

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA PLANTA DE LABORATORIO
PARA NEUTRALIZAR EN FORMA CONTINUA AGUAS ACIDAS
RESIDUALES.**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL.

Presentado por

MÓNICA MARÍA MIRANDA RAMOS

Guayaquil – Ecuador

2012

AGRADECIMIENTO

Con todo mi corazón a mi Padre Celestial.

Agradezco a mi familia por su incondicional apoyo.

A todos y cada uno de mis amigos que siempre me alentaron
a continuar en especial a Hilda, Thalia, Verónica , Ing. Randol, Vinicio, y
Humberto.

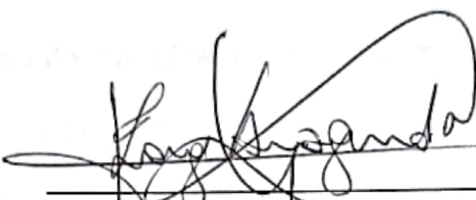
Agradezco al Ing. Del Pozo por su dirección en esta tesis.

Un agradecimiento en especial al CYCIT y al Ing. Martin coordinador de la
MACI que colaboraron en la tesis.

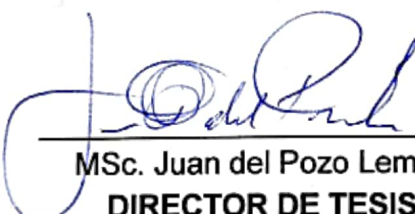
DEDICATORIA

Con todo mi amor a mis padres y hermana.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



MSc. Jorge Aragundi R.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



MSc. Juan del Pozo Lemos
DIRECTOR DE TESIS



MSc. César Martín Moreno.
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

MÓNICA MARÍA MIRANDA RAMOS

RESUMEN

Este trabajo de tesis consiste en el diseño e implementación de una planta de laboratorio para neutralizar de forma continua las aguas acidas, y para alcanzar este objetivo se ha realizado un estudio de los equipos que se necesitaban realizando cálculos químicos y matemáticos para saber el caudal que deberían de tener las bombas peristálticas que realizarían la tarea de dosificación, también se definió el tipo de pH-metro que se necesitaría para adquirir las mediciones, además se diseñaron los tanques reservorios y reactor de la planta, y fue necesario trabajar en conjunto con un ingeniero químico quien ayudó a diseñar los agitadores de la planta.

Posteriormente después de conocer con exactitud los requerimientos de los equipos se ha investigado en el mercado nacional e internacional los precios y calidad de los productos que se ofrecían ubicando finalmente en Lyon-Francia los equipos que se ajustaban a nuestros criterios de diseño.

El ensamblaje de la planta piloto, y la llevó a cabo una compañía especializada METALMEC, cuidando todos los detalles en el camino de su construcción por lo que la creación de la planta es todo un éxito.

Finalmente se ha obtenido de la planta su modelo matemático con el cual se tiene una idea del comportamiento de la planta.

INDICE GENERAL

CAPITULO I.....	1
1. ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN EL MUNDO Y EN EL ECUADOR.....	1
1.2. SITUACION EN AMERICA LATINA.	6
1.3. CONTAMINACION REPUBLICA DOMINICANA.	11
1.4. CONTAMINACION DEL MAR EN AMERICA LATINA.	12
1.5. SITUACION EN NUESTRO PAIS ECUADOR.	13
CAPITULO II.....	16
2. FUNDAMENTO QUIMICO Y OBTENCION DE LAS ECUACIONES QUIMICAS DE LA NEUTRALIZACION.	16
2.1. ESTUDIO QUIMICO.....	16
2.1.1. DEFINICION DEL PH.	17
2.1.2. EXPLICACION QUIMICA DE LA DEFINICION DE PH.....	17
2.1.3. EXPLICACION DE LA ECUACION NO LINEAL QUE INVOLUCRA EL PH.....	20
2.1.4. EXPLICACION SOBRE LAS BASES Y ACIDOS.....	26

2.1.5. EQUILIBRIO QUIMICO ACIDO – BASE	28
2.1.6. POR QUE SE ELIGE EL ACIDO SULFURICO Y NO EL ACIDO CLORHIDRICO.	33
2.1.7. POR QUE SE ELIGE EL HIDROXIDO DE SODIO PURO Y NO LA LEJIA.	34
2.2. OBTENCION DE LAS ECUACIONES QUIMICAS QUE RIGEN LA NEUTRALIZACION.	35
2.2.1. EXPLICACION DE LA REACCION DE NEUTRALIZACION.....	35
2.2.2. OBTENCION DE LA ECUACION QUIMICA DE LA CONCENTRACION EXPRESADA EN FUNCION DEL PH.	36
2.2.3. CALCULO DE LA CONCENTRACION DE LA BASE	40
CAPITULO III	44
3. CRITERIO DE DISEÑO DE LA PLANTA DE NEUTRALIZACION DE AGUAS RESIDUALES.	44
3.1. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PLANTA	46
3.1.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA	47
3.1.2. SELECCIÓN DEL ELECTRODO DE MEDICION DE PH	53
3.1.3. DISEÑO DE LOS TANQUES RESERVORIOS INICIAL Y FINAL DE LA PLANTA.....	55
3.1.4. DISEÑO DEL REACTOR.....	63

3.1.5. DISEÑO DEL AGITADOR PARA EL REACTOR.	65
3.1.6. DISEÑO DEL AGITADOR PARA EL TANQUE A.	68
3.1.7. IMPLEMENTACION DE LA PLANTA.....	73
3.1.8. ESQUEMATICO DE LA PLANTA.	74
3.1.9. LISTA DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA PLANTA.	75
3.1.10. DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL.	77
3.1.11. ESQUEMATICO DEL PANEL DE CONTROL.....	78
3.1.12. LISTA DE MATERIALES DEL PANEL DE CONTROL.	80
3.1.13. PRUEBA DE LA PLANTA.	83
3.1.14. DISEÑO DEL ELEMENTO MOTRIZ DEL AGITADOR DEL REACTOR.	88
3.1.15. CALIBRACION DE LAS BOMBAS PERISTALTICAS.	94
3.1.16. CALIBRACION DEL PH METRO DEL REACTOR.....	96
CAPITULO IV.....	99
4. EXPLICACION DEL PROCESO Y DETERMINACION DEL MODELO MATEMATICO.....	99
4.1. FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA.....	100
4.1.1. DESCRIPCION DEL PROCESO.	101
4.1.2. ESQUEMATICO DE LA PLANTA	104

4.2. DETERMINACION DEL MODELO MATEMATICO DE LA.....	104
PLANTA.	104
4.2.1. MODELO MATEMATICO DE LA CONCENTRACION EN FUNCION DEL PH.....	105
4.2.2. MODELO MATEMATICO DEL REACTOR.	108
4.2.3. PRUEBAS Y OBTENCION DEL MODELO MATEMATICO DE LA BOMBA PERISTALTICA.....	114
4.2.4. PRUEBAS Y OBTENCIÓN DEL MODELO MATEMATICO DEL PH-METRO.....	121
4.2.5. MODELO MATEMATICO DEL PROCESO.....	123
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	125
CONCLUSIONES.....	125
RECOMENDACIONES.....	127
ANEXO A.....	108
ANEXO B.....	113
ANEXO C	120
ANEXO D	123
ANEXO E.....	124
ANEXO F.....	125
ANEXO G	126
BIBLIOGRAFÍA.....	127

INDICE DE ABREVIATURAS

DIRECTEMAR:	Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante
INEN:	Instituto de Normalización Ecuatoriano.
pH:	Potencial de Hidrógeno.
Iso 31-8:	Norma Internacional
NaCl:	Cloruro de Sodio.
H Cl:	Acido clorhídrico.
(N):	Normalidad.
Na(OH):	Hidróxido de Sodio.
PC:	Computador.
C2AI:	Automatización y Control Industrial.
(PVC):	Polímero de cloruro de Vinilio.
METALMEC:	Mecánica y Metalurgia.
Rpm:	Revoluciones por minuto.

CAL: Modo de Calibración.

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Escala de pH	25
Figura 2.2 pH de ciertas sustancias.....	25
Figura 3.1 Bomba Peristáltica de 3 rodillos.....	49
Figura 3.2 Cojinete de plástico.....	50
Figura 3.3 Dimensiones del Electrodo de PH.	54
Figura 3.4 Parte frontal del transductor de pH	54
Figura 3.5 Placas deflectoras del tanque inicial	56
Figura 3.6 Tanque Final o Tanque B	57
Figura 3.7 Orificios de la tapa en el tanque inicial.....	58
Figura 3.8 Juego de llaves manuales en la planta.....	60
Figura 3.9 Posiciones de las llaves en la planta	61
Figura 3.10 Elementos de medición en el reactor.....	64
Figura 3.11 Dimensionamiento del agitador	67
Figura 3.12 Acople mecánico del motor al agitador	70
Figura 3.13 Vista superior del motor acoplado al agitador	71
Figura 3.14 Fuente de poder para los agitadores.	72
Figura 3.15 Esquemático del panel de control.	75

Figura 3.16 Planta Totalmente Construida	77
Figura 3.17 Vista interna del panel	79
Figura 3.18 Vista externa del panel	80
Figura 3.19 Vista Interior del panel de control	82
Figura 3.20 Parte interna del panel de control	82
Figura 3.21 Parte externa del panel de control	83
Figura 3.22 Programa de Matlab- Simulink.....	85
Figura 3.23 Diseño de la tabla de rangos de pH.....	86
Figura 3.24 Elementos básicos de transmisión de poleas	91
Figura 3.25 Elementos de una transmisión de poleas	91
Figura 3.26 Relación entre las poleas.....	93
Figura 3.27 Sistemas de Poleas para aumento de velocidad	94
Figura 3.28 Menú de calibración.....	95
Figura 3.29 Conteo de dosificación.....	95
Figura 3.30 Cantidad dosificada	95
Figura 4.1 Esquemático de la planta.....	104
Figura 4.2 Curvas de Titulación real y linealizada.....	108
Figura 4.3 Sustancias que ingresan al reactor.....	109
Figura 4.4 Retardo en la respuesta de la bomba peristáltica.....	115

Figura 4.5 Visualización de la señal enviada a la bomba peristáltica	115
Figura 4.6 Programa en Matlab –Simulink.....	116
Figura 4.7 Configuración de la onda cuadrada	117
Figura 4.8 Ascenso de la onda	119

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Emisoras directas de contaminantes inorgánicos en agua clasificados por actividad. (5).....	5
Tabla 1.2 Numero de empresas en la rama industrial	14
Tabla 3.1 Características de la Bomba Peristáltica.....	52
Tabla 3.2 Valores de pH	88
Tabla 4.1 Datos de ascenso de la curva.....	118
Tabla 4.2 Datos completos de la curva de ascenso.....	120

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la maestría dictada por la MACI a los estudiantes se les enseña muchos métodos de controlar la dinámica de un sistema, por lo que la actual planta construida servirá a los futuros estudiantes probar los diferentes algoritmos de control que ellos crearán en base a la teoría dictada en las diferentes materias.

Por otro lado es de conocimiento general la problemática existente en lo que al control de pH se trata, por esta razón la planta piloto ofrece la posibilidad de mejorar y perfeccionar los algoritmos de control existentes hasta llegar a tener un mejor control sobre la estabilidad del pH.

Además la tesis actual trabaja con el protocolo de comunicación de OPC por lo que en un futuro cercano se podrá operar la planta vía internet.

De esta manera se cumple con el objetivo de entregar al Laboratorio de Control y a los estudiantes de la MACI una herramienta importante de trabajo y experimentación de donde se puede obtener un máximo provecho.

Es importante mencionar que el tema de la tesis surgió en base a la problemática actual existente en la neutralización de aguas residuales industriales, por lo que se desea también dejar un mensaje de

concientización a todos los estudiantes que de una u otra manera puedan obtener resultados de la planta piloto.

CAPITULO I

1. ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN EL MUNDO Y EN EL ECUADOR.

El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene valor económico, social y ambiental. Cada ciudadano, cada empresa, ha de tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza. No cabe duda de que la industria es motor de crecimiento económico y, por lo tanto, clave del progreso social. Sin embargo, demasiado a menudo la necesidad de maximizar el proceso productivo excluye de la planificación quizás el aspecto más importante la protección del Medio Ambiente.

El adecuado tratamiento de aguas residuales industriales y su posterior reutilización para múltiples usos contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental del dominio público hidráulico, marítimo y de sus ecosistemas. Sin olvidar que el agua de calidad es una materia prima crítica para la industria.

1.1. SITUACION EN ECUADOR.

En los países desarrollados el 59% del consumo total de agua se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas (1) sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, *Agua para todos, agua para la vida* (marzo 2003). En 2025, el consumo de agua destinada a uso industrial alcanzará los 1.170 km³ / año, cifra que en 1995 se situaba en 752 km³ / año. El sector productor no sólo es el que más gasta, también es el que más contamina. Más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos que se generan en las fábricas se vierten al agua sin ningún tipo de tratamiento previo, contaminando así los recursos hídricos disponibles.

En el ámbito europeo, la Directiva 2000 incorpora la calidad como objetivo de la política general del agua, lo que supone un impulso para las técnicas y tecnologías presentes y futuras, gracias a la investigación – encaminadas a que el agua retorne a la Tierra, una vez utilizada, en condiciones que no sólo permitan la supervivencia, sino la regeneración de algunos de nuestros ecosistemas.

El control de la contaminación del agua producida por las actividades industriales comenzó con la aprobación por el Congreso de los Estados Unidos de la enmienda de 1972 a la “Federal Water Pollution Control Act” (2), que estableció un sistema nacional de descarga y eliminación de contaminantes. Las enmiendas de 1977 y 1987, conocidas como “Clean Water Act” (3) y “Water Quality Act”, completan la regulación legal norteamericana. La tendencia en Europa y, por tanto en España, especialmente tras la promulgación de la Ley 16/2002 de prevención y control integrado de la contaminación y la puesta en marcha del EPER-España (4), es reducir el vertido de algunos contaminantes específicos y emplear sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales “in situ”.

Entre las principales sustancias contaminantes, de acuerdo a la citada ley 16/2002, que se tomarán obligatoriamente en consideración para fijar valores límite de emisiones a las aguas se encuentran:

Compuestos órgano-halogenados¹ y sustancias que puedan generarlos en el medio acuático.

¹ Elemento químico electronegativo capaz de formar sales haloideas al combinarse con un metal:

Sustancias y preparados cuyas propiedades cancerígenas, o mutagénicas², que puedan afectar a la reproducción en el medio acuático.

· Hidrocarburos persistentes y sustancias orgánicas tóxicas persistentes.

· Cianuros³.

· Biocidas⁴ y productos fitosanitarios⁵.

· Sustancias que ejercen una influencia desfavorable sobre el balance de oxígeno

Estos contaminantes proceden de industrias muy variadas y por su naturaleza, concentración o caudal del efluente, hacen que esas aguas residuales demanden un tratamiento antes de su vertido o reutilización.

² Son sustancias y preparados que por inhalación pueden producir defectos genéticos hereditarios.

³ El cianuro es una sustancia química, potencialmente letal, que actúa rápidamente y puede existir de varias formas.

⁴ Los biocidas por lo general actúan a nivel de la membrana celular del microorganismo, penetrándola y destruyendo los sistemas que permiten vivir al microorganismo.

⁵ El producto fitosanitario se define, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) como aquella sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir la acción de, o destruir directamente, insectos (insecticidas), ácaros (acaricidas), moluscos.

CONTAMINANTES INORGANICOS	TIPOS DE INDUSTRIAS
Arsénico, Cadmio y sus compuestos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (22%)
Cloruros	Plantas de combustión (40%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (30%)
Cromo y sus compuestos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (87%)
Cobre y sus compuestos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (23%)
Fluoruros	Industria química inorgánica de base o fertilizantes (54%)
Plomo y sus compuestos	Industria química inorgánica de base o fertilizantes (15%) Industria Química Orgánica de base (12%)
Mercurio y sus compuestos	Industria química inorgánica de base o fertilizantes (31%)
Níquel y sus compuestos	Industria Química Orgánica de base (13%)
Fósforo	Industria química inorgánica de base o fertilizantes (25%).
Zinc y sus compuestos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (33%)
Benceno, tolueno, etilbenceno	Industria Química Orgánica de base (56%) y xilenos (BTX) Industrias del petróleo y del gas (17%)
Diclorometano (DCM)	Productos químicos orgánicos de base (48%) Industria farmacéutica (30%)
Bromuro de difeniléter	Instalaciones para pre tratamiento de fibras o textiles (100%)
Dioxinas y furanos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (41%)
Hexaclorobenceno (HCB)	Productos químicos orgánicos de base (~90%)
Hidrocarburos aromáticos	Tratamiento de superficies con disolventes orgánicos (33%)
Hidrofluorocarburos (HFC)	Productos químicos inorgánicos de base o fertilizantes (48%) Productos químicos orgánicos de base (41%)

Tabla 1.1 Emisoras directas de contaminantes inorgánicos en agua clasificados por actividad. (5)

1.2. SITUACION EN AMERICA LATINA.

El consumo global de agua dulce aumentó seis veces entre 1.900 y 1.995, duplicando la tasa de crecimiento demográfico. Alrededor de un tercio de la población mundial vive en países con problemas entre moderados y altos de abastecimiento (es decir, donde el consumo es más de un diez por ciento de la disponibilidad de agua dulce renovable). Hay agudos problemas de abastecimiento en África y Asia occidental, pero la falta de agua constituye una limitación para el desarrollo industrial y socioeconómico en muchos otros lugares (6).

La región latinoamericana es extremadamente rica en recursos hídricos. Los ríos Amazonas, Orinoco, Sao Francisco, Paraná, Paraguay y Magdalena transportan más del 30% del agua superficial continental del mundo. Con el 12% del área terrestre total y el 6 por ciento de la población, la región recibe alrededor del 27% de la esorrentía total, la mayor parte concentrada en las cuencas del Amazonas. Sin embargo, la oferta hídrica regional presenta una importante variabilidad entre subregiones y localidades, así como en términos estacionales.

La demanda por agua crece rápidamente con la expansión demográfica, la actividad industrial y el turismo. El riego agrícola continúa en aumento. Semejante presión sobre el recurso hídrico se complica por el hecho de que muchos patrones de extracción de agua

pueden ser altamente insostenibles. El bombeo de acuíferos en tasas mayores de lo que requieren para la recarga, es un factor de agravamiento particularmente importante, y existe un gran desconocimiento sobre los límites naturales en este ámbito. Además, se cree que las tasas de deforestación en aumento pueden estar contribuyendo a los severos ciclos anuales de inundación y sequía.

No obstante los avances de los últimos diez años, el acceso al agua potable sigue siendo una cuestión importante. Se estima que para 1995 un 27% de la población regional no tenía acceso a agua potable y un 31% seguía sin servicios de alcantarillado y saneamiento. Además, hay deficiencias de mantenimiento en los sistemas existentes y la existencia de alcantarillado no siempre refleja que las aguas residuales estén recibiendo un tratamiento sanitario. En América Latina como un todo, se estima que apenas un 2% de las aguas residuales reciben tratamiento.

La causa principal de la contaminación del agua es la descarga directa de desechos domésticos e industriales no procesados en los cuerpos de agua superficial. Ello contamina no sólo los cuerpos de agua sino también los acuíferos de agua subterránea adyacentes. Con la expansión de la industria, la minería y el uso de agroquímicos, los ríos y acuíferos se contaminan con los sólidos orgánicos, químicos tóxicos y metales pesados.

El costo de proveer de agua a las ciudades está continuamente en aumento, con ejemplos dramáticos en las grandes y crecientes áreas urbanas. En la Ciudad de México, se bombea el agua hasta alturas mayores de los mil metros para hacerla llegar al Valle de México, y en Lima, la contaminación en las cuencas superiores ha aumentado el costo de tratamiento en cerca de un 30%. Se ha observado también un alto costo por desalinización en el Caribe (7).

La mayor parte de los efluentes industriales que ocurren en la región son descargados a las redes de alcantarillado municipales y transportadas a los ríos que drenan al mar u otros cuerpos de agua en conjunto con los desechos domésticos. En la región la contaminación de las aguas superficiales por la actividad industrial está dominada por las industrias de alimentos y bebidas, seguida por la de pulpa y papel y por la industria química y farmacéutica (8). En Colombia, Ojeda y Arias en el año 2000 reportan que las industrias descargan 142.000 m³/día de desechos sin carne, 102 600 m³/día de minerales, 76.000 m³/día de desechos de la fabricación del vidrio, 60 000 m³/día de derivados de la fabricación de cerveza, 59.640 m³/día de desechos de la industria del papel. Se descargan, a los ríos por los vertimientos de las poblaciones ribereñas cerca de 4.400 t/día de sólidos, y se informa que las actividades económicas aportan al Pacífico más de 84.000 galones/año de residuos de combustibles, no especificados y más de 27 millones de

toneladas/año de sólidos. En este país la tala del bosque y el procesamiento de la madera introducen en los cursos de agua desperdicios de madera (aserrín, viruta de madera, cortezas, trozos, etc), en un volumen de 1'500.000 m³/año.

En México sobre el Golfo, las cuencas más contaminadas son las de los ríos Grijalva y Coatzacoalcos con efluentes de la industria azucarera y petroquímica. Además, la cuenca del Papaloapán recibe efluentes provenientes de las industrias cervecera, química, destilerías y tenerías. La cuenca del Pámuco capta desechos municipales y efluentes provenientes de las industria alimenticia, de celulosa y papel, química, etc. También la cuenca del Bravo recibe efluentes provenientes de la industria del petróleo. En Chile, los aportes más significativos de la carga orgánica contaminante de origen industrial al mar corresponden a los aportes que llegan a los ríos Maipo, Aconcagua, Andalién y Bío-bío con cerca de 333 millones de m³/año.

En la región hay pocos programas de vigilancia de la contaminación de las aguas costeras que sean estructurados como de monitoreo permanente que tengan en consideración la contaminación en las cuencas hidrográficas.

En Chile, existe el Plan Nacional de Investigación, Vigilancia y Control de la Contaminación, ejecutado por la Dirección General del Territorio

Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR) (9), en el marco de la Ley de Navegación y el Programa de Observación del Ambiente Litoral.

En Brasil se citan entre otros, los siguientes: Potencial del Riesgo Ambiental de la Zona Costera, Niveles Críticos de Gestión Ambiental del Litoral Brasileño, Planes Estaduales de Gerenciamiento Costero, Sistema de Monitoreo Ambiental de la Zona Costera, Inventario de la Calidad Ambiental de la Zona Costera, Zonación Ecológico–Económica de la Zona Costera, Plan de Gestión Costera (10).

