ft^3} \right]$$

*Densidad de la mezcla*

$$\mu = 6,72 \times 10^{-4} \left[ \frac{lb}{ft \cdot s} \right]$$

*Viscosidad dinámica*

$$g = 32.170 \left[ \frac{ft}{s^2} \right]$$

*Gravedad*

$$Nre = \frac{Da^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

$$Nre = 1.10^5$$

*Número de Reynolds*

$$Nfr = \frac{n^2 \cdot Da}{g}$$

$$Nfr = 6.2$$

*Número de Froude*

$$a = 1 \quad b = 40$$

*Constantes, (ver Tabla. 2.20)*

$$m = \frac{a - \log_{10}(Nre)}{b}$$

$$m = -.1$$

*Coeficiente de corrección del Np*

$$Np = 1 \cdot Nfr^m$$

$$Np = 0.8$$

*Número de Potencia corregido,  
(ver Fig. 2.13)*

$$P = 0.05 [HP] \quad P = 37.90 [W] \quad \text{Potencia calculada}$$

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

- Cálculo del factor de seguridad del eje del mezclador

- Cálculo por carga estática (torsión)

$$d = 10 \text{ [mm]} \quad \text{Diámetro del eje}$$

$$S_y = 45 \text{ [MPa]} \quad \text{Resistencia a la Fluencia (Nylon)}$$

$$P = 37.900 \text{ [W]} \quad \text{Potencia a transmitir}$$

$$n = 1550 \quad rps = \frac{162.316}{[s]} \quad \text{Velocidad de giro}$$

$$T := \frac{P}{rps} \quad T = 0.233 \text{ [J]} \quad \text{Torque aplicado}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{32 T}{\pi d^3 S_y}$$

$$n \text{ estático} = 18.921 \quad \text{Factor de seguridad } n > 1$$

- Evaluación por fatiga (torsión)

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S_{ep} \quad \text{Límite de resistencia a la fatiga (eje)}$$

$$S_{ut} = 75 \text{ [MPa]} \quad \text{Resistencia a la tensión (Nylon)}$$

$$S_{ep} := 0.504 \cdot S_{ut} \quad S_{ep} = 37.8 \text{ [MPa]} \quad \text{Límite de resistencia a la fatiga (probeta)}$$

$$K_a = a S_{ut}^b$$

$$a = 1.6 \quad b = -0.085 \quad K_a = 1.1 \quad \text{Factor de Superficie Esmerilado}$$

$$K_b = \left( \frac{d}{7.62} \right)^{-0.1133} \quad \text{Factor de Tamaño Para}$$

$$2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$$

$$K_c = 0.577 \quad \text{Factor de Carga Para por Torsión}$$

$$K_d = 1 \quad \text{Factor de temperatura}$$

## ANEXOS

Diseño de dosificadores de sustancias químicas empleados en plantas de potabilización de agua.

$K_e := \frac{1}{K_f}; K_f := 1$		<i>Factor de efectos diversos</i>
$r := \frac{d}{2}$	$r = 5 \text{ [mm]}$	<i>Radio de la superficie exterior</i>
$J := \text{evalf}\left(\frac{\pi}{32} \cdot d^4\right)$	$J = 981.7 \text{ [mm]}^4$	<i>Momento polar de inercia del área transversal para una sección circular maciza</i>
$\tau_{max} := \frac{T \cdot r}{J}$	$\tau_{max} = 1.19 \cdot 10^6 \text{ [Pa]}$	<i>Esfuerzo cortante máximo</i>
$\tau_{min} := 0$		<i>Esfuerzo cortante mínimo</i>
$\tau_a := \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2}$	$\tau_a = 5.95 \cdot 10^5 \text{ [Pa]}$	<i>Esfuerzo cortante alternante</i>
$\tau_m := \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2}$	$\tau_m = 5.95 \cdot 10^5 \text{ [Pa]}$	<i>Esfuerzo cortante medio</i>
$\sigma_a := 0$		<i>Esfuerzo normal alternante</i>
$\sigma_m := 0$		<i>Esfuerzo normal medio</i>
$\sigma_{ap} := \sqrt{\sigma_a^2 + 3 \tau_a^2}$		<i>Esfuerzo alternante</i>
$\sigma_{mp} := \sqrt{\sigma_m^2 + 3 \tau_m^2}$		<i>Esfuerzo medio</i>
<i>Ecuación de Goodman modificada</i>		
$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_{ap}}{S_e} + \frac{\sigma_{mp}}{S_{ut}}$	$n \text{ fatiga} = 17.177$	<i>Factor de seguridad <math>n &gt; 1</math></i>