México: La ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente (11) establece las bases para el aprovechamiento sostenible, preservación y en su caso la restauración del agua y otros recursos naturales, así como la preservación y control de la contaminación de aire, suelo y agua. El Gobierno federal por intermedio de la Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, (12) expide normas oficiales mexicanas para la protección de ecosistemas acuáticos y provee de acciones para la restauración de dichos ecosistemas, así como normas para prevenir y controlar la contaminación de las aguas nacionales.

1.3. CONTAMINACION REPUBLICA DOMINICANA.

En la República Dominicana, país que ocupa poco más de los dos tercios orientales de la isla de Santo Domingo en el Archipiélago de las Antillas, se encuentra una de las 10 ciudades más contaminadas del mundo. Bajos de Haina, a 22 kilómetros al oeste de Santo Domingo, es uno de los lugares que se encuentran en constante peligro; las industrias y todos sus residuos han afectado de tal manera a la población que le han ocasionado daños severos.

En Bajos de Haina en el municipio de Paraíso de Dios aproximadamente 20 años ha estado funcionando un imponente complejo industrial; las chimeneas son evidentes desde lo más alto de los cerros de Paraíso de Dios. En esta ciudad se encuentran establecidas más de 100 industrias de químicos, manufacturas, productos farmacéuticos, artículos metalúrgicos, refinerías de petróleo como la Refinería Dominicana de Petróleo.

Los desechos de todas las industrias afectan y continúan afectando a los habitantes, incluso el puerto más importante del país, ubicado en Bajos de Haina, también se ve afectado. Las fábricas son responsables anualmente de la emisión al aire de 9,8 toneladas de formaldehído, de 1,2 toneladas de plomo, 416 toneladas de amonio y 18,5 toneladas de

ácido sulfúrico. De todas esas emanaciones se identifican 84 sustancias peligrosas, 65 tóxicas de mayor grado (13).

La población de Bajos de Haina lleva varios años con su población enferma de asma, bronquitis, gripe, infecciones diarreicas agudas. Los niños son los principales afectados. La situación se agrava al acumular las toneladas de sustancias peligrosas con los desechos urbanos, estas últimas son arrojadas al aire libre y convierten al ambiente en un área insostenible (14).

Esta población vive en una situación de contaminación constante, el grado de impotencia es enorme pero alguien debe ponerle fin a esta situación para no seguir perdiendo más vidas. Ellos como personas merecen una buena calidad de vida y atención asistencial para los males que les aquejan.

1.4. CONTAMINACION DEL MAR EN AMERICA LATINA.

La dificultad mayor para controlar la contaminación del mar y las zonas costeras por efecto del aporte de aguas dulces contaminadas es que dicha contaminación puede ocurrir a cientos o miles de kilómetros de distancia, lugares sobre los cuales el que recibe los contaminantes, no tiene ninguna autoridad. Eso puede cambiarse solamente si existen

autoridades de aguas por cuencas debidamente legitimadas y con responsabilidades claras sobre el control de la contaminación y la inclusión, como parte de sus funciones, del control de la contaminación de los estuarios y bordes costeros (15).

En otros aspectos de control de la contaminación no está claro cuál es el rol del Estado y cuál el rol de los Municipios. El control de la escorrentía urbana, la contaminación difusa, la contaminación por lixiviación, el monitoreo y vigilancia de la contaminación, los derrames de petróleo a nivel de cuencas y los problemas sanitarios recaen en diversos organismos que no coordinan sus acciones. En varios países la contaminación es abordada por las instituciones ambientales, con mandatos muy generalizados y donde priman criterios de corte conservacionista y de protección de recursos y no de control de contaminación.

1.5. SITUACION EN NUESTRO PAIS ECUADOR.

El río Guayas Daule-Babahoyo, constituye la principal fuente de introducción de contaminantes en el Golfo de Guayaquil, introduce una cantidad equivalente al 75% de todas las descargas domésticas e industriales que se realizan en el litoral. Igualmente el río Teatone recibe cerca de 3 millones m³ /año de efluentes de la actividad

petroquímica, ubicada cerca de la ciudad de Esmeraldas, también el río Esmeraldas, capta desechos domésticos e industriales y del cultivo del camarón.

En nuestro país de acuerdo a un censo realizado en el año 1998 existían 1734 industrias y a continuación se muestra un cuadro explicativo del número de empresas que corresponden a los diferentes sectores de la rama industrial.

NÚMERO DE ESTABLECIMIENTOS Y PERSONAL OCUPADO		
Rama industrial	Empresas	Personal
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	459	44.395
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	311	18.969
Industria de la madera y sus derivados	129	5.898
Fabricación y producción de papel; imprentas y editoriales	121	9.222
Fabricación de productos químicos; derivados del petróleo y el carbón	263	19.564
Fabricación de productos minerales no metálicos	106	5.990
Industrias metálicas básicas	24	2.303
Fabricación de productos metálicos, maquinaria y equipo	288	16.574
Otras industrias manufactureras	33	1.395
Total	1.734	124.310

Tabla 1.2 Numero de empresas en la rama industrial

Podemos decir que en nuestro país existe un gran déficit de tratamiento de aguas residuales industriales, con pocas industrias que tienen una planta de tratamiento para sus desechos. En nuestro país existe la actividad de reciclar baterías, las mismas que son sometidas a procedimientos rudimentarios lejos de guardar las normas y

seguridades que se deben tener al momento de descargar sus aguas residuales.

La batería posee plomo, y otros metales que son reciclables, pero lamentablemente no existe un control al momento de descargar las aguas residuales de este proceso, las cuales son desechadas sin un tratamiento previo a las alcantarillas para luego ser llevadas a los ríos en donde serán llevadas finalmente, provocando mucho daño a la vegetación y población, pues debemos recordar que aún en nuestro país hay comunidades que beben el agua de los ríos periféricos a su comunidad.

El INEN que es el Instituto de Normalización (16) en nuestro país al momento no posee una norma que se encargue de poner parámetros a las industrias para sus diferentes descargas de aguas residuales, considerando que existen varios tipos de industrias funcionando en nuestro país existiendo la necesidad urgente de alguna regulación que proteja el medio ambiente y la vida humana para no llegar a los altos grados de deforestación y carencia del líquido vital como en otros países altamente perjudicados.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTO QUIMICO Y OBTENCION DE LAS ECUACIONES QUIMICAS DE LA NEUTRALIZACION.

Para diseñar la planta, primero se necesita conocer las características químicas que tiene el proceso de neutralización, es indispensable saber cuáles son las ecuaciones químicas que gobiernan la reacción de neutralización es por eso que se hace en esta tesis la explicación de los fundamentos que ayudan a comprender el proceso químico de la neutralización.

Primero definiremos el pH y después la neutralización para finalmente pasar al cálculo químico donde se encuentra el pH expresado en función de la concentración.

2.1. ESTUDIO QUIMICO

En esta parte se plantean conceptos químicos específicos que nos ayudarán a entender el proceso de neutralización, así como de donde viene la no linealidad de la formula que expresa el pH,

además se explicará por qué se elige el ácido sulfúrico y el hidróxido de sodio puro para trabajar en la planta piloto.

2.1.1. DEFINICION DEL PH.

El pH es una medida utilizada por la química para evaluar la acidez o alcalinidad de una sustancia por lo general en su estado líquido también se puede utilizar para gases. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias.

Es una magnitud de mucha importancia en un sin número de procesos biotecnológicos como por ejemplo en la neutralización de desperdicios alimenticios. También ha cobrado gran relevancia en la minería y en el control de la contaminación, como es el caso de la neutralización de desechos industriales.

2.1.2. EXPLICACION QUIMICA DE LA DEFINICION DE PH

La sigla PH significa "potencial de referencia". Este término fue acuñado por el químico danés Sorensen⁶, quien lo definió como

⁶ nacido en Havrebjerg (Dinamarca) (9 de enero de 1868 - 12 de febrero de 1939), fue un químico danés. Su gran aportación es la de introducir el concepto de pH. Trabajando en el Laboratorio Carlsberg estudió el efecto de la concentración de los iones sobre las proteínas, y por qué el ion H^+ era particularmente importante.

el logaritmo negativo en base 10 de la actividad de los iones hidrógeno.

La escala de pH fue ideada para expresar en forma adecuada diferentes concentraciones del ión Hidrógeno (H^+), en varias soluciones sin necesidad de utilizar números en forma exponencial, debido a que con frecuencia son números muy pequeños y por lo tanto es difícil trabajar con ellos, fue así entonces que se decidió trabajar con números enteros positivos.

El pH de una sustancia se define como el logaritmo negativo de la concentración del ión hidrógeno expresado (mol/litro). Una Mol, es una de las magnitudes físicas fundamentales que forman parte del Sistema Internacional de Unidades. Esta unidad permite medir la cantidad de cualquier sustancia, en las ciencias físicas, la cantidad de sustancia de una muestra se puede definir como el número de partículas elementales presentes en la muestra, las partículas elementales son los constituyentes elementales de la materia, son partículas que no están constituidas por partículas más pequeñas ni se conoce que tengan estructura interna.

La escala de pH se define por la ecuación:

$$pH = -\text{Log}[H^+]$$

Ecuación 2.1

El logaritmo negativo proporciona un número positivo para el pH, el termino $[H^+]$ corresponde a la parte numérica de la expresión para la concentración del ión hidrógeno y por lo general este número está entre 0 y 1 por lo que el logaritmo de este número es negativo y al multiplicarse por el signo negativo que tiene la fórmula de pH da como resultado un numero positivo, se utilizan los paréntesis rectos [] para indicar que se expresa cantidad, es decir la cantidad de ion de hidrógenos que están presentes en la sustancia analizada. Debido a que el pH solo es una manera de expresar la concentración del ión hidrógeno, las disoluciones ácidas y básicas, pueden identificarse por sus valores de pH como sigue:

Disoluciones acidas: $[H^+] > 1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$, $pH < 7.00$

Disoluciones básicas: $[H^+] < 1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$, $pH > 7.00$

Disoluciones neutras: $[H^+] = 1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$, $pH = 7.00$

Se observa que el pH aumenta a medida que la concentración $[H^+]$ disminuye.

Por ejemplo:

Calcúlese el pH de una solución cuya concentración de ión hidronio es $6,0 \times 10^{-5}$ M.

$$\text{pH} = -\log [6,0 \times 10^{-5}]$$

$$\text{pH} = -\log [6,0 \times 10^{-5}]$$

$$\text{pH} = -[\log 6,0 + \log 10^{-5}]$$

$$\text{pH} = -0,78 + 5 = 4,22$$

2.1.3. EXPLICACION DE LA ECUACION NO LINEAL QUE INVOLUCRA EL PH.

Definición matemática

El pH (17) se define como un logaritmo decimal negativo de la actividad de los iones de hidrógeno en una solución y se encuentra representada en la ecuación 2.1 mostrada anteriormente.

$$\text{Ph} = -\text{Log}[H^+]$$

La actividad es una función de la concentración de un ion. La constante de proporcionalidad, que en este caso se define como coeficiente de actividad, es un valor comprendido entre 0

y 1. Este valor es afectado por la naturaleza de los iones y temperatura.

Para un electrolito fuerte, la actividad de un ion se acerca a su concentración en soluciones diluidas debido a que los iones están tan distanciados unos de otros que no es posible que haya interferencias entre ellos, y la actividad de un ion es muy aproximada a su concentración. La actividad puede ser medida experimentalmente por medio de un electrodo selectivo de iones, que responde a la actividad de iones de hidrógeno. El pH se mide normalmente por medio de un electrodo conectado a un mili voltímetro con una impedancia de entrada muy alta, que mide la diferencia de potencial o fuerza electromotriz (E), entre un electrodo sensible a la actividad de los iones de hidrógeno y un electrodo de referencia, tales como un electrodo de calomelanos o un electrodo de cloruro de plata. Muy a menudo, el electrodo se combina con el electrodo de referencia y un sensor de temperatura en un solo cuerpo. El electrodo puede ser descrito por la ecuación (18) de Nernst⁷:

⁷ fue un físico y químico alemán, nació en Briesen, Prusia, 25 de junio de 1864 - † Ober-Zibelle, Alemania, 18 de noviembre de 1941, recibió el premio Nobel de Química en 1920. Sus descubrimientos incluyen la ecuación de Nernst.

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln[H^+]$$

Ecuación 2.2

$$pH = \frac{E^0 - E}{2.303RT / F}$$

Ecuación 2.3

Donde E es la diferencia de potencial medido entre los dos electrodos, E^0 es el potencial estándar del electrodo, es decir, el potencial del electrodo para el estándar del estado en el que la actividad es uno. R es la constante de los gases, T es la temperatura en grados Kelvin, F es la constante de Faraday, y n es el número de electrones transferidos (carga iónica), uno en este caso. El potencial del electrodo, E^8 , es proporcional al logaritmo de la actividad de los iones de hidrógeno.

Esta definición, por sí mismo, es totalmente impracticable, ya que la actividad de los iones de hidrógeno es el producto de la concentración y el coeficiente de actividad. Para obtener resultados adecuados, el electrodo debe ser calibrado con soluciones estándares de actividad conocida.

La definición operacional de pH se define oficialmente por la Norma Internacional ISO 31-8 de la siguiente manera (19) :
Para una solución X, en primer lugar medir la fuerza

⁸ La ecuación Nernst se la puede estudiar en los libros de química analítica y se puede leer acerca de ella en <http://catedras.quimica.unlp.edu.ar/qa/Capitulo%2013%20-%20Equilibrio%20redox.pdf>

electromotriz E_x de la celda galvánica y también medir la fuerza electromotriz E_s de una pila galvánica con una solución S de un pH conocido estándar, pH (S) . El pH de X se define como:

$$\text{pH}(X) - \text{pH}(S) = \frac{E_s - E_x}{2.303RT/F}$$

Ecuación 2.4

La diferencia entre el pH de la solución X, pH(X), y el pH de la solución estándar, pH(S), sólo depende de la diferencia entre dos potenciales medidos. Esta medición se la puede realizar con varias soluciones estándares de pH.

La solución estándar se describe a menudo como solución tampón estándar. En la práctica, es mejor utilizar dos o más tampones estándar para permitir pequeñas desviaciones de la ley de Nernst. Tenga en cuenta que, la ecuación que define el pH de una solución contiene la variable de temperatura, por lo que el valor final del pH depende de esta variable de temperatura.

Escala de pH:

El pH es una medida de la acidez y basicidad de una solución (20) que depende de la concentración de H^+ . Como

cualquier medida, el pH posee una escala propia que indica con exactitud un valor.

En esta escala, podemos observar que el pH varía en forma inversa a la concentración de iones de hidrógenos (H^+) en realidad la concentración varía en forma inversa a través de un factor Exponencial.

Un cambio en un punto a través de la escala de pH significa una concentración diez veces mayor o menor que la anterior o posterior en la escala. Podemos decir entonces que un pH 5 es 100 veces más ácido que uno de 7 (neutro).

Es claro que un punto de diferencia, se convierte en una gigantesca diferencia de concentración.

En la figura 2.1 se muestra que la escala de pH va de pH= 0 a pH= 14, pero puede extenderse en ambos extremos. El pH de 7 es el que simboliza la neutralidad. Si el pH es < 7 la solución es considerada ácida; por el contrario, si el pH es > 7 , la solución se considera alcalina. Mientras más ácida la solución, más cerca del 0 estará; y mientras más básica o alcalina el resultado se aproximará a 14.

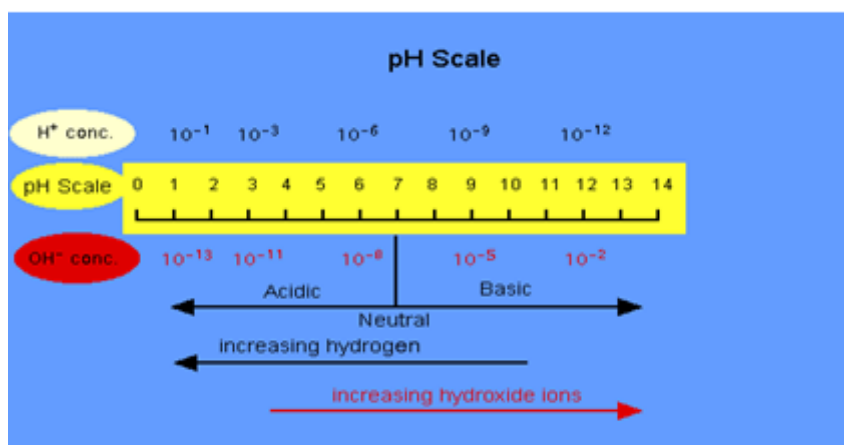


Figura 2.1 Escala de pH

El agua pura es neutra, pero cuando químicos son mezclados con agua esta combinación puede ser ácida o básica, a continuación en la figura 2.2 se muestra el pH de ciertas sustancias.

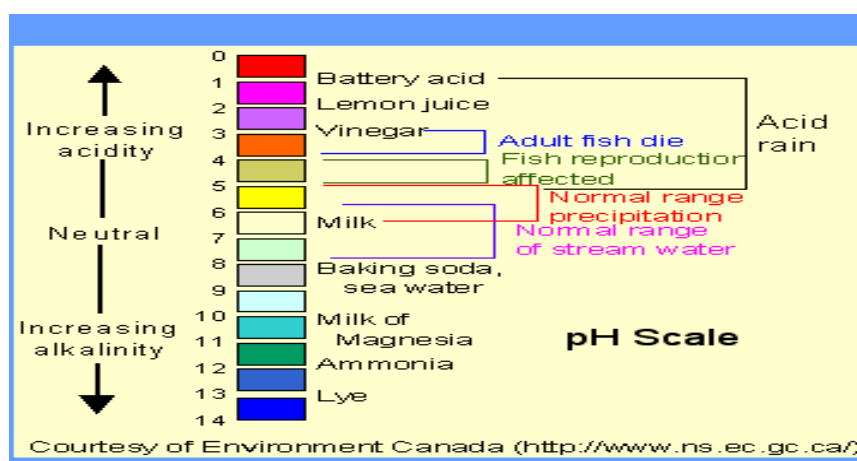


Figura 2.2 pH de ciertas sustancias

2.1.4. EXPLICACION SOBRE LAS BASES Y ACIDOS

La acidez y la basicidad constituyen el conjunto de propiedades características de dos importantes grupos de sustancias químicas: los ácidos y las bases, los conceptos de estas sustancias se enseña en la teoría de Arrhenius⁹.

Teoría de Arrhenius (21)

Svante Arrhenius (1859-1927) consideró que un electrolito es una sustancia que, al disolverse en agua, conduce la corriente eléctrica, porque sus moléculas se disocian en iones, es decir, átomos cargados con electricidad.

Puede haber electrolitos fuertes (cuando la disociación es prácticamente total), electrolitos débiles (si se disocia menos del 1% de las moléculas), y no electrolitos (si no se produce la disociación).

Son electrolitos fuertes, el ácido clorhídrico (HCl), el ácido sulfúrico (H₂SO₄) y el ácido nítrico (HNO₃); todos los hidróxidos

⁹ Nació Suecia, 19 de febrero de 1859 - †Estocolmo, 2 de octubre de 1927, fue un científico (originalmente físico y más tarde químico) y profesor sueco galardonado con el Premio Nobel de Química de 1903 por su contribución al desarrollo de la química con sus experimentos en el campo de la disociación electrolítica.

(excepto el hidróxido de amonio NH_4OH) y la mayoría de las sales.

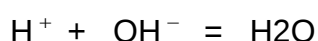
Son electrolitos débiles los ácidos orgánicos, el ácido carbónico y el ácido fosfórico, y bases como el hidróxido de amonio.

No electrolitos son la sacarosa, el etanol, el oxígeno gaseoso y el monóxido de carbono, entre otros.

Según la teoría de Arrhenius, una sustancia que se disocia produciendo iones H^+ es un ácido.

Una sustancia que se disocia produciendo iones OH^- es una base o hidróxido.

Las reacciones de neutralización ácido-base, según esta teoría, se pueden escribir de manera molecular, iónica o iónica neta.



Ecuación 2.5

Características de los ácidos:

- El ión hidrogeno (H^+) es constituyente especial de todos ellos.
- Poseen un sabor agrio-ácido.
- Reaccionan con algunos metales desprendiendo hidrógeno.

Algunas otras conducen la electricidad en disolución acuosa.

-Generalmente son corrosivos.

-Reaccionan con las bases produciendo sales.

Características de los hidróxidos o bases:

-El ión o radical hidroxilo (OH^-) los caracteriza.

-Presentan sabor a lejía (amargo como el jabón).

-Son resbaladizas al tacto.

-Conducen la corriente eléctrica en disolución acuosa (son electrólitos).

-Generalmente son corrosivas.

-Poseen propiedades detergentes y jabonosas.

-Disuelven los aceites y el azufre.

-Reaccionan con los ácidos para producir sales.

2.1.5. EQUILIBRIO QUIMICO ACIDO – BASE

Introducción

Los solutos¹⁰ que son solubles en agua pueden clasificarse

como electrolitos y no electrolitos.

¹⁰ Una solución es una mezcla homogénea de dos o más sustancias. El soluto es la sustancia que, por lo general, se encuentra en menor cantidad y que se disuelve en la mezcla.

Electrolito: son aquellas sustancias que en disolución acuosa conducen la corriente eléctrica. Presentan un comportamiento anormal respecto a las propiedades coligativas, es decir. cuando dos o más sustancias se mezclan para dar lugar a una solución, el resultado es una sustancia con una serie de propiedades físicas propias y diferentes a aquellas que poseían las sustancias originales. Estas variaciones en los cambios de las propiedades de las soluciones reciben el nombre de propiedades coligativas y dependen directamente de la concentración de soluto, mas no de la naturaleza química. Los electrolitos fuertes son sustancias que conducen bien la electricidad en disoluciones acuosas diluidas. Los electrolitos débiles conducen la electricidad muy poco en disoluciones acuosas. La corriente eléctrica se conduce a través de la disolución acuosa por movimiento de iones.

No electrolito: son aquellas especies que en disolución acuosa no conducen la corriente eléctrica. Presentan comportamiento normal respecto de las propiedades coligativas.

La disociación¹¹ es el proceso por el cual un compuesto iónico se separa en sus iones en disolución, por ejemplo NaCl.

La ionización es el proceso por el cual un compuesto molecular se separa formando iones en disolución, por ejemplo HCl.

En 1680 Robert Boyle¹² notó que los ácidos disolvían muchas sustancias, cambiaban el color de algunos tintes naturales y perdían sus propiedades características cuando se mezclaban con álcalis. En 1814 J. Gay-Lussac¹³ concluyó que los ácidos neutralizaban a las bases y que los dos tipos de sustancias deberían definirse en términos de sus reacciones entre sí.

En 1884 Svante Arrhenius presentó su teoría de disociación electrolítica, y enunció la teoría de las reacciones ácido base, considerando ácido a las sustancias que contiene hidrógeno y en disolución acuosa producen iones H^+ ; y base a las

¹¹ disociación electrolítica es el fenómeno por el cual cuando un ácido, una base o una sal se disuelven en agua o en otro disolvente, una parte o la totalidad de la sustancia disuelta se separa en iones, cargados unos con electricidad positiva, cationes, y otros con negativa, aniones.

¹² Nació en Waterford, 25 de enero de 1627 - y muere en Londres, 30 de diciembre de 1691 fue un filósofo natural, químico, físico e inventor irlandés, también conocido por sus escritos sobre teología. Se le conoce principalmente por la formulación de la ley de Boyle

¹³ Joseph-Louis Gay-Lussac nacido en Saint-Léonard-de-Noblat, Francia el 6 de diciembre de 1778 y fallecido en París, Francia el 9 de mayo de 1850 fue un químico y físico francés. Es conocido en la actualidad por su contribución a las leyes de los gases.

sustancias que contienen el grupo hidroxilo y producen iones HO^- en disolución acuosa.

Aunque Arrhenius describió a los iones H^+ en agua como iones aislados (protones), sabemos que en solución existen en forma de $\text{H}(\text{H}_2\text{O})_n^+$ donde n es un número entero y pequeño (entre 1 y 6). Esto es debido a la atracción de los iones H^+ sobre el oxígeno de las moléculas de agua. En este texto usaremos la expresión H^+ por simplicidad, pero tendremos presente que se halla hidratado $(\text{H}_3\text{O})_n^+$.

En 1923 Lewis¹⁴ presentó una teoría ácido base más completa. Un ácido es cualquier sustancia que puede aceptar compartir un par de electrones. Una base es cualquier sustancia que puede donar un par de electrones.

Definición:

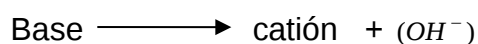
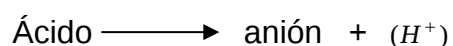
El equilibrio químico es un estado del sistema en el que no se observan cambios a medida que transcurre el tiempo.

¹⁴ Nació en Weymouth, Massachusetts, 23 de octubre de 1875 - y muere en Berkeley, 23 de marzo de 1946, físicoquímico estadounidense, famoso por su trabajo llamado "Estructura de Lewis" o "diagramas de punto".

De acuerdo con la teoría clásica de la ionización electrolítica desarrollada por Arrhenius, los electrolitos disueltos en agua, se disocian directamente en partículas cargadas (positivas y negativas) llamadas iones. Para la Química Analítica, son de gran interés aquellos electrolitos cuyos iones provocan que la disolución sea ácida ó básica.

De acuerdo con la misma teoría, los iones que dan origen al comportamiento ácido son los iones de hidrógenos (H^+) y los iones hidróxido (OH^-) provocan el comportamiento alcalino. Por lo tanto, ácidos son los electrolitos que en disolución acuosa liberan iones hidrógeno, y bases son los que liberan iones hidróxido.

Por tanto el equilibrio ácido - base se puede representar por medio de las ecuaciones siguientes:



Ecuación 2.6

Anión: Un anión es un ión (sea átomo o molécula) con carga eléctrica negativa, esto es, con exceso de electrones. Los aniones se describen con un estado de oxidación negativo.

Catión: Un catión es un ión (sea átomo o molécula) con carga eléctrica positiva, esto es, con falta de electrones. Los cationes se describen con un estado de oxidación positivo.

2.1.6. POR QUE SE ELIGE EL ACIDO SULFURICO Y NO EL ACIDO CLORHIDRICO.

Se sugiere usar el ácido sulfúrico porque este tipo de ácido fuerte no crea sales residuales en el reactor al producirse la neutralización, por el contrario el ácido clorhídrico al reaccionar con una base en las proporciones adecuadas y realizar la neutralización si se producen sales que para el caso de estudio es indeseable debido a que puede obstruir las tuberías que llevan el resultado final de la neutralización hacia el tanque final, además en el mismo reactor quedarían residuos de sales y eso haría más complicado la limpieza del reactor.

Además se sabe que el electrolito del acumulador de la batería completamente descargado es del 12 % de Acido Sulfúrico y un 88% de agua , y se ha sugerido como sustancia de trabajo para la planta el ácido sulfúrico de manera que se pueda simular una solución de neutralización basada en la realidad de los desechos que produce la batería.

El ácido sulfúrico se encuentra disponible comercialmente en un gran número de concentraciones y grados de pureza.

El ácido que se utiliza en la planta de neutralización tiene una pureza del 97%.

2.1.7. POR QUE SE ELIGE EL HIDROXIDO DE SODIO PURO Y NO LA LEJIA.

Se sugiere utilizar el hidróxido de sodio debido a que queremos utilizar menos flujo de base con respecto al flujo de ácido y por eso es recomendable utilizar hidróxido de sodio puro en un 99%, porque esto nos ayuda a crear una base más fuerte de manera que al unirse con el ácido sulfúrico podemos llegar a una rápida neutralización.

Esta ventaja no la tiene la lejía debido a que ella

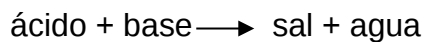
está conformada por hidróxido de sodio y excipientes y estos le restan pureza por lo que se decidió no trabajar con esta sustancia.

2.2. OBTENCION DE LAS ECUACIONES QUIMICAS QUE RIGEN LA NEUTRALIZACION.

El proceso de neutralización se lo utiliza para la recuperación en el tratamiento de aguas residuales industriales que generalmente por su alto grado de contaminación ambiental debe de ser sometida al proceso de neutralización antes de enviarlas hacia los ríos.

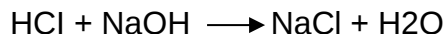
2.2.1. EXPLICACION DE LA REACCION DE NEUTRALIZACION.

La reacción mediante la cual una base neutraliza las Propiedades de un ácido recibe el nombre de neutralización y se ajusta, en términos generales, a una ecuación química del tipo:



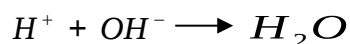
Ecuación 2.7

Así, por ejemplo:



Ecuación 2.8

De acuerdo con la teoría de Arrhenius, la neutralización se reduce a una reacción entre los iones H^+ y OH^- característicos respectivamente de ácidos y bases para dar agua:



Ecuación 2.9

Si la concentración de base es suficiente, todos los iones H^+ procedentes del ácido serán neutralizados por los OH^- procedentes de la base. Un exceso de base otorgará a la disolución resultante un carácter básico. Por el contrario, la existencia de iones H^+ no neutralizados, debido a un exceso de ácido, dará lugar a que la disolución tenga carácter ácido.

2.2.2. OBTENCION DE LA ECUACION QUIMICA DE LA

CONCENTRACION EXPRESADA EN FUNCION DEL PH.

Se ha estudiado un paper que trata sobre el control de pH para

una planta de tratamiento de aguas residuales donde el análisis de la concentración iónica arranca de la ecuación de equilibrio iónico, este paper se lo ubica como referencia de éste análisis (22).

Como y es la concentración iónica, se recurre a la ecuación de equilibrio iónico:

$$y = |H^+| - |OH^-|$$

Ecuación 2.10

Donde:

y : Iones de hidrogenos.

$|H^+|$: Iones de hidrógeno.

$|OH^-|$: Iones de hidróxido.

Si $|H^+| > |OH^-|$ la solución resultante será ácida en caso contrario será básica.

Para llevarlos a términos de pH se recurre a la ecuación 2.1:

$$pH = -\text{Log}(H^+)$$

Despejando H^+ se obtiene:

$$H^{+} = 10^{-ph}$$

Ecuación 2.11

Ahora para determinar el comportamiento del OH^{-} en la ecuación del equilibrio iónico en términos de la definición del pH se recurre a la ecuación del producto iónico del agua, con la que obtengo su constante iónica K_w .

Al producto de la concentración de iones de hidronios (H^{+}) por la concentración de iones de hidróxido (OH^{-}) se le denomina producto iónico del agua y se representa como K_w (23). Las concentraciones de los iones H^{+} y OH^{-} se expresan en moles / litro.

$$[OH^{-}] * [H^{+}] = K_w$$

Ecuación 2.12

Este producto de la ecuación 2.12 tiene un valor constante igual a 10^{-14} a $25^{\circ}C$.

Debido a que en el agua pura por cada ion de hidronio hay un ion de hidróxido, la concentración es la misma, por lo que:

$$10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14}$$

Ecuación 2.13

De la ecuación 2.13 se deduce que las concentraciones de hidronios (H⁺) y de hidróxidos (OH⁻) son inversamente proporcionales; es decir, para que el valor de la constante de disociación se mantenga como tal, el aumento de una de las concentraciones implica la disminución de la otra.

Despejando $[OH^-]$ de la ecuación 2.12 y reemplazando la ecuación 2.11 se obtiene:

$$K_w * 10^{ph} = [OH^-]$$

Ecuación 2.14

Remplazando en la ecuación 2.11 y 2.14 en la ecuación 2.10 se obtiene:

$$y = 10^{-ph} - 10^{ph-14}$$

Ecuación 2.15

que es la ecuación que representa la concentración en función de pH.

2.2.3. CALCULO DE LA CONCENTRACION DE LA BASE

Se realizó una prueba en la que se trabaja con una sustancia ácida de pH=3 obtenida a partir del ácido sulfúrico, el caudal de entrada hacia el reactor se ha establecido en 82,96 ml/min. Partiendo de esta información entonces se calcula la normalidad (N) que tiene la sustancia ácido diluida con un pH=3, de la siguiente manera:

La concentración molar en pH= 3 es de 0,001 molar

Debido a que el

$$pH = -\log(c)$$

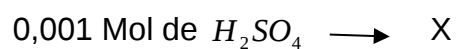
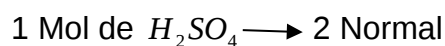
Ecuación 2.16

entonces:

$$10^{-3} = C$$

$$C = 0.001 \text{ molar.}$$

También se sabe que un mol de ácido sulfúrico corresponde a 2 normal por lo que se puede calcular que la normalidad (24) corresponde a 0,001 molar.



$$X= 0,002 \text{ Normal}$$

Con respecto a la dosificación del hidróxido de sodio se quiere q el flujo sea más pequeño que el flujo del ácido por lo que se elige como flujo de dosificación 21,8 ml de hidróxido de sodio.

Además se conoce que la concentración del ácido sulfúrico es de 0,002 Normal por lo que falta utilizar la ecuación 2.17 para saber la concentración del hidróxido de sodio a utilizar para llegar a la neutralización.

Esta ecuación es la fórmula de la equivalencia de neutralización (25) donde en un lado de la ecuación se coloca la concentración y volumen de la sustancia ácida diluida y en el otro lado de la ecuación se coloca la concentración y el volumen de la base con que se neutralizará.

$$CA*VA=CB*VB$$

Ecuación 2.17

Sabiendo que:

CA: Concentración de Acido en Normal.

VA: Volumen de Acido en ml.

CB: Concentración de Base en Normal

VB: Volumen de base en ml.

Y Reemplazando todos los datos en la ecuación 2.17 tenemos:

$$(0,002)*(82,96)= CB * (21,8)$$

$$CB= 2,11855 \text{ Normal}$$

Se sabe que en el Na (OH) tiene 1 normal porque solo posee un átomo de hidrogeno por lo tanto en 2,11855 Normal hay 2,11855 Molar.

Como se trata del cálculo de concentración de una base entonces se aplica la formula con la que se calcula el pH de la base (26) :

$$pH= 14= [H^+] + [OH^-]$$

Ecuación 2.18

$$[H^+]= 14 - [OH^-]$$

$$[OH^-]=CB$$

$$[H^+]= 11,88$$

En conclusión, se tiene que se necesita un caudal de sustancia acida diluida de 82,96 ml/min que corresponde al 68%

de la capacidad de la bomba peristáltica con un $\text{pH} = 3$ y se requiere un caudal de 21,8 ml/min de sustancia base con un $\text{pH}=11.88$ y que corresponde al 20% de la capacidad total de la bomba peristáltica para lograr la neutralización de la sustancia ácida en el reactor.

CAPITULO III

3. CRITERIO DE DISEÑO DE LA PLANTA DE NEUTRALIZACION DE AGUAS RESIDUALES.

Para diseñar la planta piloto de neutralización se tomaron en cuenta muchos aspectos, como por ejemplo encontrar las bombas de dosificación adecuadas porque se necesita que la dosificación se realice en pequeñas cantidades, también se buscó el electrodo más adecuado para el ambiente ácido al que será sometido, se recomienda trabajar con una sustancia ácida de $\text{pH}=3$, por otro lado también se requirió buscar un transductor de la señal de pH dado que la tarjeta de adquisición recibe señales de 4 a 20 ma, se debió buscar un transductor de pH que envíe en mili amperios (ma) la señal recibida desde el electrodo de pH hacia la tarjeta de adquisición de datos. Considerando que la planta es para usarla en un laboratorio, el dimensionamiento de la misma se lo ha establecido para que el proceso de neutralización dure aproximadamente en dos horas.

La planta dispone de 2 recipientes de 35 litros, uno para preparar la sustancia ácida, 25 litros, que deberá ser neutralizada y el otro tanque donde se depositará la sustancia ya neutralizada. El proceso continuo de

neutralización se realiza en un recipiente intermedio, el reactor, en donde se agrega la sustancia base para lograr la neutralización. El suministro de las sustancias tanto acida como base se la realiza mediante bombas dosificadoras y la verificación de la neutralización mediante un medidor de pH, el pH-metro del reactor. Adicionalmente la planta cuenta con equipos complementarios como los agitadores y circuitería de adquisición de datos para el control de la dosificación. La preparación de la planta requiere una fase inicial en forma manual en la que hay que preparar los 25 litros de sustancia acida, mezclando agua destilada con acido concentrado, utilizando la bomba dosificadora de sustancia acida y controlando el pH con el pH-metro del tanque inicial.

La operación de la planta puede ser realizada manualmente o automáticamente. En la forma manual el operador puede regular los caudales de las bombas dosificadoras y verificar las lecturas del pH-metro del reactor en su despliegue visual. Para la operación automática es necesario conectarse a través de un equipo de control de procesos, en nuestro caso utilizando el Compact Field Point de National Instruments¹⁵, el mismo que cuenta con las tarjetas de adquisición de datos necesarias para la planta y mediante la red Ethernet este se comunica con una estación de trabajo, PC con el software Matlab- Simulink, la misma que

¹⁵ Diseñado para control industrial, el controlador de automatización programable (PAC) NI Compact Field Point ofrece la flexibilidad y facilidad de uso de una PC y la fiabilidad de un controlador lógico programable (PLC).

sirve para realizar la acción del control automático del proceso de neutralización.

En el Anexo E se encuentran los planos en autocad de la planta piloto, donde se pueden observar las diferentes vistas.

3.1. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PLANTA

La construcción de la planta se la realizó utilizando elementos adquiridos, unos localmente y otros mediante importación. Fue necesario realizar una selección cuidadosa de tal manera que se pueda cumplir con las especificaciones establecidas y los costos adecuados. Por ejemplo, los equipos más importantes como las bombas dosificadoras y medidores de pH, fueron importados desde Francia.

La estructura, tanques, reactor, agitadores, mangueras y válvulas de la planta fueron ensamblados localmente utilizando materiales resistentes a la corrosión como son el acero inoxidable y láminas transparentes de acrílico para proporcionar una protección contra salpicaduras a los usuarios. La parte eléctrica del control se la ensambló con materiales disponibles localmente.

3.1.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA

En nuestra planta es necesaria una dosificación exacta porque se necesita insertar la cantidad correcta de ácido y de base para llegar a una neutralización por esta razón se ha elegido la bomba dosificadora de tipo peristáltica porque tiene la capacidad de dosificar por gotas.

La bomba peristáltica adquirida posee un caudal de 122 ml/min y puede ser controlada con una señal de corriente de 4 a 20 ma, en un primer momento se quería que la bomba peristáltica tuviera un caudal de 208,33 ml/min y pudiera ser controlada por medio de una señal de control de corriente de 4 a 20 ma, la bomba se la buscó en muchos lugares dentro del mercado nacional e internacional, encontrando algunas opciones en el mercado internacional pero se salían del presupuesto que se tenía, por esta razón se sacrificó el caudal que se requería originalmente de 208,33 ml/min y se adquirió la bomba que posee el caudal de 122 ml/min y es controlada con una señal de corriente de 4 a 20 ma.

El funcionamiento de las bombas peristálticas se explica en el siguiente punto.

Principio del funcionamiento de las bombas peristálticas

La función de las bombas peristálticas imita el sistema de digestión humana conocido como movimiento “peristáltico” consistente en la contracción y sucesiva relajación de un músculo alrededor de un tubo que así mueve su contenido. En el caso de la bomba peristáltica, un tubo flexible es aplastado continuamente por rodillos colocados adecuadamente. Entre un paso y el otro del rodillo impulsor, el tubo recupera su diámetro original generando un vacío para succionar el producto a bombear.

El mecanismo más común cuenta con dos o tres rodillos que giran en un compartimiento circular comprimiendo en forma progresiva una manguera especial flexible.

En la figura 3.1 que está abajo se observa que en ningún momento, de las fases 1 a la 6, los rodillos dejan de presionar la manguera en al menos dos puntos. Esto es importante ya que si en algún momento los rodillos dejan de presionar el conducto, el líquido podría retroceder. El sentido de rotación del motor determina la dirección del flujo del contenido.

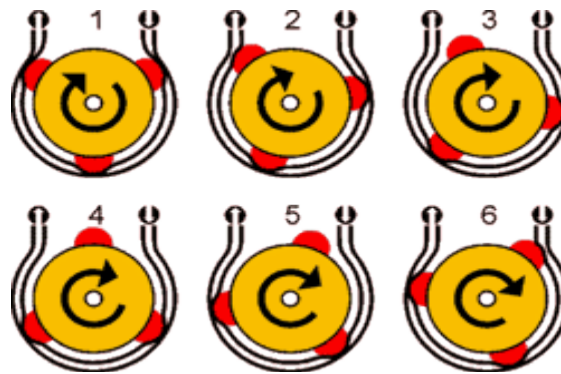


Figura 3.1 Bomba Peristáltica de 3 rodillos

La figura 3.1 muestra una bomba peristáltica de tres rodillos.

Los rodillos están unidos con el eje del motor a través de algún mecanismo, de manera que al girar el mismo, estos presionan la manguera en forma progresiva y hacen avanzar el contenido dentro de la misma.

En este sistema el contenido que está siendo bombeado nunca está en contacto con el mecanismo, sólo con el interior del conducto. La velocidad del bombeo puede ser tan lento como lo requiere el proceso.

Cojinetes de plástico en las bombas peristálticas

Existen diferentes tipos de rodillos que son utilizados en las bombas peristálticas y ofrecen grandes ventajas, entre las que destacan:

Cojinetes de plástico con bolitas de vidrio, en lugar de pequeños rodillos. Esto reduce la pulsación, fricción y tensión mecánica en la manguera, produciendo una mejor eficiencia.

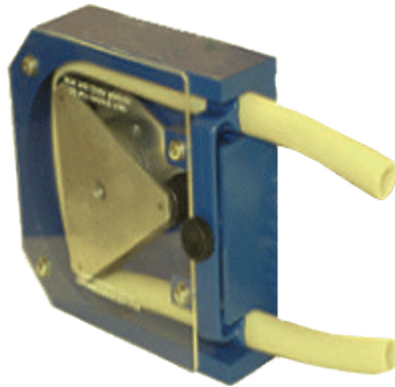


Figura 3.2 Cojinete de plástico

En la figura 3.2 se muestra los cojinetes de plástico que se deslizan suavemente sobre la manguera. No es necesario usar abrazaderas para sujetar la manguera y evitar que se mueva. De esta manera se alarga notablemente la vida útil de la manguera.

Una palanca descentrada sujeta por resortes de material anticorrosivo efectúa una presión suave y gradual sobre la manguera. De esta manera se aplica sólo la mínima presión necesaria, garantizando el buen funcionamiento de la bomba sin deformar excesivamente la manguera.

Capacidad de la bomba peristáltica

El volumen de contenido desplazado por la bomba en cada vuelta dependerá del diámetro interior del conducto utilizado. A medida que se desgasta la manguera y pierda su flexibilidad, se deberá re calcular el volumen desplazado por la bomba. El tiempo en el que ocurra ese desgaste dependerá del material utilizado para el conducto y el espesor de las paredes del mismo.

Especificaciones.

Después de investigar en el mercado las diferentes bombas peristálticas que se ofrecen se eligió la marca Basic Pro, porque tiene dosificación de caudal dentro del rango que se necesita entre 20% y 90% del caudal total de la bomba peristáltica, además se la puede controlar vía remota o local, también el precio estaba accesible a nuestro presupuesto y cubría las especificaciones requeridas, se las adquirieron en Lyon-Francia, a la empresa C2AI¹⁶.

¹⁶ C2AI : Es una empresa ubicada en Lyon-Francia, especializada en la fabricación y desarrollo de equipos de instrumentación y automatización industrial. <http://www.c2ai.com/>

Como conclusión se tiene que esta bomba peristáltica es la que mejor se adapta a nuestros requerimientos de funcionamiento y precisión, sus características técnicas son presentadas en la tabla 3.1. Se adquirieron dos bombas peristálticas una para la dosificación de la sustancia acida, Bomba A, y otra para la dosificación de la sustancia base, Bomba B.

Características Técnicas

Dimensiones (A -H -P)	234x162x108 mm
Rango de frecuencia	0.0373Hz
Contrapresión Máxima	1,5 bar
Dosificación	Pausa -Trabajo
Absorción	7W
Peso	1 kg
Alimentación (50 Hz)	100...240 VCA
Calibración -Dosificación	Automática
Caudal Máximo	162,5 ml/min
Caudal mínimo	16,25 ml/min

Tabla 3.1 Características de la Bomba Peristáltica

3.1.2. SELECCIÓN DEL ELECTRODO DE MEDICION DE PH

Se necesita que el pH metro nos permita trabajar en la planta de forma manual y local, además se requiere que nos permita trabajar de forma automática mediante equipos de control computarizados.

Para cumplir con estas especificaciones el pH deberá tener una unidad de control local que me proporcione información visual de la lectura de pH y para su operación automática en lazo cerrado adicionalmente deberá generar una señal de 4 - 20 ma.

Debido a que el pH metro es muy sensible a la temperatura, por ese motivo el equipo toma la medición de pH y realiza la compensación de temperatura internamente en el transmisor y finalmente este valor de pH compensado con Temperatura es mostrado en el display.

El Transmisor de pH es un equipo de control que muestra la medición de pH en el display, tiene la medición de pH con compensación de temperatura y puede ser manejado de manera local y remota.

El equipo que cumpliera con estas especificaciones técnicas y de costo, se lo busco localmente pero no se lo pudo encontrar

por lo que fue necesario buscarlo en el mercado internacional y se lo importó desde Lyon-Francia.

En la figura 3.3 se muestra las dimensiones que tiene el electrodo de pH con el que se trabaja en la planta piloto.

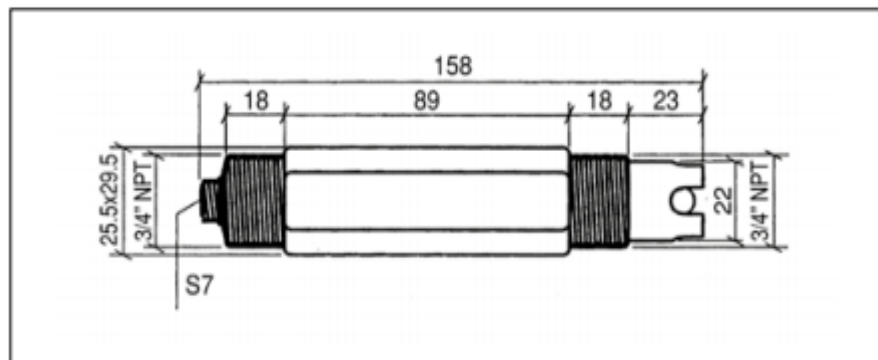


Figura 3.3 Dimensiones del Electrodo de PH.

En la figura 3.4 se observa al transmisor de pH.



Figura 3.4 Parte frontal del transductor de pH

3.1.3. DISEÑO DE LOS TANQUES RESERVORIOS INICIAL Y FINAL DE LA PLANTA.

Llamaremos tanque A al reservorio de la sustancia acida y tanque B al reservorio donde se depositará la sustancia neutralizada.

El material en el que se construyeron los tanques reservorios A y B de la planta es el acrílico, se eligió este tipo de material porque es resistente a las sustancias corrosivas como por ejemplo el ácido.

Los tanques son hechos de acrílicos y sus aristas están reforzadas con ángulos de acero inoxidable.

Todas los acrílicos se protegen con perfil de acero inoxidable, esta estructura le proporcionará protección y mayor resistencia, sujeción y mayor robustez a las aristas de los tanques. Estos perfiles se construyeron en acero inoxidable por la corrosión y en los ángulos se rellenaron de silicón para mantener unidas las dos caras, los ángulos son de $\frac{1}{2}$ pulgada y el espesor es de 6mm.

Los reservorios A y B tienen una capacidad de 35 litros LxAxP, tanto el tanque inicial como el tanque final, la razón es porque

toda la sustancia ácida que se encuentra en el tanque inicial deberá ser neutralizada al pasar por el reactor de neutralización y el resultado llega al tanque final.

El tanque A se lo puede observar en la figura 3.5 y la diferencia de construcción con respecto al tanque B es que posee cuatro placas deflectoras a lo largo de las esquinas del cubo, estas placas son hechas de acrílicos y rellenas con silicones para que el ácido no penetre a estos espacios.

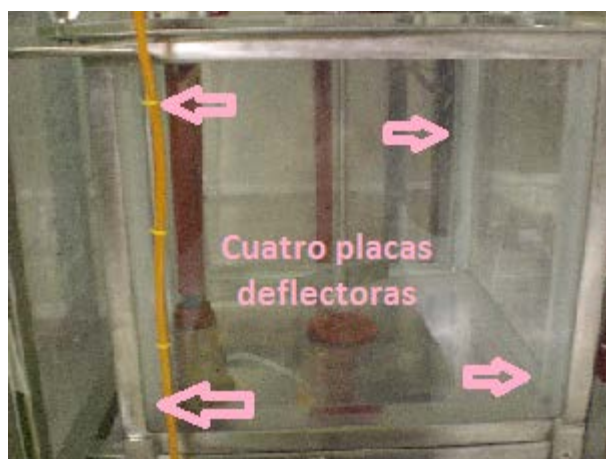


Figura 3.5 Placas deflectoras del tanque inicial

En un tanque cubico sin placas deflectoras existe un fuerte flujo tangencial así como formación de vórtices para moderadas velocidades de giro del agitador. Cuando se instalan placas deflectoras, aumenta el flujo vertical y se produce una mezcla más rápida del líquido.

Por otro lado el tanque B no posee estas placas deflectoras porque solo cumple una función de almacenamiento por lo que no es necesario instalárselas. La figura 3.6 muestra el tanque B y la de la sustancia ácida neutralizada, este flujo viene desde el reactor, también se observa el orificio de descarga hacia el exterior que en el caso de la planta puede ser utilizada para tareas de limpieza pero no es apta para el consumo humano.

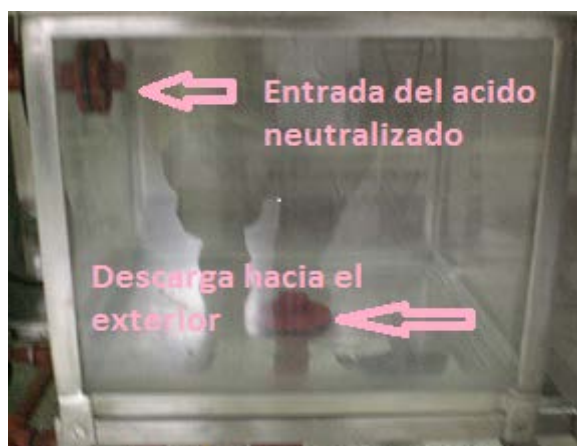


Figura 3.6 Tanque Final o Tanque B

Los tanques reservorios poseen una tapa cada uno que los protege de agentes externos que podrían contaminar su contenido son construidas en acrílico. Estas tapas son removibles, para cuando se quiera realizar la limpieza de los tanques sea una tarea fácil.

Las dimensiones son las mismas para el reservorio A y el B:

Alto: 31 cm

Ancho: 37 cm

Profundidad: 37 cm

Espesor del acrílico: 6 mm

En el tanque A tiene seis orificios sobre la tapa y se los puede observar en la figura 3.7, el orificio N°1 es para ingresar la manguera de succión de color amarilla que contiene un cheque en su extremo, la función de este cheque es no dejar regresar la sustancia ácida con $\text{pH}=3$ que se ha absorbido por medio de la bomba peristáltica y enviar esta sustancia hacia el reactor, la misma que será neutralizada por la base.

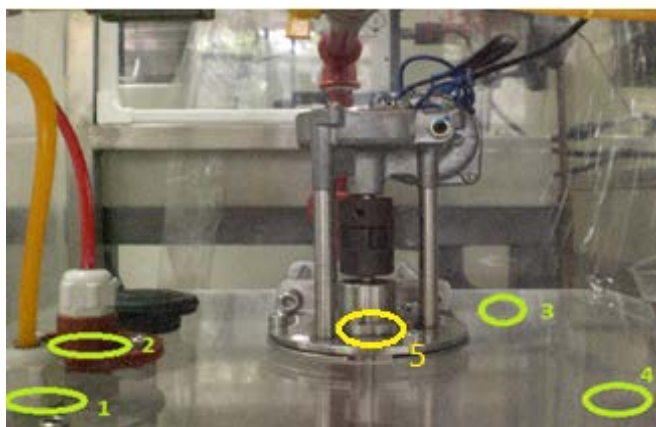


Figura 3.7 Orificios de la tapa en el tanque inicial

El orificio N° 2 es para que pueda ingresar la manguera de color rojo que suministra el ácido concentrado con $\text{pH}<3$ que se encuentra en otro recipiente y es absorbido por la bomba

peristáltica hacia el tanque A y que sirve para preparar la sustancia acida diluida con agua y que tendrá un $\text{pH}=3$

El orificio N° 3 es por donde ingresa un tubo de pvc que contiene el electrodo que va a medir el pH del tanque A.

El orificio N° 4 es para que ingrese el agua en primera instancia cuando el tanque esta vacio y recién empieza el proceso.

El orificio N° 5 es el del agitador.

El orificio N° 6 es el de descarga hacia el exterior en caso de que ya no se necesite la sustancia.

Se debe mencionar que la bomba peristáltica A en la fase inicial de preparación sirve para dosificar el ácido concentrado en el tanque A para preparar la sustancia ácida con $\text{pH}=3$, en la fase de operación de neutralización continua, la bomba peristáltica A se la utiliza para dosificar la sustancia ácida al reactor.

Es importante saber que se logra utilizar la misma bomba peristáltica en las dos diferentes fases del proceso gracias a un juego de llaves, en la figura 3.8 se puede observar el juego de llaves que se encuentran arriba del tanque A y la llave que se encuentra en la parte inferior del tanque A1, utilizando las combinaciones correctas de las llaves se logra utilizar una

misma bomba peristáltica para dosificar ácido en diferentes momentos.



Figura 3.8 Juego de llaves manuales en la planta

A continuación se muestra en la figura 3.9 un esquemático de la planta donde están las llaves que se manipulan en la operación.

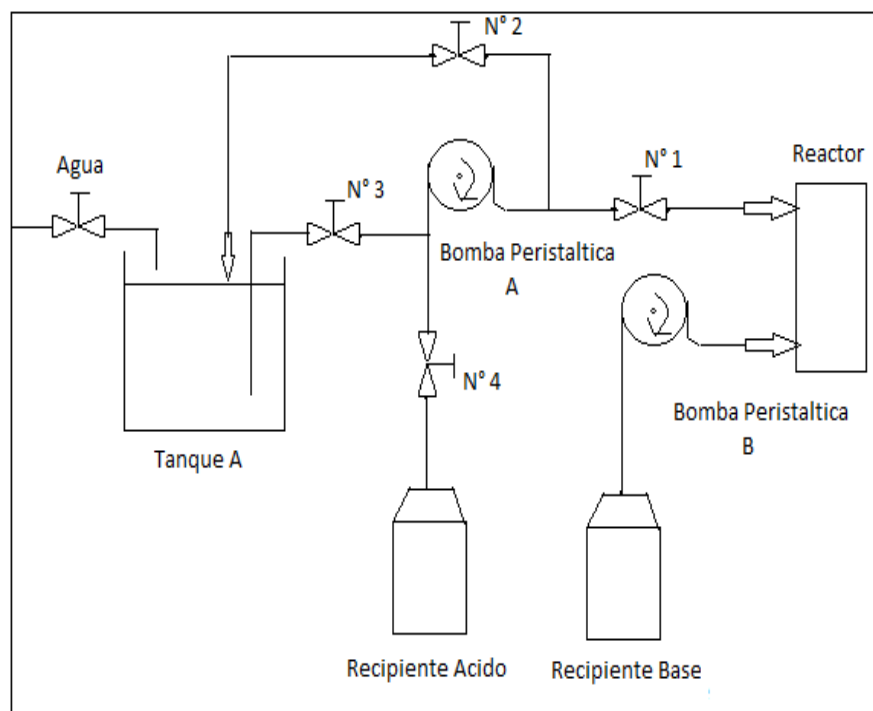


Figura 3.9 Posiciones de las llaves en la planta

Cuando recién arrancamos el proceso, se tiene el tanque A vacío y se siguen los siguientes pasos:

- 1.- Se llena el tanque A con agua, por medio del orificio Nº 4 que se encuentra en la tapa del tanque A.
- 2.- Se cierra la llave Nº1 para que no pase fluido hacia el reactor.
- 3.- Se abre la llave Nº 2 y se cierra la llave Nº 3 y se abre la llave Nº 4 para que permita pasar el ácido desde su recipiente (Reservorio Acido) hacia la bomba peristáltica A y luego al

tanque A. (Llave N° 1 cerrada, Llave N° 2 abierta). Operar la bomba peristáltica A en forma manual y activar el mezclador del tanque A. Mediante el PH-metro ir controlando el valor de pH del tanque A hasta lograr obtener una sustancia ácida con $\text{pH}=3$.

Para la fase de neutralización continua es necesario los siguientes ajustes:

1.- Se abre la llave N° 1.

2.- Se cierra la llave N° 2.

3.- Se abre la llave N° 3 y se cierra la llave N° 4 para que la bomba peristáltica A permita el paso de la sustancia ácida contenida en el tanque A e impida la succión de ácido del reservorio de ácido.

El ajuste de la bomba peristáltica A estará bajo control del sistema computarizado a cargo de esta función.

Se puede identificar en la figura 3.8 la bomba peristáltica A que bombea ácido porque tiene conectado tanto en la parte de la succión y de la descarga la manguera de color amarilla, ésta es la bomba peristáltica que succiona ácido.

Interconexión Hidráulica de la Planta

La interconexión hidráulica de la planta se la realiza mediante mangueras de plástico (PVC)¹⁷ de 5mm, y son resistentes a las sustancias acidas y a las bases, utilizando accesorios como conectores de 1/8 de pulgadas, unas son de PVC y otras son de acero inoxidable, y para direccionar el flujo se utilizan llaves manuales de 1 vía de acero inoxidable de ¾ de pulgadas.

Se adopta un código de colores para las mangueras.

La amarilla se utiliza para llevar la sustancia acida.

La azul se utiliza para llevar la sustancia básica.

Las mangueras de succión de las bombas peristálticas introducidas llevan en su parte inicial unas válvulas de tipo anti retorno.

3.1.4. DISEÑO DEL REACTOR.

El reactor ha sido diseñado de forma cilíndrica, el fondo del tanque es redondeado y no plano, con el fin de eliminar los

¹⁷ El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a poli cloruro de vinilo. La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además de ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles

lugares en los que no penetrarían las corrientes de fluido, la altura del líquido es aproximadamente igual al diámetro del reactor.

El reactor tiene una capacidad de 5 litros y está hecho en vidrio y tiene las siguientes dimensiones:

Diámetro de la base: 19.9 cm

Altura del reactor: 28.6 cm

Espesor del vidrio: 4.7 mm

En la figura 3.10 se puede observar el reactor con los instrumentos de medición tales como el sensor de pH y la sonda de temperatura, también se observa la entrada de base y ácido.

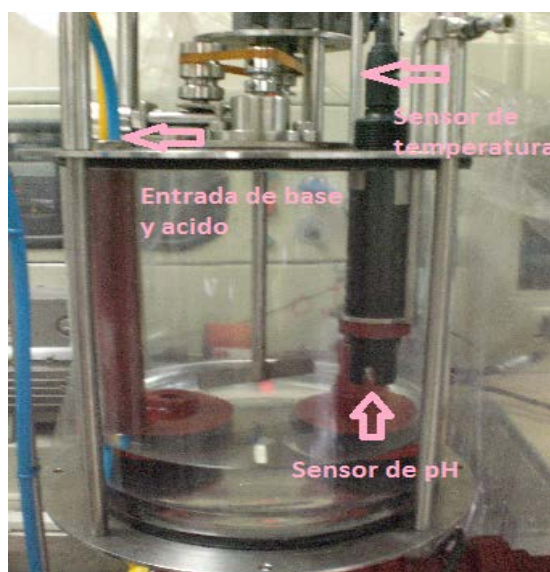


Figura 3.10 Elementos de medición en el reactor

En la figura 3.10 se puede observar que el reactor se encuentra sostenido por una base y cuatro barras que están empernadas en la parte superior de la planta piloto, y toda esta estructura de soporte del reactor está hecha en acero inoxidable.

Es importante mencionar que el sensor tiene la capacidad de desplazarse a lo largo del reactor gracias a un mecanismo instalado que es regulado de acuerdo a la necesidad que se tenga.

3.1.5. DISEÑO DEL AGITADOR PARA EL REACTOR.

El éxito de muchas operaciones industriales depende de la eficaz agitación y mezcla de fluidos. Aunque con frecuencia tienden a confundirse, agitación y mezcla no son sinónimos. La agitación se refiere al movimiento inducido de un material en una forma específica, generalmente con un modelo circulatorio dentro de algún tipo de contenedor. La mezcla es una distribución al azar de dos o más fases inicialmente separadas. Un único material homogéneo, tal como un tanque con agua fría, puede ser agitado pero, en cambio, no puede mezclarse

mientras no se le adicione otro material, tal como una cierta cantidad de agua caliente o algún sólido pulverulento.

Todas las aplicaciones de agitado exigen distintos grados de turbulencia a pequeña escala y la formación de una corriente de líquido. Cuando se genera una corriente satisfactoria, se pone en movimiento el contenido del tanque y todas sus partes intervienen en el agitado. En la mayoría de las aplicaciones se produce una turbulencia importante y la potencia de la corriente generada es lo que determina la eficiencia del agitador.

El agitador está hecho en acero inoxidable y para realizar el cálculo de sus dimensiones se ha revisado el paper que trata sobre agitación y mezcla de líquidos (27).

En la figura 3.11 se muestra un dibujo donde se puede observar el criterio de dimensionamiento del agitador en base a las medidas del recipiente donde va a ser instalado.

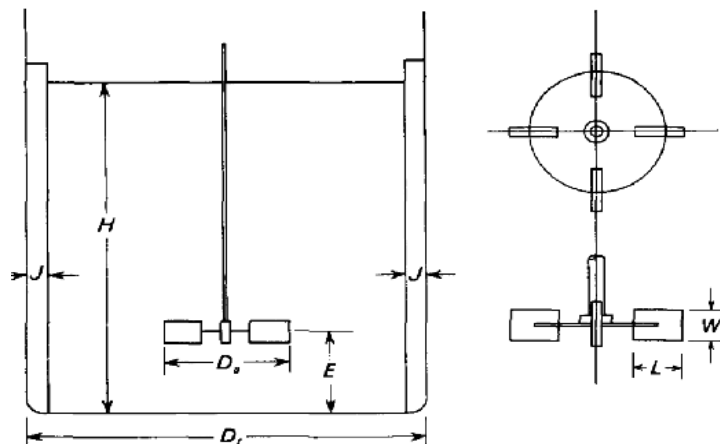


Figura 3.11 Dimensionamiento del agitador

Los cálculos para encontrar las medidas son las siguientes:

Considerando que el diámetro del reactor es de: 19,9cm

Se encuentra el largo de la paleta con la siguiente relación:

$$D_a/D_t = 1/3 \quad \textbf{Ecuación 3.4}$$

$$D_t = 19.9 \text{ cm}$$

$$D_a = 6.63 \text{ cm}$$

La altura de la paleta se la encuentra con la siguiente relación:

$$W/D_a = 1/5 \quad \textbf{Ecuación 3.5}$$

$$\text{Conociendo } D_a = 6.63 \text{ cm}$$

$$W = 1/5 (6.63) = 1.32 \text{ cm}$$

En todo el filo de la circunferencia del reactor cilíndrico se colocó un cauchito de protección y conociendo que la altura del reactor es 28,6 cm se le añade el espesor del caucho protector del filo del reactor que es de 1 cm y además también se le añade el espesor de la capa metálica que va a cubrir el reactor y sobre el cual se va a colocar el agitador del reactor, esta capa tiene un espesor de 1 cm, también se le debe de aumentar la altura que va insertada en el acople y es de 3,4 cm sumando todas estas dimensiones a la altura del reactor es el resultado total de la altura del agitador y las dimensiones para construir el agitador son las siguientes:

Altura: 34 cm.

Largo de la paleta: 6.63 cm.

Altura de la paleta: 1.32 cm.

Espesor de la paleta: $\frac{1}{4}$ inch.

Altura de colocación de la paleta en reactor: 4.6 cm

3.1.6. DISEÑO DEL AGITADOR PARA EL TANQUE A.

Para diseñar el agitador del tanque inicial se buscó la colaboración de un ingeniero químico, quien nos ha sugerido las

medidas del agitador para el tanque inicial y para esto se revisó el paper que trata sobre agitación y mezcla de líquidos (27).

Sobre la tapa del tanque inicial se encuentra ubicado el motor y el acople en hierro para el agitador que se encuentra instalado en el tanque.

En la figura 3.12 se encuentra el motor del agitador para el tanque inicial. Y se puede observar el acople mecánico del motor con el agitador.

Las revoluciones a las que gira el agitador son de 80 revoluciones por minuto, esta velocidad fue recomendada por el Ingeniero químico Luis Cárdenas¹⁸, basada en su experiencia de trabajo explica que debido a las dimensiones del tanque no se recomienda una velocidad tan alta porque se formarían vórtices muy pronunciados en el centro del tanque y esto no permitiría una buena mezcla en todo el contenido del tanque.

La base del acoplador así como las barras que sostienen el motor está construida en acero inoxidable y el acople esta

¹⁸ Es profesor del Instituto de Química y enseña la materia de Procesos Unitarios, es Ingeniero Químico.

hecho en hierro fundido, debidamente alineado entre el eje del motor y el eje del agitador de manera que no se pierde potencia en la agitación del tanque.



Figura 3.12 Acople mecánico del motor al agitador

En la figura 3.13 se puede ver una vista superior del motor que se encuentra acoplado con el agitador. Y desde esta foto se puede apreciar las barras posteriores que están sujetadas desde la estructura metálica del tanque inicial.

Es importante notar que aunque todo el cuerpo motor-agitador están ajustados desde las barras posteriores a la estructura metálica del tanque inicial además la base de acero inoxidable que sostiene el acople está empernada en la tapa de acrílico

para dar mayor firmeza a la estructura que sostiene este sistema de acople.



Figura 3.13 Vista superior del motor acoplado al agitador

El motor funciona a 12Vdc alcanzando una corriente de arranque máximo de 7 amperios dc y en condición de operación consume 4 amperios dc.

Como se ha podido ver la planta piloto tiene 2 agitadores cada uno con su motor respectivo, así que para alimentar los dos motores se mandó a construir una fuente de 12 Vdc con una corriente máxima de 15 amperios, se la puede observar en la figura 3.14



Figura 3.14 Fuente de poder para los agitadores.

La fuente es de marca Exxel Power¹⁹, tiene salida positiva y negativa de 12 Vdc, además cuenta con fusible de protección de 7 amperios y un switch de comando de encendido y apagado.

El agitador para el tanque A se construye en acero inoxidable y posee las siguientes medidas:

Altura: 45 cm.

Largo de la paleta: 15 cm.

¹⁹ Fabricada por la compañía CELECO TECH S.A. que se dedica a la fabricación y distribución de baterías industriales. Gerente Ing. César León, teléfonos: 045108539 – 042821674 , <http://guayaquil.mundoanuncio.ec/cargadores-de-baterias-industriales-exxel-power-iid-242489419>

Altura de la paleta: 4 cm.

Diámetro de la paleta: 1 inch.

Altura de colocación de la paleta en reactor: 3 cm

3.1.7. IMPLEMENTACION DE LA PLANTA

Se investigó en el mercado nacional e internacional la existencia de alguna planta que realizara la tarea de neutralización, y se encontró una planta en Alemania pero su precio era demasiado elevado por lo que se decidió ensamblarla localmente.

Se debía de conseguir los equipos para proceder al ensamblaje local, así que se investigó la calidad y precios de los equipos que se necesitaban adquirir, encontrando la mejor opción de adquisición en Lyon- Francia, desde donde fueron adquiridos los equipos como las bombas peristálticas, el electrodo de medición y el transmisor de pH con salida de 4 a 20 ma.

Toda la estructura que soporta los equipos especializados de medición y los perfiles de la estructura que sostiene a los tanques de acrílicos son de acero inoxidable.

A la planta piloto tiene dos puertas de protección, las mismas fueron hechas de acrílico y los perfiles son de acero inoxidable.

Los reservorios de hidróxido de sodio y de ácido sulfúrico de concentración $\text{pH} < 2$ se encuentran en pomas plásticas y por medio de la bomba peristáltica respectiva son absorbidos.

La planta en su totalidad fue construida por la empresa metal-mecánica METALMEC²⁰.

En el anexo A se muestran fotos de la planta piloto.

3.1.8. ESQUEMATICO DE LA PLANTA.

En la figura 3.15 se puede observar la forma en que están distribuidos los equipos de la planta piloto.

²⁰ Es una compañía que se dedica a la fabricación de infraestructura metal metálica, está ubicada en 40 y la L, Gerente: Ing. Randol Maldonado.

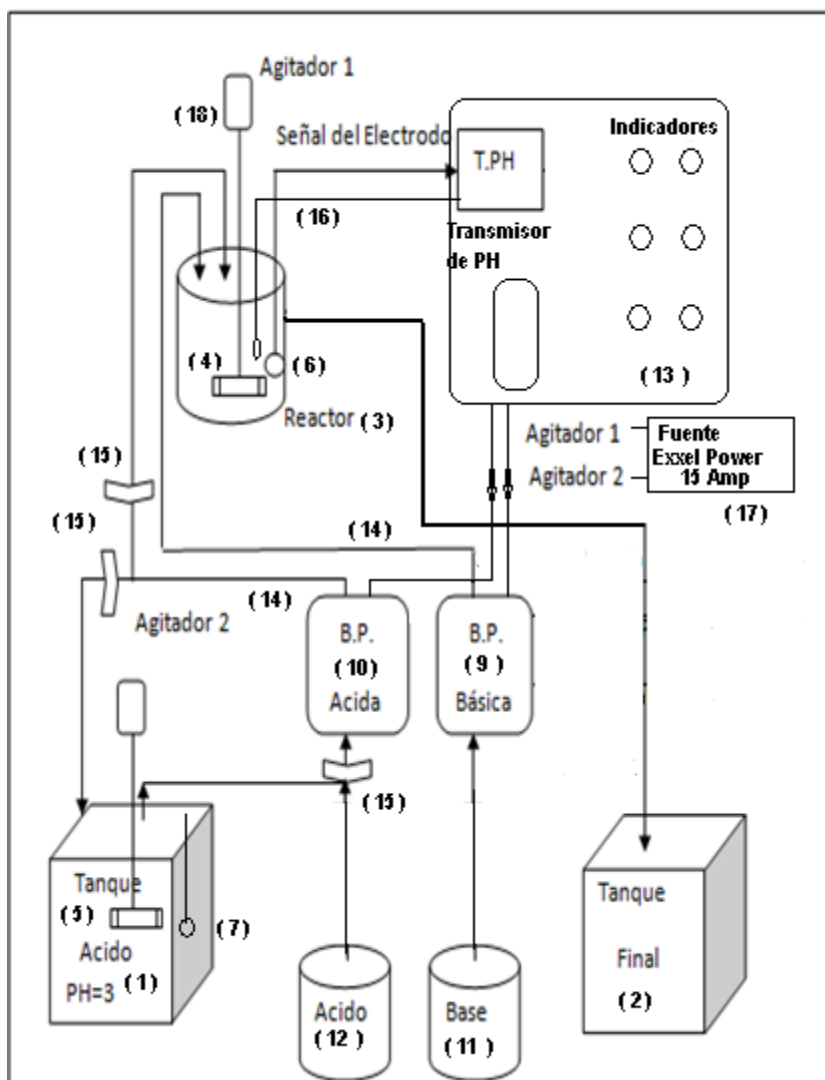


Figura 3.15 Esquemático del panel de control.

3.1.9. LISTA DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA PLANTA.

- (1) Reservorio Inicial.
- (2) Reservorio Final.
- (3) Reactor.
- (4) Agitador de Reactor.

- (5) Agitador de tanque A.
- (6) Electrodo de pH del reactor.
- (7) Electrodo de pH del tanque A.
- (8) Transductor de PH.
- (9) B. Peristáltica Básica B.
- (10) B. Peristáltica Ácida A.
- (11) Recipiente Plástico de la Base.
- (12) Recipiente Plástico del ácido.
- (13) Panel de control de la Planta Piloto.
- (14) Mangueras de paso del ácido y base.
- (15) Válvulas manuales de paso.
- (16) Sensor de Temperatura, Pt 100.
- (17) Fuente de energía para los agitadores de 15 Amp.
- (18) Engranaje de aumento de revoluciones para el
agitador del reactor.

En la figura 3.16 se puede observar la planta en su totalidad construida y con los equipos de medición colocados en sus posiciones exactas, también se puede observar los tanques en acrílico.



Figura 3.16 Planta Totalmente Construida

3.1.10. DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL.

El panel de control ha sido diseñado para poder realizar el control de los equipos que conforman la planta piloto de neutralización, el mismo tiene fusibles de protección para los equipos, así como la fuente de alimentación para el transmisor de la señal de pH, además cuenta con la tarjeta que recibe y

envía las señales de control hacia la tarjeta de adquisición de National Instruments.

3.1.11. ESQUEMATICO DEL PANEL DE CONTROL.

En la figura 3.17 se puede observar la forma en que están distribuidas las protecciones de los equipos de medición y de control, así como la fuente de 24 Vdc que alimenta la tarjeta amplificadora de la señal de pH que viene del sensor de pH del tanque inicial, y el transformador de 24 Vac que alimenta el transmisor de señal que viene desde el reactor, también se observa la posición de la tarjeta receptora y emisora de las señales de los equipos de la planta piloto, así como las borneras de paso.

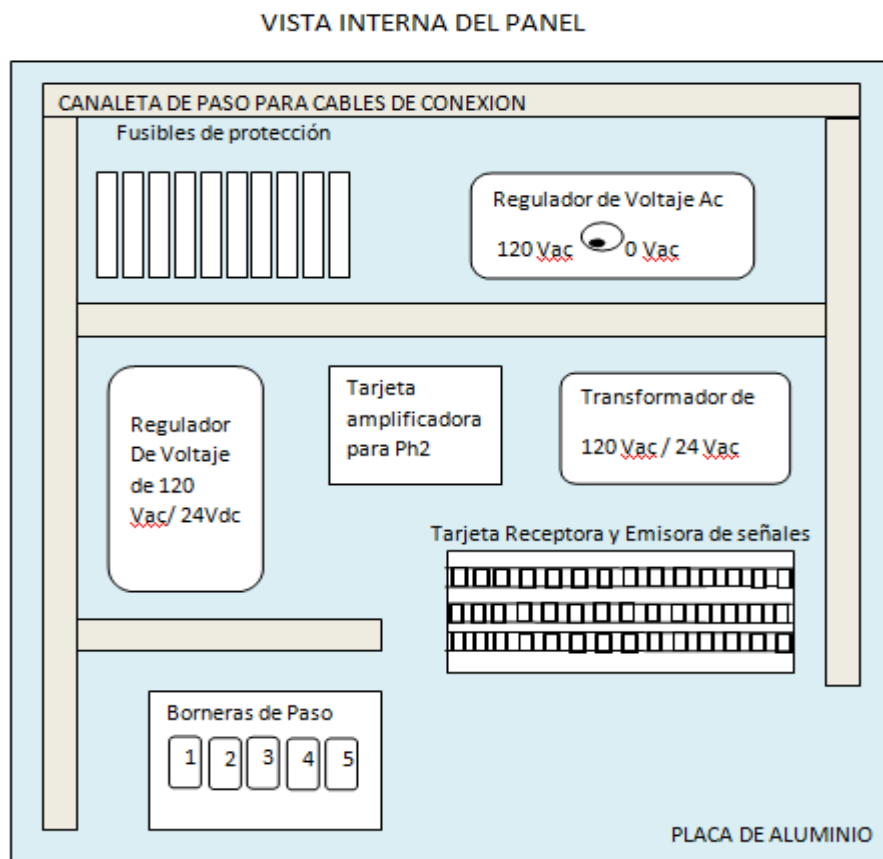


Figura 3.17 Vista interna del panel

En la figura 3.18 se puede visualizar el estado de los indicadores de encendido de los indicadores de pH, de las bombas peristálticas y de los agitadores, también se observa la posición del transductor de pH del reactor.

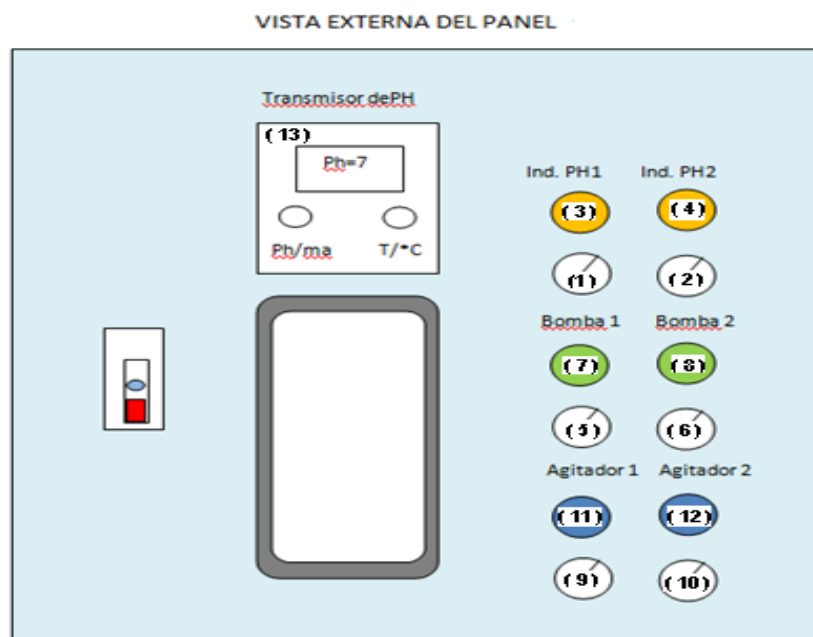


Figura 3.18 Vista externa del panel

3.1.12. LISTA DE MATERIALES DEL PANEL DE CONTROL.

Interior del Panel de Control:

- (1) Fusible para el indicador de PH metro de reactor.
- (2) Fusible para el indicador de PH metro de tanque inicial.
- (3) Fusible para el agitador del reactor.
- (4) Fusible para el agitador del tanque inicial.
- (5) Fusible para la bomba peristáltica básica.
- (6) Fusible para la bomba peristáltica ácida.
- (7) Fusible para el transmisor de señales.

- (8) Fusible para la fuente de 5 V dc.
- (9) Tarjeta emisora y receptora de señales de control.
- (10) Transformador de 24 Vac para el transmisor de señales.
- (11) Cable N° 12 AWG flexible para cablear.
- (12) Borneras.

Exterior del Panel de Control:

- (1) Switch del PH-metro 1.
- (2) Switch del PH-metro 2.
- (3) Indicador del PH-metro 1.
- (4) Indicador del PH-metro 2.
- (5) Switch para bomba peristáltica básica.
- (6) Switch para bomba peristáltica acida.
- (7) Indicador para bomba peristáltica acida.
- (8) Indicador para bomba peristáltica básica.
- (9) Switch para agitador del reactor.
- (10) Switch para agitador del tanque inicial.
- (11) Indicador para agitador del reactor.
- (12) Indicador para agitador del tanque inicial.
- (13) Transmisor de la Señal de PH.

En la figura 3.19 se puede ver la parte interna del panel de control.



Figura 3.19 Vista Interior del panel de control

En la figura 3.20 se observa la puerta del panel de control en su parte interna.

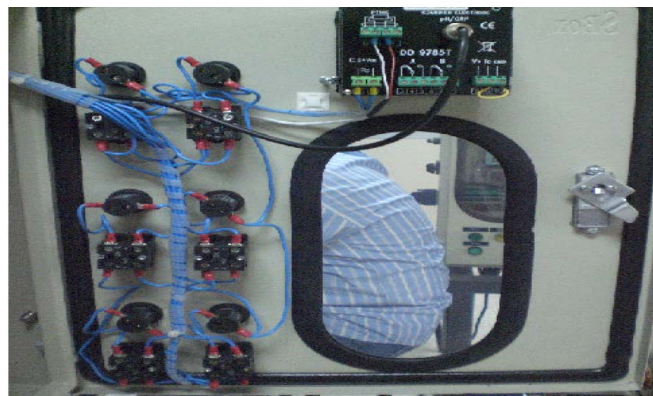


Figura 3.20 Parte interna del panel de control

En la figura 3.21 se observa la parte externa del panel de control.



Figura 3.21 Parte externa del panel de control

En el Anexo F se puede observar el plano eléctrico del panel de control de la planta piloto de neutralización.

3.1.13. PRUEBA DE LA PLANTA.

El punto de operación que se ha seleccionado para trabajar es cuando el $\text{pH}=7$.

Además se recuerda que la bomba peristáltica que dosifica la sustancia acida nunca se la ubica en el 100% sino siempre en menor porcentaje para poder más tarde realizar una perturbación en el sistema aumentando el caudal de sustancia acida.

Comprobación experimental de los caudales de neutralización de la planta.

La planta piloto lo que va a neutralizar es una sustancia que esta normalmente diluida entre un pH aproximado entre 3 y 5 y va a ser neutralizada con una base que tiene una mayor concentración con un pH entre 8 y 9.

Con este objetivo la bomba peristáltica para dosificar la sustancia acida diluida debería podérsela ajustar a un caudal aproximado de 208,3 ml/min.

Debido a que el caudal de la bomba peristáltica es un poco menor a 165 ml/min entonces no se podrá neutralizar en 2 horas los 25 litros sino que se neutralizará una cantidad menor.

Se realizó una prueba bajo condiciones de prueba y error donde se utilizaron los caudales encontrados en las pruebas químicas tanto para el ácido como para la base con sus respectivos pH que llegan a alcanzar la neutralización y los datos obtenidos en las pruebas químicas fueron:

Q acido= 68% caudal total de la bomba peristáltica del ácido.

pH acido= 2.87

Q base= 20% caudal total de la bomba peristáltica del Hidróxido de sodio.

pH base= 9.6

En primer lugar es importante recordar que lo que adquiere el programa de Matlab-Simulink del puerto de medición de pH de la tarjeta de adquisición esta dado en una señal de corriente.

Para poder obtener los datos de medición de pH durante el proceso de la mezcla de las dos sustancias se realizó un programa en Matlab-Simulink figura 3.22. Se utilizó una herramienta llamada “Lookup Table” en que la señal de entrada es la corriente que emite el pH-metro y la herramienta del Matlab la convierte en pH. Esto es posible debido a que previamente se han almacenado los valores tomados experimentalmente Figura 3.23, en la herramienta “ Lookup Table “, la herramienta genera los valores de pH mediante interpolación o extrapolación.

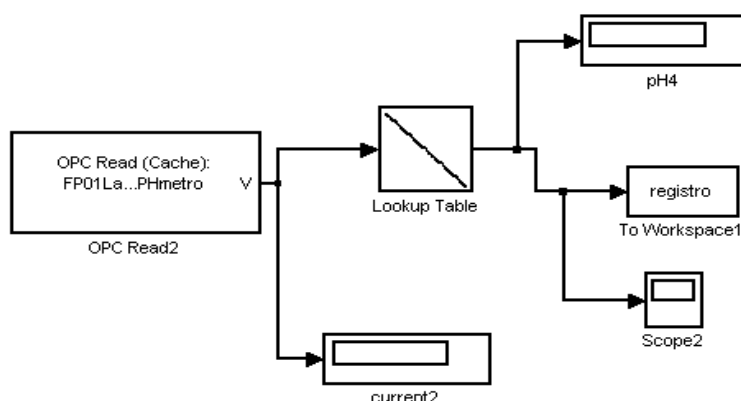


Figura 3.22 Programa de Matlab- Simulink

En la figura 3.26 se puede observar el diseño de la tabla, abarcando desde el pH=10,06 hasta pH= 2.93.

(1)	0.007815	10.06	(47)	0.0115	6.91
(2)	0.00785	10.07	(48)	0.01152	6.89
(3)	0.00789	10.04	(49)	0.01156	6.87
(4)	0.007995	9.96	(50)	0.01161	6.83
(5)	0.008	9.87	(51)	0.01162	6.85
(6)	0.008055	9.9	(52)	0.01166	6.74
(7)	0.008171	9.8	(53)	0.01188	6.6
(8)	0.008291	9.7	(54)	0.01202	6.5
(9)	0.008386	9.6	(55)	0.0121	6.4
(10)	0.008486	9.5	(56)	0.01222	6.3
(11)	0.008531	9.47	(57)	0.01228	6.2
(12)	0.008621	9.38	(58)	0.01252	6.1
(13)	0.008721	9.31	(59)	0.01253	6.03
(14)	0.008822	9.2	(60)	0.01261	5.99
(15)	0.008862	9.14	(61)	0.01267	5.92
(16)	0.008942	9.1	(62)	0.01269	5.86
(17)	0.009032	9.06	(63)	0.01281	5.79
(18)	0.009057	8.98	(64)	0.01282	5.81
(19)	0.009172	8.94	(65)	0.01283	5.74
(20)	0.009247	8.86	(66)	0.01294	5.65
(21)	0.009257	8.81	(67)	0.01305	5.58
(22)	0.009372	8.78	(68)	0.01306	5.51
(23)	0.009377	8.74	(69)	0.01325	5.4
(24)	0.009442	8.64	(70)	0.01341	5.21
(25)	0.009532	8.61	(71)	0.01345	5.29
(26)	0.009717	8.4	(72)	0.01361	5.09
(27)	0.009848	8.36	(73)	0.01369	5.01
(28)	0.009968	8.23	(74)	0.01384	4.94
(29)	0.0101	8.18	(75)	0.01439	4.42
(30)	0.01016	8.09	(76)	0.01458	4.27
(31)	0.01022	7.93	(77)	0.0146	4.25
(32)	0.01048	7.81	(78)	0.01474	4.07
(33)	0.01062	7.7	(79)	0.0148	4.1
(34)	0.01064	7.63	(80)	0.01488	4.03
(35)	0.01076	7.51	(81)	0.01506	3.85
(36)	0.01079	7.54	(82)	0.0152	3.68
(37)	0.01084	7.49	(83)	0.01542	3.53
(38)	0.01094	7.37	(84)	0.01559	3.4
(39)	0.01106	7.29	(85)	0.01572	3.31
(40)	0.01114	7.22	(86)	0.01578	3.22
(41)	0.0112	7.14	(87)	0.01582	3.2
(42)	0.01128	7.09	(88)	0.01589	3.12
(43)	0.01133	7.04	(89)	0.01591	3.17
(44)	0.01138	7.01	(90)	0.01598	3.02
(45)	0.01143	6.98	(91)	0.016	3.04
(46)	0.01147	6.95	(92)	0.01609	2.96
			(93)	0.01612	2.93

Figura 3.23 Diseño de la tabla de rangos de pH

La prueba se realizó con dos litros de ácido a un $\text{pH}=2.87$ y un caudal del 68% y se le suministró la base con un $\text{pH}=9.58$ a un caudal del 20%, después de 1 hora y 11 minutos se obtuvo el $\text{pH}=7$.

Para arrancar la prueba en primer lugar se coloca los caudales respectivos de ácido y base que dosificarán las bombas peristálticas, después se envía la señal de arranque de las bombas peristálticas y durante 20 minutos se dejó llenar el reactor, cuando el nivel en el reactor llegó a tocar la paleta del agitador se procedió a encender el agitador del reactor para tener un mejor mezclado de las dos sustancias que estaban ingresando, al transcurrir los 20 minutos se procedió a apagar las bombas peristálticas dejando solo encendido por aproximadamente una hora más para poder llegar a obtener el $\text{pH}=7$.

Finalmente se tiene que el valor de pH deseado se obtiene en 1 hora y 11 minutos, y en la tabla 3.2 se pueden ver los valores de pH tomados a lo largo del tiempo de mezclado.

Hora	Valor de pH
17h53	4.26
17h54	5.46
17h55	5.48
17h57	5.53
18h31	6.51
18h39	6.63
18h50	6.81
18h53	6.86
18h55	6.89
18h57	6.91
18h58	6.93
19h01	6.96
19h04	7.00

Tabla 3.2 Valores de pH

3.1.14. DISEÑO DEL ELEMENTO MOTRIZ DEL AGITADOR DEL REACTOR.

Selección del Elemento Motriz

Se eligió utilizar un motor dc que tiene una velocidad de 80 rpm, sin embargo esta velocidad no es la adecuada para poder realizar la mezcla en el agitador, la velocidad sugerida

es de 180 rpm con esto se logra una mezcla más rápida entre el ácido y la base.

Por esta razón se ha implementado el aumento de las rpm por medio de un sistema de transmisión de poleas y correas.

Construcción del Sistema de Poleas

Los sistemas de transmisión de poleas y correas se emplean para transmitir la potencia mecánica proporcionada por el eje del motor entre dos ejes separados entre sí por una cierta distancia.

La transmisión del movimiento por correas se debe al rozamiento de éstas sobre las poleas, de manera que ello sólo será posible cuando el movimiento rotórico y de torsión que se ha de transmitir entre ejes sea inferior a la fuerza de rozamiento.

El valor del rozamiento depende, sobre todo, de la tensión de la correa y de la resistencia de ésta a la tracción; es decir, del tipo de material con el que está construida (cuero, fibras, hilos metálicos recubiertos de goma, etc.) y de sus dimensiones.

Las poleas son ruedas con una o varias hendiduras en la llanta, sobre las cuales se apoyan las correas.

Las correas son cintas cerradas de cuero y otros materiales que se emplean para transmitir movimiento de rotación entre dos ejes generalmente paralelos. Pueden ser de forma plana, redonda, trapezoidal o dentada.

Este sistema se emplea cuando no se quiere transmitir grandes potencias de un eje a otro. Su principal inconveniente se debe a que el resbalamiento de la correa sobre la polea produce pérdidas considerables de potencia; sobre todo en el arranque. Para evitar esto parcialmente se puede utilizar una correa dentada, que aumenta la sujeción.

Para evitar que las correas se salgan de las poleas, será necesario que las primeras se mantengan lo suficientemente tensas como para que sean capaces de transmitir la máxima potencia entre ejes sin llegar a salirse ni romperse. Para evitar este problema se emplean a veces rodillos tensores, los cuales ejercen sobre las correas la presión necesaria para mantenerlas en tensión.

En todo mecanismo de transmisión existen como mínimo dos ejes, llamados eje motriz y eje conducido o arrastrado. El eje motriz es el que genera el movimiento y puede estar acoplado a un motor o ser accionado manualmente por medio de una

manivela. El eje conducido es el que recibe el movimiento generado por el eje motriz.

En la figura 3.24 se pueden observar los elementos básicos de una transmisión de poleas y correa.

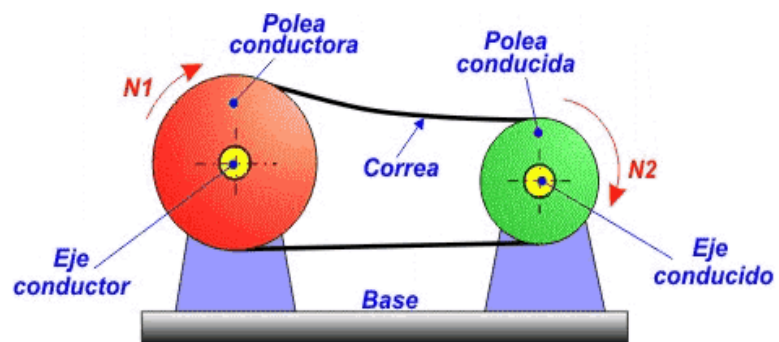


Figura 3.24 Elementos básicos de transmisión de poleas

Relación de velocidades

La transmisión de movimientos entre dos ejes mediante poleas está en función de los diámetros de estas, cumpliéndose en todo momento las relaciones matemáticas expuestas en las ecuaciones 3.10 y 3.11.

En la gráfica 3.25 se observa los elementos de una transmisión de poleas y banda.

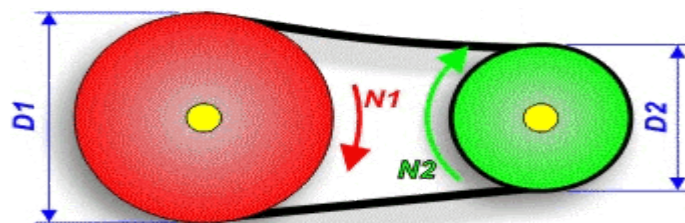


Figura 3.25 Elementos de una transmisión de poleas

$$N1 \times D1 = N2 \times D2$$

Ecuación 3.8

$$N2 = N1 \times (D1/D2)$$

Ecuación 3.9

Donde:

D1: Diámetro de la polea conductora.

D2: Diámetro de la polea conducida.

N1: Velocidad de giro de la Polea Conductora.

N2: Velocidad de giro de la Polea Conducida.

Definiendo la relación de velocidades (i) como:

$$i = \frac{\text{Velocidad eje conductor}}{\text{Velocidad eje conducido}} = \frac{\text{Diámetro polea conducida}}{\text{Diámetro polea conductora}}$$

Ecuación 3.10

$$i = \frac{N1}{N2} = \frac{D2}{D1}$$

Ecuación 3.11

Aumento de Velocidad

Si la Polea conductora tiene mayor diámetro que la conducida, la velocidad de giro aumenta y se cumple la relación q se muestra en figura 3.26.

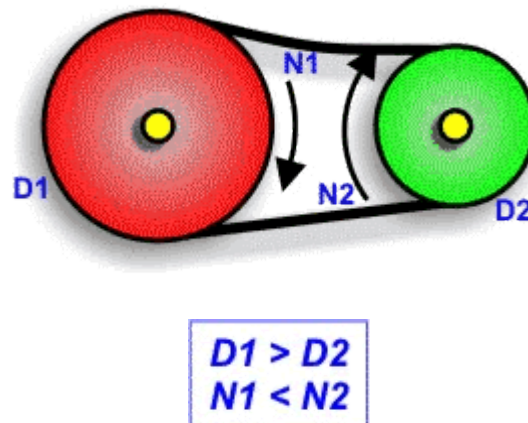


Figura 3.26 Relación entre las poleas

En la planta piloto se tiene que el diámetro $D1 = 3$ cm y la velocidad $N1 = 80$ rpm también se conoce que la velocidad a la que queremos llegar es de 180 rpm por lo que aplicando la ecuación 3.11 se encuentra que el diámetro $D2$ es de 1.33 cm.

Existen también las llamadas poleas tensoras y constan de un cilindro u otra polea de correa y su objetivo es de aumentar la tensión en la banda para que esté adecuadamente fija en las dos poleas anteriormente calculadas. Puede deslizarse sobre una guía a la que se sujeta mediante un tornillo que también hace de eje.

En la figura 3.27 se puede observar a la polea tensora que interviene en el sistema de poleas y correa para darle más firmeza al sistema.

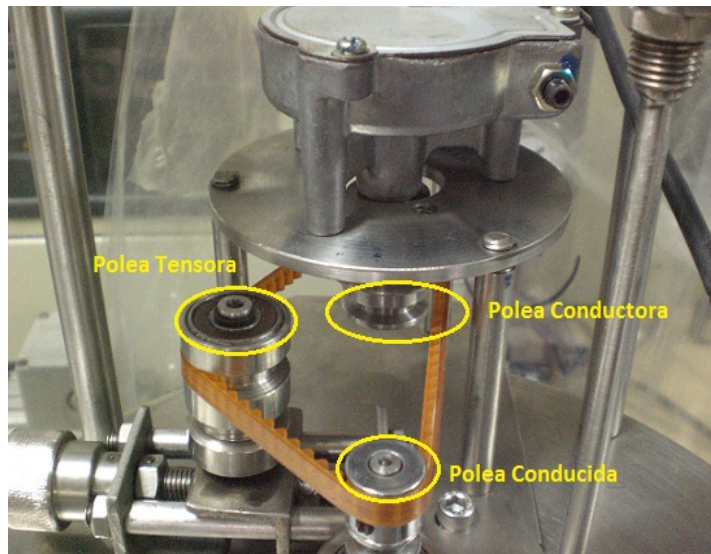


Figura 3.27 Sistemas de Poleas para aumento de velocidad

También se puede observar el montaje de la polea conductora, la polea conducida y la banda que producen el efecto multiplicador de la velocidad inicial del motor.

3.1.15. CALIBRACION DE LAS BOMBAS PERISTALTICAS.

Antes de empezar a trabajar en la planta piloto es importante que la bomba peristáltica esté debidamente calibrada y para ello se siguen los siguientes pasos:

- 1) Instalar completamente el sistema con un recipiente de 150 c/c graduado en la aspiración.
- 2) Luego se ceba el sistema de la bomba peristáltica con el botón de cebado que se encuentra en la parte lateral de la bomba.

- 3) Manteniendo presionada la tecla CAL por lo menos 5 segundos se accede a la función de calibración y en el display se visualiza.

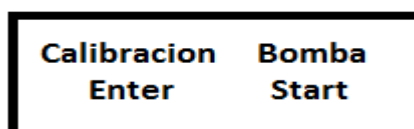


Figura 3.28 Menú de calibración

- 4) Pulsando la tecla ENTER se pone en marcha el motor al 100% y en el display se ve en conteo gradual de los segundos de dosificación.

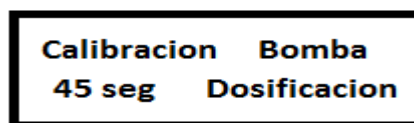


Figura 3.29 Conteo de dosificación

- 5) Pulsando de nuevo la tecla ENTER la dosificación se detiene y en el display se visualiza.

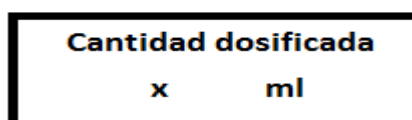


Figura 3.30 Cantidad dosificada

Con las teclas Up y Down se introduce el valor efectivamente dosificado, con la tecla ENTER se confirma y así queda calibrada la bomba peristáltica.

Cuando el sistema ya esté calibrado coloque el filtro de fondo en el depósito del producto.

En el Anexo B se encontrará toda la información sobre el manejo y mantenimiento de la bomba peristáltica.

PROCESO DE CEBADO DE LA BOMBA PERISTALTICA

Previo a comenzar el proceso de cebado se coloca la manguera de succión en el respectivo tanque que contiene la sustancia a ser suministrada.

El proceso de cebado de la bomba peristáltica, consiste en operarla oprimiendo el botón que tiene por nombre Prime, este botón se encuentra en la parte lateral inferior derecha de la bomba peristáltica, y hace funcionar la bomba peristáltica al 100% de la velocidad llenando los conductos respectivos completamente.

3.1.16. CALIBRACION DEL PH METRO DEL REACTOR

Considerando que nuestro experimento trabaja con soluciones que tienen un pH de 3 a 10, se siguen los siguientes pasos para calibrarlo:

Hay que recordar que el transmisor de pH tiene conectado el electrodo de pH y el sensor de temperatura, una PT 100²¹, así que la medición de pH se la obtiene con regulación de temperatura

- 1) Sumergir el electrodo en 20 ml de solución estándar con pH=3
- 2) En el transmisor de pH accionar el botón CAL y el botón pH/mV consecutivamente, en la parte superior del display se puede verificar el símbolo de CAL.
- 3) Luego con los botones de subir y bajar ajustar el valor de pH medido en función de la temperatura del líquido.
- 4) Accionar CAL para confirmar este valor. El símbolo CAL desaparece, este valor ya ha sido compensado internamente con el valor de la temperatura de la sustancia.

Se repiten los pasos para la solución estándar con pH= 10.

²¹ Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

Nota: Si se desea salir sin memorizar la nueva calibración apretar el botón °C/°F

En el Anexo C se encontrará toda la información sobre el manejo y mantenimiento del pH-metro.

CAPITULO IV

4. EXPLICACION DEL PROCESO Y DETERMINACION DEL MODELO MATEMATICO.

El proceso desarrollado, como se ha venido exponiendo, consiste en la construcción de una maquina que permita la experimentación de la neutralización de sustancias acidas.

Se ha investigado en el mercado de Europa el valor de una máquina con características similares a la que se ha construido y el precio es de aproximadamente 60.000 euros, precio que nos hizo emprender el desarrollo y construcción de una. En el mercado internacional existen plantas de neutralización fabricadas para el sector industrial como es el caso de la planta Lab_treat_LT05 que es distribuida por la compañía Digital Analysis Corp radicada en New York- EEUU²².

La planta es para el entrenamiento e investigación de los diferentes algoritmos de control que se pueden implementar, así como para optimizar las sustancias que se van a utilizar. De esta manera se prueba que el

²² Ha estado fabricando sistemas de neutralización de pH por más de 15 años. Somos fabricantes de sistemas de ajuste de pH que varían en tamaño desde 1 GPM a 1000 GPM. Todos sus sistemas de Regulación del pH son totalmente automatizados, montados en patín y totalmente fabricados en las instalaciones

<http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://www.pHadjustment.com/>

proceso puede ser implementado y demostrar que este tipo de proyecto si se pueden construir en el mercado ecuatoriano y con poca inversión.

Por otro lado las Leyes del Inen (28) de control industrial están realizando un control más progresivo y en un futuro cercano las industrias deberán aplicar estas leyes a sus industrias.

Describiremos el proceso operativo de la planta que consiste en neutralizar en forma continua una sustancia acida aplicando técnicas de control para que el resultado se mantenga dentro de las especificaciones de calidad de la sustancia neutralizada. La selección y ajuste del controlador del proceso de neutralización será posible si disponemos de un modelo matemático del sistema, para lo cual presentaremos las funciones descriptivas de cada parte de nuestra planta.

4.1. FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA.

Tanto los pH-metros como las bombas peristálticas se encuentran perfectamente calibradas, también existe una buena comunicación entre la planta piloto y el software de adquisición de datos. Los componentes químicos como son el ácido y la base que se encuentran en cantidades suficientes, el acido puede tener un pH entre 3 y 5, la base puede tener un pH entre 8 y 9.

Para poner en operación la planta es necesario 1 proceso de inicialización y se trata de calibrar las bombas peristálticas tal como se muestra en la sección 3.4, y de calibrar el pH metro como se muestra en la sección 3.5 , además se debe de aplicar el cebado de la bomba peristáltica como se lo explica en la sección 3.4.

El proceso de inicialización es un proceso que hay que realizarlo cada vez que se vaya a utilizar la planta. En nuestro caso la bomba peristáltica N° 1 su primer cebado se realiza con el ácido concentrado en el proceso de preparación del tanque N° 1 con una sustancia ácida diluida con un pH entre 3 y 5.

Luego en el proceso de operación continua, esta bomba peristáltica será nuevamente cebada pero esta vez con la sustancia ácida diluida y la bomba peristáltica N° 2 también debe de ser cebada con la sustancia base concentrada.

4.1.1. DESCRIPCION DEL PROCESO.

La planta tiene un recipiente que tiene una capacidad de 35 litros, se lo ha denominado tanque inicial y en el se coloca la sustancia ácida con la que se va a realizar el experimento.

La preparación de esta sustancia ácida se la realiza en forma manual, inicialmente se llena de agua el tanque inicial con una

cantidad de 25 litros, al mismo se le agrega un ácido concentrado dosificándolo con la bomba N°1 y controlando el pH con el pH metro N°2, durante esta fase el agitador N°2 se mantiene en continua operación, una vez alcanzado el pH deseado, el contenido de este tanque estará listo para iniciar el proceso de neutralización en forma continua.

Pasos para obtener la sustancia acida en el Tanque inicial.

- 1) Se colocan 25 litros de agua.
- 2) Alimentar el ácido a un caudal del 15% (ml/min) por un tiempo menor en un 10% al estimado para suministrar los 200 ml de ácido concentrado.
- 3) Comprobar el pH del tanque 1 una vez que se ha estabilizado la lectura.
- 4) El valor de pH final deseado para el tanque 1 se lo realizará en forma intermitente comprobando en cada paso el valor estable obtenido hasta lograr nuestro objetivo.

Una vez obtenido nuestra meta final, se procede a neutralizar el ácido creado en la fase anterior, y esta nueva fase del experimento se realiza en proceso continuo en la planta piloto y se sigue los siguientes pasos:

- 1) Se realiza el proceso de inicialización como se ha explicado en la parte inicial del capítulo.
- 2) Se programa las bombas peristálticas en los diferentes caudales de dosificación.
- 3) Se arrancan las bombas peristálticas.
- 4) Se arranca el agitador del reactor.
- 5) Se empieza a llenar el reactor a través de las bombas peristálticas y el proceso dura 2 horas aproximadamente. Mientras se realiza la mezcla entre las dos sustancias, la ácida y la básica el pH metro comienza a tomar las lecturas de pH las mismas que son adquiridas por el software Matlab- Simulink a través de la tarjeta de adquisición.
- 6) Después de tener todo el ácido neutralizado se detiene el proceso.
- 7) El agua neutralizada se la puede utilizar en tareas de limpieza.

4.1.2. ESQUEMATICO DE LA PLANTA

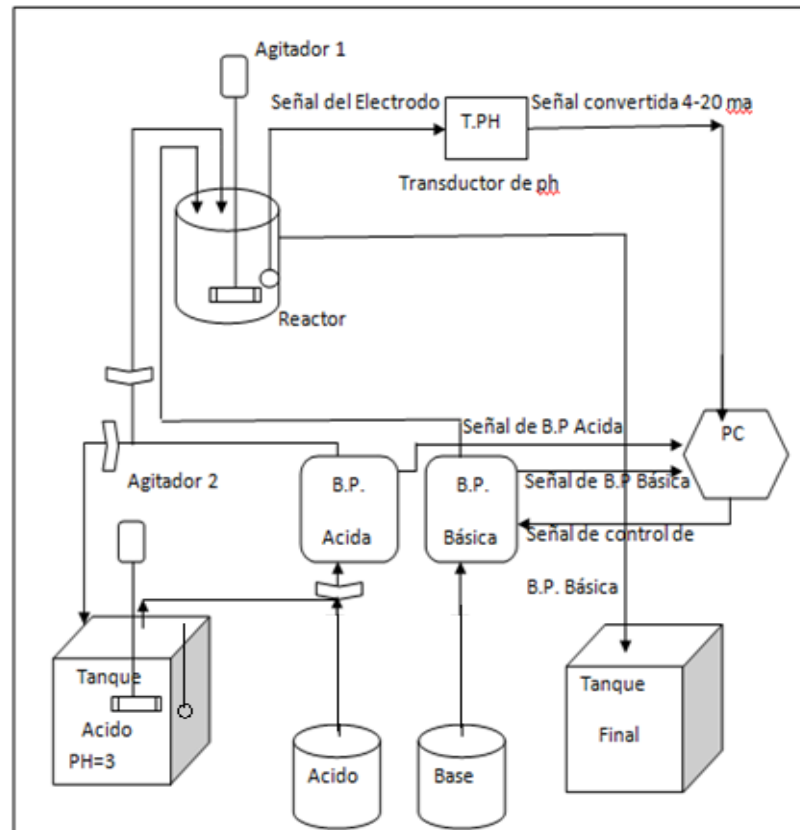


Figura 4.1 Esquemático de la planta

4.2. DETERMINACION DEL MODELO MATEMATICO DE LA PLANTA.

Se han realizado diferentes pruebas a todos los equipos que se encuentran instalados en la planta piloto, a su vez todos esos datos han sido guardados en archivos para poder después hacer un

análisis matemático y encontrar las respectivas funciones de transferencias.

4.2.1. MODELO MATEMATICO DE LA CONCENTRACION EN FUNCION DEL PH.

Es de conocimiento general saber que los procesos industriales tienen un comportamiento altamente no lineal, y en el caso del comportamiento del pH en un reactor es aún mayor la no linealidad, por esta razón se resuelve linealizar la ecuación de concentración en función de pH que ha quedado establecida en el capítulo 2 entre los puntos de pH=2 y pH=12 que es donde se observa un comportamiento más lineal.

Se debe recordar que la ecuación 2.17 se la obtiene en base al equilibrio iónico y su desarrollo se muestra en la ecuación 2.15.

$$y = 10^{-ph} - 10^{ph-14}$$

Hay que linealizar la ecuación 2.17 y para hacerlo se sigue el siguiente procedimiento:

$$y = g(x)$$

$$y = g(x_0) + \frac{x - x_0}{1!} * \left. \frac{dg}{dx} \right|_{x_0} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

El punto de operación es pH=7 $\rightarrow x_0 = 7$

$$y = y_0 + \frac{(x - x_0)}{1} * \left. \frac{dg}{dx} \right|_{x_0} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$\left. \frac{dg}{dx} \right|_{x_0} = m$$

Ahora se va a derivar la ecuación 2.17 con respecto a pH.

Se aplica la siguiente derivada.

$$f(x) = a^f$$

$$f'(x) = f' a^f \ln a \rightarrow \text{Ecuación 4.3}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx}(10^{-x}) - \frac{d}{dx}(10^{(x-14)})$$

$$\frac{dy}{dx} = (-1) * (10^{-x}) \ln 10 - 10^{x-14} \ln 10$$

$$\frac{dy}{dx} = \ln 10 (-10^{-x} - 10^{x-14})$$

$$\frac{dy}{dx} = 2.30 (-10^{-x} - 10^{x-14}) \rightarrow \text{Ecuación 4.4}$$

Reemplazando el punto de operación $x_0 = 7$ en la ecuación 4.4 tenemos:

$$\frac{dy}{dx} = 2.30(-10^{-7} - 10^{7-14})$$

$$\frac{dy}{dx} = 2.30(-10^{-7} - 10^{-7})$$

$$\frac{dy}{dx} = 2.30(-2 * 10^{-7})$$

$$\frac{dy}{dx} = 4.30 * 10^{-7} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Evaluando el punto de operación $y_0 = 0$ y $x_0 = 7$ y la ecuación 4.5 en la ecuación 4.2 tenemos.

$$y - y_0 = (x - x_0) * m$$

$$y = x * m - 7 * m$$

$$m = \frac{dx}{dy} = 4.30 * 10^{-7}$$

$$y = -4.3 * 10^{-7} * x + 30.1 * 10^{-7} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Reemplazando $x = \text{pH}$ en la ecuación 4.6 se tiene:

$$y = -4.3 * 10^{-7} * \text{pH} + 30.1 * 10^{-7} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

A continuación se muestra en la figura 4.2 la gráfica de la ecuación 4.7 con valores de pH entre 5 y 9.

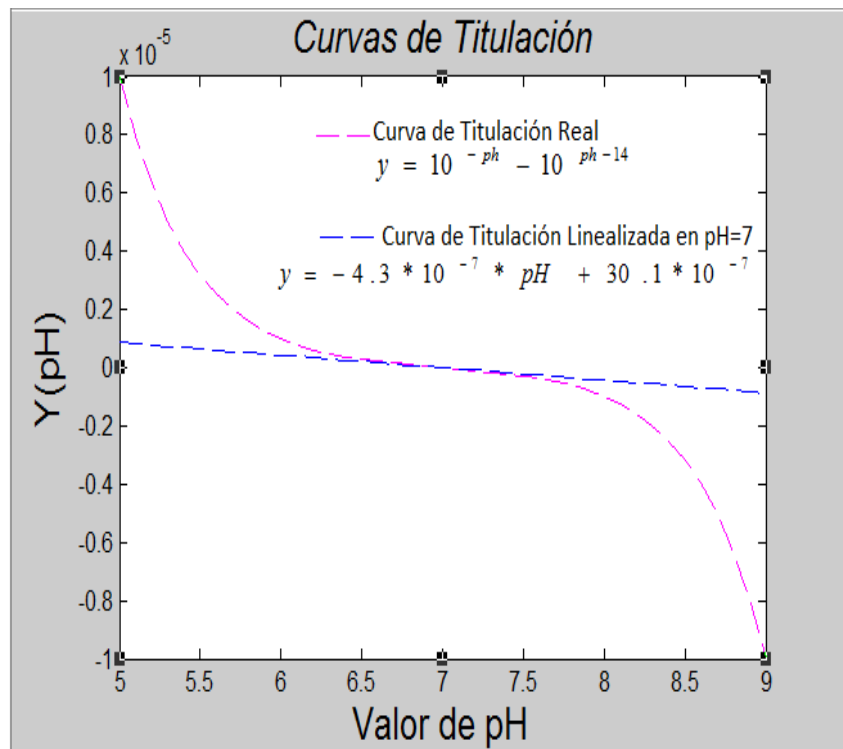


Figura 4.2 Curvas de Titulación real y linealizada

En el Anexo G se presenta el programa que se realizó en Matlab para poder graficar la ecuación 4.7.

4.2.2. MODELO MATEMATICO DEL REACTOR.

Se conoce que al reactor llegan dos sustancias que son el ácido y la base como se observa en la figura 4.3 y se puede expresar la mezcla de estos dos líquidos en la ecuación 4.4.

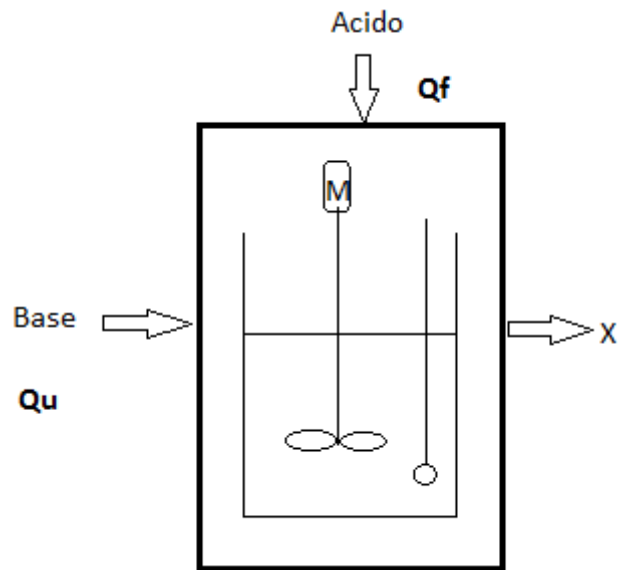


Figura 4.3 Sustancias que ingresan al reactor.

La nomenclatura utilizada es la siguiente:

V_r = Volumen del reactor. (ltrs)

Q_u = Velocidad de entrada de la base al reactor. (ml/min)

Q_f = Velocidad de entrada del acido al reactor, constante.

(ml/min)

X = Concentración final en el reactor. (moles/ltrs)

$\frac{dX}{dt}$ = Derivada de la concentración final con respecto al tiempo. (moles/ltrs.seg)

$\frac{dX_k}{dt}$ = Derivada de la concentración inicial en el reactor con al respecto al tiempo. (moles/ltrs.seg)

X_{kf} = Concentración del ácido. (moles/ltrs)

X_{ku} = Concentración de la base. (moles/ltrs)

X_k = Concentración inicial en el reactor. (moles/ltrs)

El Modelo dinámico del reactor ha sido obtenido a base del equilibrio de electro neutralidad (29) y la ecuación viene dada de la siguiente manera:

$$V_r \left(\frac{dX_k}{dt} \right) = Q_f * X_{kf} + Q_u * X_{ku} - (Q_f + Q_u) X_k \quad \textbf{Ecuación 4.8}$$

Conociendo que la concentración final es:

$$X = \frac{X_{kf} - X_k}{X_{kf} - X_{ku}} \quad \textbf{Ecuación 4.9}$$

Ahora se procede a despejar de la ecuación 4.9 la variable X_k

$$X_k = X_{kf} - (X(X_{kf} - X_{ku})) \quad \textbf{Ecuación 4.10}$$

A continuación se reemplaza la ecuación 4.10 en la ecuación 4.8

$$V_r \left(\frac{dX_k}{dt} \right) = Q_f * X_{kf} + Q_u * X_{ku} - (Q_f + Q_u) * (X_{kf} - X * (X_{kf} - X_{ku}))$$

$$V_r \left(\frac{dX_k}{dt} \right) = Q_f * X_{kf} + Q_u * X_{ku} - Q_f * X_{kf} + X * (X_{kf} - X_{ku}) * Q_f + \\ Q_u * X_{kf} + Q_u * X * (X_{kf} - X_{ku})$$

$$V_r \left(\frac{dX_k}{dt} \right) = Q_u * (X_{ku} - X_{kf}) - X * (X_{ku} - X_{kf}) * (Q_f + Q_u)$$

$$V_r \left(\frac{dX_k}{dt} \right) = (X_{ku} - X_{kf})(Q_u - (Q_f + Q_u) * X) \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Ahora se encuentra la derivada de la ecuación 4.10:

$$\left(\frac{dX_k}{dt} \right) = \frac{d}{dt} (X_{kf} - (X_{kf} - X_{ku}) * X)$$

$$\left(\frac{dX_k}{dt} \right) = \frac{dX_{kf}}{dt} - \frac{d(X_{kf} - X_{ku}) * X}{dt}$$

$$\left(\frac{dX_k}{dt} \right) = \frac{dX_{kf}}{dt} - (X_{kf} - X_{ku}) \frac{dX}{dt} - X \frac{d(X_{kf} - X_{ku})}{dt}$$

$$\left(\frac{dX_k}{dt} \right) = \frac{dX_{kf}}{dt} - (X_{kf} - X_{ku}) \frac{dX}{dt} - X \frac{dX_{kf}}{dt} + X \frac{dX_{ku}}{dt}$$

$$\left(\frac{dX_k}{dt} \right) = \frac{dX_{kf}}{dt} (1 - X) - (X_{kf} - X_{ku}) \frac{dX}{dt} + X \frac{dX_{ku}}{dt}$$

Se evalua en el punto de operacion $y(0) = 0$

$$\frac{dX_{kf}}{dt} (1 - X) = 0$$

$$X \frac{dX_{ku}}{dt} = 0$$

Entonces

$$\left(\frac{dX_k}{dt} \right) = (X_{ku} - X_{kf}) \frac{dX}{dt} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Reemplazo la ecuación 4.12 en la ecuación 4.11 y se tiene:

$$V_r * (X_{ku} - X_{kf}) \frac{dx}{dt} = (X_{ku} - X_{kf}) (Q_u - (Q_f + Q_u) * X)$$

$$V_r \frac{dX}{dt} = Q_u - (Q_f + Q_u) * X$$

Finalmente:

$$V_r \frac{dX}{dt} = Q_u - (Q_f + Q_u) * X \quad \textbf{Ecuación 4.13}$$

Considerando que $Q_f \gg Q_u$ en el término de la sumatoria de la ecuación 4.13 es poco importante la Q_u por lo que se tiene la ecuación del reactor de la manera que lo muestra la ecuación 4.11.

$$V_r \frac{dX}{dt} = Q_u - Q_f * X$$

Ecuación 4.14

Para encontrar la función de transferencia del reactor se lleva la ecuación 4.14 al plano S mediante la transformada de l'Place de la siguiente manera.

En el dominio del tiempo: $V_r \frac{dX}{dt} = Q_u - Q_f * X$

Trabajando en el plano S

$$s * V_r * X = Q_u - Q_f * X$$

$$s * V_r * X + Q_f * X = Q_u$$

$$X(s * V_r + Q_f) = Q_u$$

$$G(s) = \frac{X(s)}{Q_u(s)} = \frac{1/Q_f}{s \left(\frac{V_r}{Q_f} \right) + \frac{Q_f}{Q_f}}$$

$$G(s) = \frac{X(s)}{Q_u(s)} = \frac{1/Q_f}{s \left(\frac{V_r}{Q_f} \right) + 1}$$

Teniendo como datos:

$$V_r = 5 \text{ litros.}$$

$$\dot{V}_f = 68 \text{ ml/min}$$

Función de Transferencia del Reactor

$$G(s) = \frac{K_r}{1 + \tau \cdot s} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

$$K_r = 0,0147 \text{ mi}$$

$$\tau = 73,529 \text{ min}$$

4.2.3. PRUEBAS Y OBTENCION DEL MODELO MATEMATICO DE LA BOMBA PERISTALTICA.

Lo que se quiere es determinar la velocidad de respuesta de la bomba peristáltica de Hidróxido de Sodio cuando recibe la señal de entrada de corriente, por ejemplo se trabaja iniciando con el 20% que corresponde a enviar una corriente de 7.2 ma y después de un período de 10 segundos se desea incrementar la señal de salida del caudal a un 25% y para hacer esto debería aumentar el suministro de corriente a 8 ma, para nuestro caso se ha asumido un punto de operación tentativo de un 20% del valor total del caudal.

Para poder observar el comportamiento de la bomba se procedió a conectar un multímetro en serie con la señal de corriente que se le envía a la bomba peristáltica. En nuestro caso la video grabadora registra el comportamiento del despliegue visual del multímetro (lectura de corriente en ma) y el despliegue visual de la bomba peristáltica (% de caudal) y se encontró que la bomba peristáltica al recibir la señal de corriente tiene un retardo en la respuesta de 4,14 segundos.

El grafico que muestra este retardo se lo puede ver en la figura

4.4

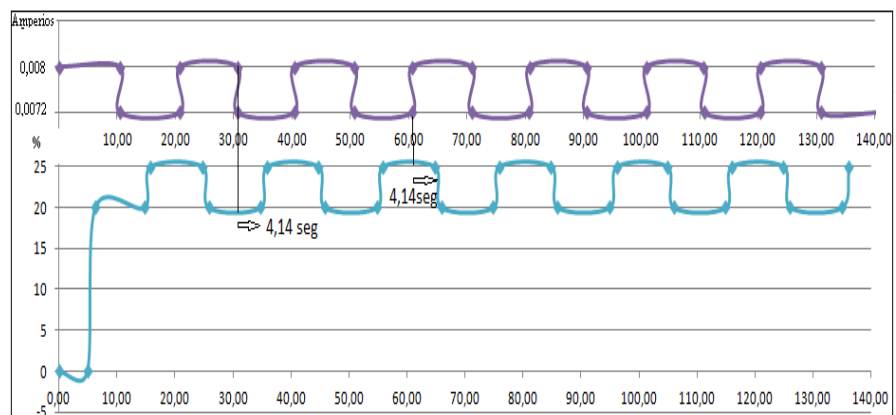


Figura 4.4 Retardo en la respuesta de la bomba peristáltica

Esta grabación en video fue analizada con el programa de computadora Movie Maker²³, el mismo que me permitió ver claramente la escala de tiempo en el video.

En la figura 4.5 se observa la pantalla de grabación, por medio de la cual se puede observar la respuesta de la bomba peristáltica al recibir la onda cuadrada de corriente.



Figura 4.5 Visualización de la señal enviada a la bomba peristáltica

²³ Windows Movie Maker es un programa para crear, editar y compartir tus propios montajes con vídeo, imágenes y sonido.

Es importante decir que antes de empezar la prueba se cebó la bomba peristáltica.

Para enviar las señales de corriente a la bomba peristáltica, se creó en Matlab-Simulink un programa que se muestra en la figura 4.6, y el objetivo es enviar una onda cuadrada que representa la corriente que se le envía a la bomba peristáltica para que cambie de un porcentaje a otro en un intervalo de tiempo, en este caso se trabaja con el 20% del total de flujo de la bomba peristáltica y luego sube a 25% en el flujo total y se repite la señal alterna durante un tiempo.

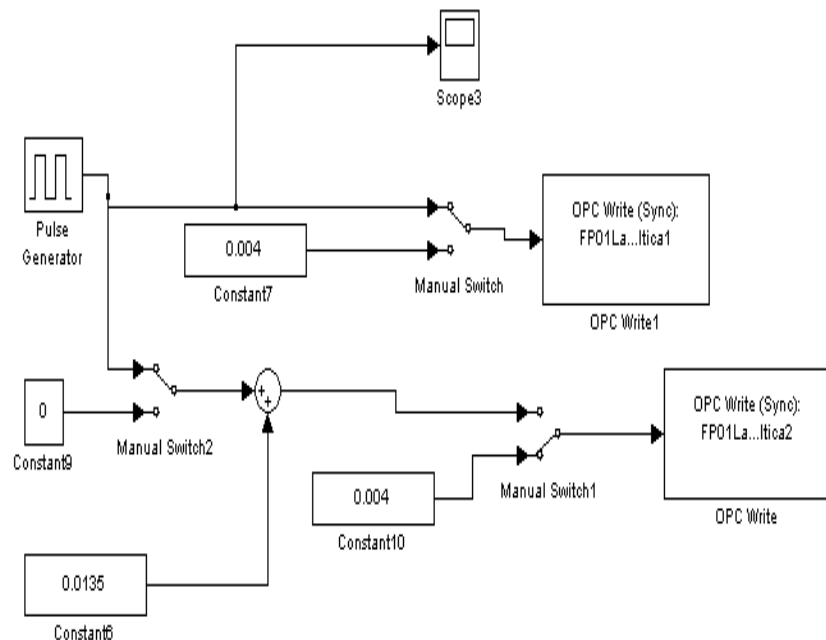


Figura 4.6 Programa en Matlab –Simulink

En la figura 4.7 se puede observar la configuración de la onda cuadrada que se utilizó para enviar las dos señales de corriente alternadamente.

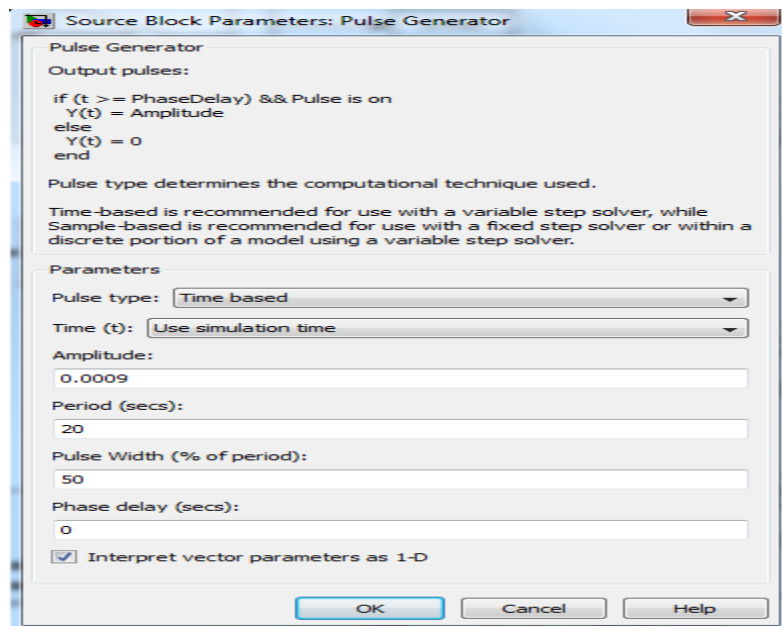


Figura 4.7 Configuración de la onda cuadrada

Para obtener la función de transferencia de la bomba peristáltica se realiza el siguiente análisis.

A continuación se muestra una tabla donde están los valores de subida de la onda que va desde el 20% al 25%.

Tiempo	%
14.76	20
14.86	20.5
14.96	21.3
15.1	22.5
15.2	23.2
15.3	23.6
15.4	24
15.5	24.3
15.6	24.6
15.7	24.8
15.78	25

Tabla 4.1 Datos de ascenso de la curva

La grafica de la tabla 4.1 muestra una figura en forma exponencial que se observa en la figura 4.8 por lo que asumimos que es sistema es de primer orden y deberá tener una función de transferencia de la forma.

$$\frac{Q(s)}{I(s)} = \frac{K}{1 + s\tau} \rightarrow^{L^{-1}} Ae$$

Lo que se busca es evaluar estas dos constantes K y τ .

Para el caso de la constante de tiempo τ la determinamos al 63% de la señal de subida.

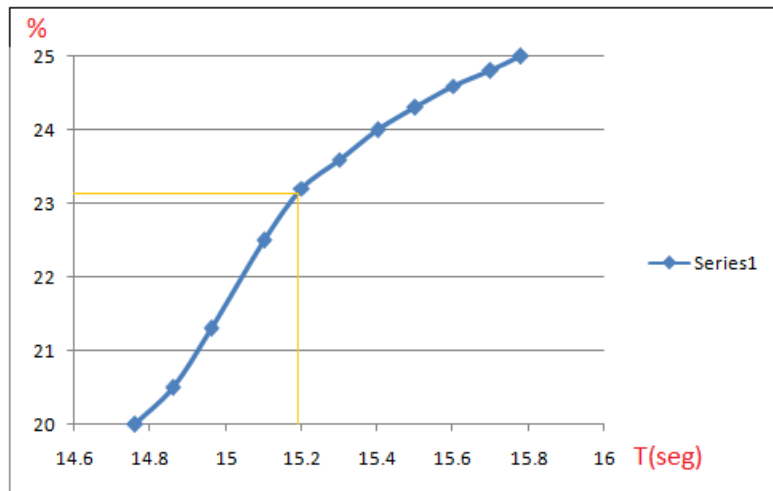


Figura 4.8 Ascenso de la onda

Lo siguiente es calcular el 63% de la curva exponencial.

Diferencia en el eje Y= 25-20= 5

Se calcula el 63% de 5 = 3.15

Ahora para poder ubicar en el eje el punto exacto del 63% se procede a sumar 20+3.15= 23.15

Y este y =23.15 da en la figura 4.8 un valor de 15.2 seg

Calculando la diferencia en el tiempo es:15.2-14.8=0.4seg

Se tiene que la función de transferencia de la bomba peristáltica tiene la siguiente forma:

$$K(1 - e^{-t/0.4}) \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Ahora se procede a encontrar la K de la función de transferencia.

Tiempo	%	Corriente(ma)	ml/min
14.76	20	7.2	21.8
14.86	20.5	7.25	22.3
14.96	21.3	7.3	22.9
15.1	22.5	7.37	23.6
15.2	23.2	7.44	24.5
15.3	23.6	7.56	25.4
15.4	24	7.68	26.3
15.5	24.3	7.74	26.8
15.6	24.6	7.79	27.5
15.7	24.8	7.86	28.5
15.78	25	8	30.5

Tabla 4.2 Datos completos de la curva de ascenso

$$K = \frac{\Delta \text{ml/min}}{\Delta \text{corriente}} = \frac{30.5 - 21.8}{0.008 - 0.0072} = \frac{8.7}{0.0008} = 10875.00$$

$$K = 10875.00$$

Se reemplaza el valor de K=10875.00 en la ecuación 4.10 y se Tiene:

$$10875.00(1 - e^{-t/0.4}) \quad \textbf{Ecuación 4.11}$$

Ahora se lleva la ecuación 4.11 al plano S

$$F(S) = \frac{10875.00}{0.4S + 1} \quad \textbf{Ecuación 4.12}$$

La función de transferencia de la bomba peristáltica es

$$F(S) = \frac{10875.00}{0.4S + 1}$$

Los datos obtenidos desde la grabación se encuentran registrados en el Anexo D con los cuales se obtuvo su función de transferencia.

4.2.4. PRUEBAS Y OBTENCIÓN DEL MODELO MATEMATICO DEL PH-METRO.

Para poder obtener la función de transferencia que gobierna el transmisor de pH se realiza la siguiente prueba.

- 1) Se colocan 20 ml de buffer con pH= 3 en un recipiente y en otro recipiente se colocan 20 ml de buffer²⁴ con pH= 7.
- 2) Se coloca el electrodo de pH en el recipiente con buffer pH=3 y se observa la lectura en el display del transmisor de pH que muestra un valor de pH= 3

²⁴ Un tampón o *buffer* es una o varias sustancias químicas que afectan a la concentración de los iones de hidrógeno (o hidronios) en el agua. Cuando un "buffer" es añadido al agua, el primer cambio que se produce es que el pH del agua se vuelve constante. De esta manera, ácidos o bases (álcalis = bases) adicionales no podrán tener efecto alguno sobre el agua, ya que esta siempre se estabilizará de inmediato.

3) Inmediatamente después se retira el electrodo de pH del primer recipiente y enseguida se procede a introducirlo en el segundo recipiente que contiene la sustancia buffer con $\text{pH} = 7$, y se puede observar que en el display del transmisor de pH se realiza el cambio de pH desde 3 a 7 y comparando el tiempo de cambio de pH con el tiempo de reacción en el reactor que es de 73.52 minutos entonces este cambio de pH en el display del transmisor de pH se lo puede considerar instantánea.

Para comprobar los resultados se procede a realizar una segunda prueba pero ahora con dos sustancias buffers diferentes, la primera con buffer de $\text{pH} = 7$ y la segunda sustancia es un buffer con $\text{pH} = 10$, se realizan los pasos descritos anteriormente del 1 al 3 y se observo de la misma manera que el cambio de la lectura en el transmisor de pH puede ser considerada inmediata comparándola con el tiempo de reacción en el reactor, por este experimento realizado se tiene que la ganancia de la función de transferencia del transmisor de pH es 1 es decir $G(S)=1$.

4.2.5. MODELO MATEMATICO DEL PROCESO.

Después de realizar las pruebas a los diferentes equipos se encontraron las siguientes funciones de transferencias.

- 1) Función de Transferencia de La concentración en función del pH.

$$y = -4.3 * 10^{-7} * pH + 30.1 * 10^{-7}$$

- 2) Función de Transferencia del Reactor.

$$G(s) = \frac{K_r}{1 + \tau * s}$$

$$K_r = 0,0147 \text{ mi}$$

$$\tau = 73,529 \text{ min}$$

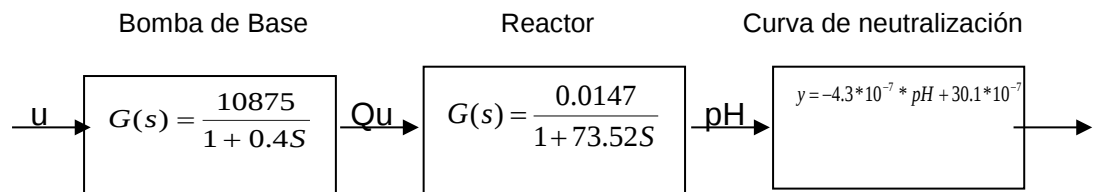
- 3) Función de Transferencia de la Bomba Peristáltica.

$$F(s) = \frac{10875.00}{0.4s + 1}$$

- 4) Función de Transferencia del pH metro.

$$G(s) = 1$$

Diagrama de Bloques de la Planta



u = señal de control de la bomba peristáltica en ma

Qu = Caudal de la base q ingresa al reactor

pH = Concentración q se produce en el reactor

y = Señal de salida q muestra los cambios químicos

Para nuestro caso se ha omitido el pH_metro porque la respuesta de medición se la puede aproximar a inmediata comparada con la respuesta que tiene el reactor que es de 73.52 seg.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1.** Se diseña e implementa de manera exitosa la planta piloto de neutralización continua de aguas residuales
- 2.** Los maestrantes futuros del programa MACI contarán con una planta que les permita probar sus algoritmos de control y de esta manera puedan cotejar la teoría con la práctica.
- 3.** Es importante recalcar que la adquisición de los datos se hace a través del OPC read y el envío de señales de control enviadas a las bombas peristálticas se realiza por medio de OPC Write.
- 4.** Se debe recordar que la planta tiene el proceso de inicialización y de operación continua, por lo que se debe tener muy en cuenta la forma en que debe de operarse en cada fase.

5. La presente planta podría ser utilizada por los estudiantes de pregrado adaptando la planta al control con los algoritmos impartidos en las clases de control automático.
6. La presente planta piloto ha sido implementada para poder trabajar específicamente en avanzados métodos de control no lineal y el objetivo es llegar a obtener el algoritmo más óptimo que permita controlar el pH de planta sin muchas pérdidas en lo que a sustancias ácidas y básicas se requiere.
7. Es de vital importancia indicar que el presente trabajo está sujeto a futuras mejoras tecnológicas en su implementación y control. Dejando en su camino la satisfacción de saber que muchos conocimientos fueron aplicados y llevados a práctica a través de esta planta.
8. El trabajo realizado ha sido satisfactorio porque los logros que se han obtenido son suficientes y amerita en poner fin a esta fase que ha consistido en investigar, diseñar, construir y realizar pruebas preliminares.

RECOMENDACIONES

1. Usar los respectivos manuales de usuario de las bombas peristalticas cuando se desee variar el caudal de dosificacion de las bombas,asi mismo cuando se requiera calibrar la misma o simplemente hacer el cebado de la bombas, todas las indicaciones vienen dadas en el manual.
2. De igual forma se recomienda utilizar el Manual del usuario del Transmisor de pH, ahí se explica la forma en que debe de ser calibrado este equipo y la forma en que puede ser controlado,asi como la forma en que debe de ser alimentado electricamente.
3. Para realizar las pruebas de laboratorio se recomienda adquirir equipos de laboratorios como: balanza, bureta, el agitador magnetico y la pipeta, guantes y gafas protectoras todos estos y otros implementos son necesarios y por ningun concepto se puede prescindir de ellos.
4. Se recomienda no mover la planta piloto del lugar que se le ha asignado en el laboratorio ya que el movimiento de la misma de manera brusca podría provocar que el reactor que es de vidrio sufra algun daño.

5. Se recomienda llevar un estricto control del ácido y la base que se van utilizando en el laboratorio, ya que todas estas sustancias son controladas por el Consejo.
6. El presente trabajo realizado tiene un punto fuerte en lo que a la química se refiere, es por eso que se recomienda elaborar el controlador con la ayuda de un ingeniero químico.
7. En el próximo trabajo deberán crearse los manuales de operación de la planta, así como sus manuales de seguridad.
8. Se debe de seguir algún curso para poder informarse sobre el manejo de sustancias químicas, como por ejemplo saber de qué manera se guardan, almacenan y conservan.

ANEXOS

ANEXO A

FOTOS DE LA PLANTA PILOTO.



Planta piloto de neutralización continua de aguas residuales.



Bombas Peristálticas



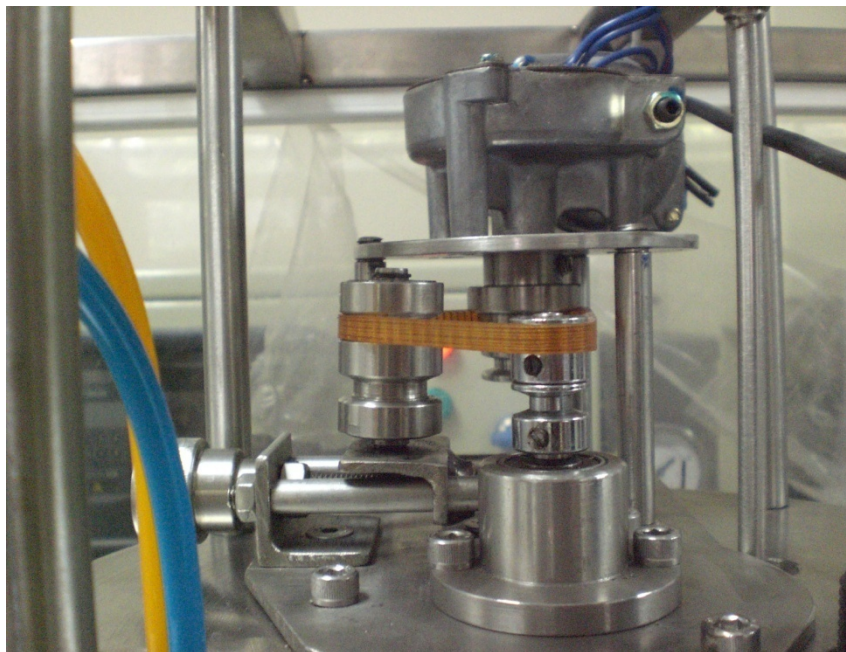
Transmisor de PH



Panel de Control



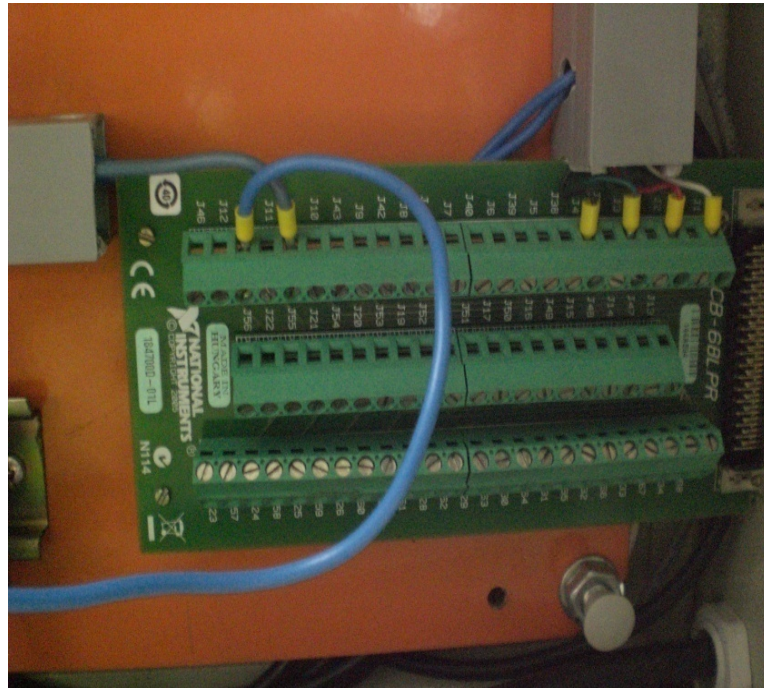
Parte Interna del Panel de Control



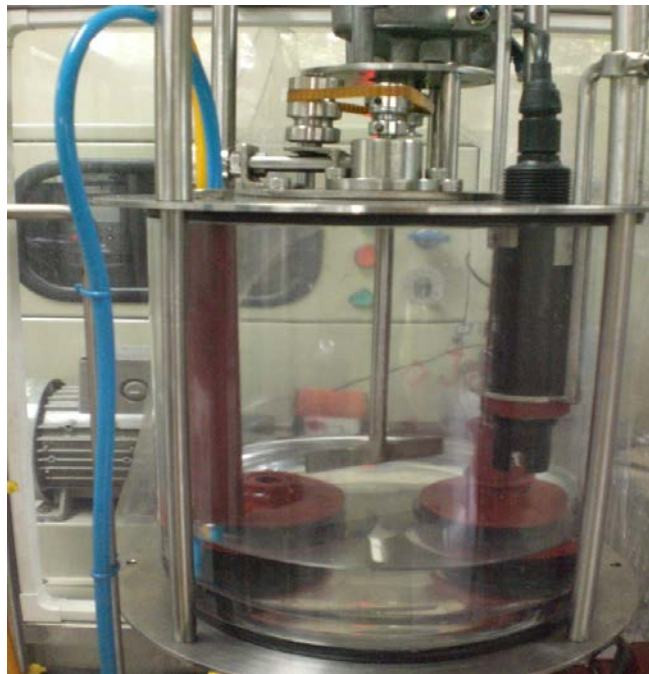
Sistemas de poleas para aumentar velocidad del agitador



Acople mecánico para el agitador del tanque inicial



Tarjeta receptora y emisora de señales



Reactor

ANEXO B

MANUAL DE LA BOMBA PERISTALTICA

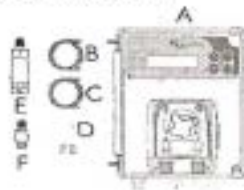
BASIC PRO

ADVERTENCIAS ¡ATENCIÓN!

Antes de efectuar **CUALQUIER** operación en el interior del panel de mando del sistema, desconecte de la red de alimentación.

LA INOBSERVANCIA DE LAS INSTRUCCIONES QUE SE OFRECEN EN EL PRESENTE MANUAL PUEDE PROVOCAR DAÑOS A LAS PERSONAS, EN EL APARATO Y EN LA INSTALACIÓN.

Contenido del embalaje:



- A) " Basic Pro " sistema de control (modelo estándar)
- B) Tubo de aspiración PVC Cristal 4x6 (4 m)
- C) Tubo de envío de polietileno (5 m)
- D) Tornillos con tacos ($\varnothing = 6 \text{ mm}$)
- E) Filtro de fondo (PVC)
- F) Válvula de retención en PPM (3/8" GAS)

Nota bien: Estos productos son **PELIGROSOS (H/A)** y requieren precauciones especiales durante el uso, el manejo y el almacenamiento.

Basic Pro ha sido proyectado para efectuar dosificaciones con precisión

- B NO mezclar **NUNCA** los productos químicos
- B NO permitir **NUNCA** que niños o personas que no han leído este manual efectúen operaciones o alteraciones del Basic Pro o de cualquiera de sus periféricos (incluidos los productos químicos).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

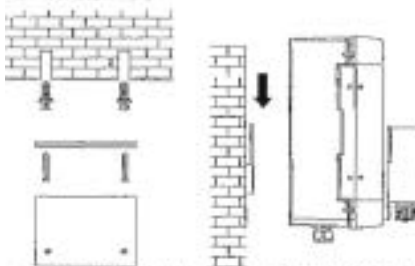
Dimensiones (A - H - P)	234x162x108 mm	Contrapresión Máxima	1,5 bar
Peso	1 kg	Dosificación	Pausa - Trabajo
Alimentación (50 Hz)	100-240 VCA	Absorción	7 W
Rango de frecuencia (Entrada conector Pulse)	0,00-3Hz	Calibración Dosificación	Automática

Caudal Bomba		
1	mín. 2,5 ml/h	máx. 25 ml/h
2	mín. 15,1 ml/h	máx. 151 ml/h
3	mín. 151,2 ml/h	máx. 1.512 ml/h
4	mín. 540 ml/h	máx. 5.400 ml/h
5	mín. 975 ml/h	máx. 9.750 ml/h

Accesorios a pedido

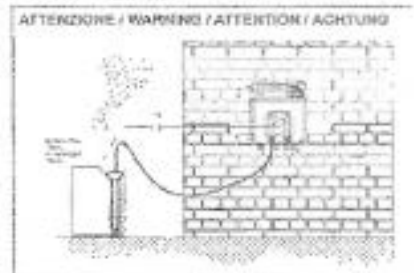
Alimentación (Step-Up) 12 - 24 (VCC/CC) 10 W

APLICACIÓN TIPO



Insistir de que la presión de inyección no sobrepase 1,5 bar.

MONTAJE



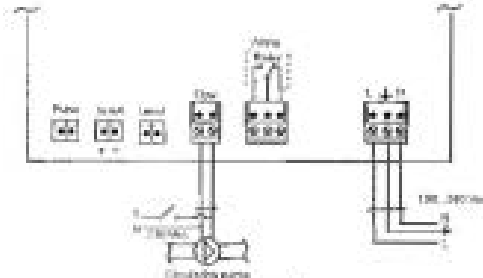
0000137033

rev. 1.2

1

Conexión eléctrica:

Conecte el cable de alimentación a la red de alimentación general y conecte en paralelo el conector Flow a la bomba de recirculación si está presente en la instalación; la entrada Flow (230 Vca) está relacionada con la función Flujo; si está habilitada (ON), permite activar la dosificación cuando está presente la recirculación de la instalación.



Programación

Pulsando al mismo tiempo las teclas *Enter* y *Esc* durante al menos 5 segundos se accede al menú de programación.

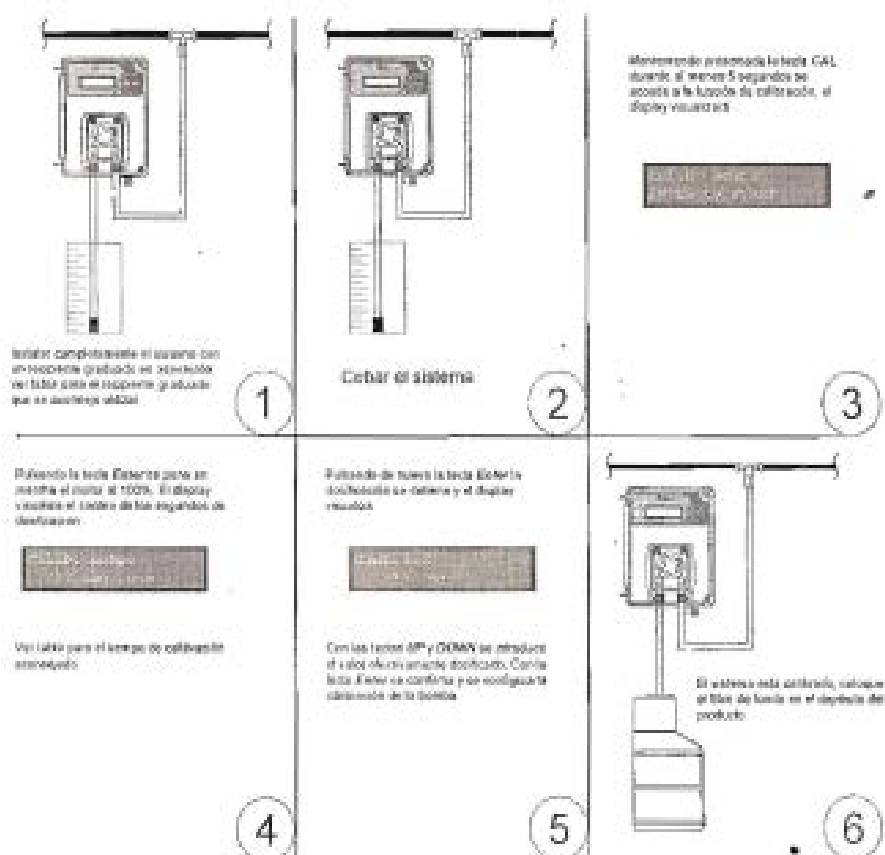
Si se ha programado una password distinta de 0000, el sistema solicita la password para acceder al menú de programación.

Al salir las teclas el display visualiza:

Display	Configuraciones
	EN, FR, DE, ES, IT
	Se programa la dosificación en %, de 10 a 100%
	Con <i>Avanzado</i> se accede a cinco submenús: • Input Config • Medida Unidad • Estadística • Calibración • Caudal

Con la tecla *Enter* se accede al submenú.

Función Calibración (si está habilitada)



Versión	Duración aconsejada Calibración	Capacidad contenedor
2,5 - 25 ml/h	1200 segundos	25 cc
15,1 - 151 ml/h	300 segundos	25 cc
151,2 - 1512 ml/h	60 segundos	100 cc
540 - 5400 ml/h	60 segundos	100 cc
975 - 9750 ml/h	45 segundos	150 cc

La función de calibración permite regular el caudal nominal de la bomba del -20% al +10%.

Ej)
 $25 \text{ ml/h} - 20\% = 20 \text{ ml/h}$
 $25 \text{ ml/h} + 10\% = 27,5 \text{ ml/h}$

Regulación digital del caudal en el rango
 $20 \pm 27,5 \text{ ml/h}$

<i>Display Submenü Advanced</i>	<i>Configuraciones</i>
	Se accede a los modos de dosificación: • modo manual • modo mA • modo Pulsos • modo frecuencia
	Se programa la unidad de medida, que puede ser: • ccm³ • ccl
	• Núm. de encendidos del sistema • Núm. de encendidos del motor • Núm. de horas de flujo • Horas de trabajo al 100% del motor • Resetea los parámetros de las estadísticas
	Se programa si activar o desactivar la calibración
	Se activa o desactiva el sensor de flujo Entrada 230 Vca

Una vez programado el tipo de dosificación, manteniendo pulsada la tecla SET durante 5 segundos se modifica el rango de los valores de entrada; pulsando la tecla Enter se elige con UP y DOWN el valor y se confirma siempre con Enter; el rango de los valores está relacionado con la velocidad de la bomba (10 = 100%)

<i>Modo de dosificación</i>	<i>Rango de valores</i>
	10 = 100%
	0 = 20 mA
	1/l - 999/999 ccl o ccm ³
	1 = 200 p/min

* Unidad de medida configurable

Menü Exit:

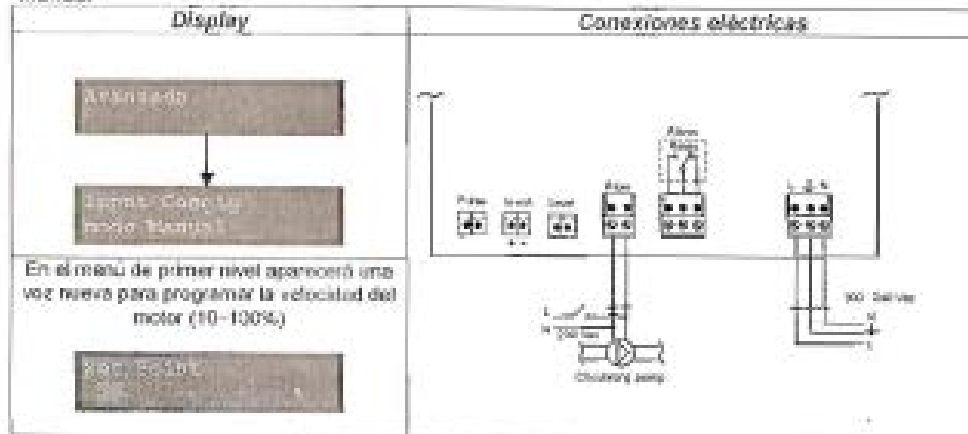
Para salir del Menü de programación, pulse la tecla Esc, el sistema vocaliza:

<i>Display</i>	<i>Configuraciones</i>
	Con Enter se sale y se memorizan las modificaciones aportadas.
	Con Enter se sale sin memorizar las modificaciones aportadas.

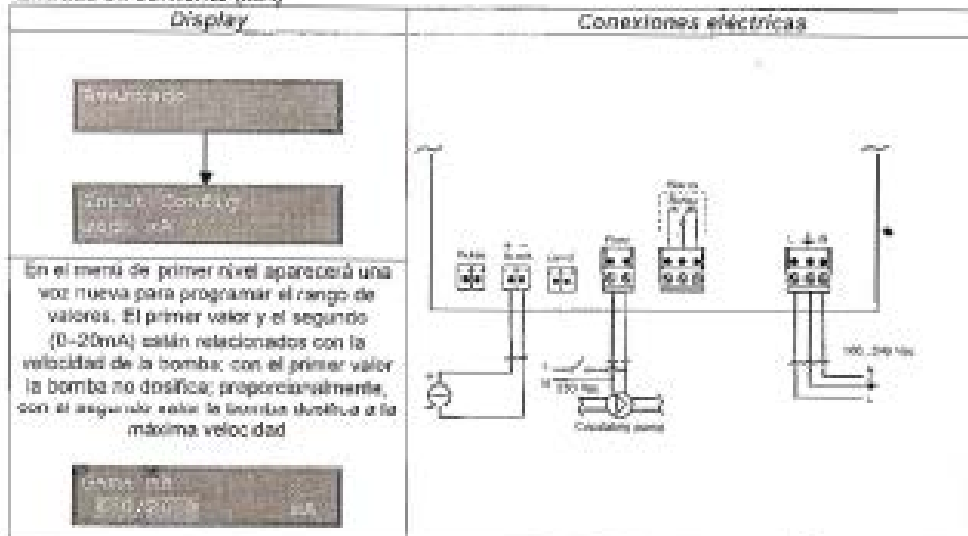
Configuración del modo de dosificación:

Los distintos modos de dosificación se configuran con la tecla **Enter**; con **UP** y **DOWN** se elige el tipo de dosificación y se confirma con **Enter**.

Manual



Entrada en corriente (mA)



Display	Conexiones eléctricas
En el menú de primer nivel aparecerán dos voces nuevas, la primera sirve para programar el número de impulsos por litro (1/1-999/999) y el sistema dosificará consecuentemente en función de los valores programados.	

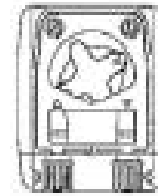
[illegible]

El cableado se activa y desactiva mediante un interruptor lateral posición MON.
Con el interruptor colocado en ON el sistema está encendido y listo para funcionar.
Con el interruptor colocado en OFF se obtiene una parada funcional.

La bomba:

Al guardar el dispositivo de regulación, se aconseja bombear agua limpia para enjuagar el tubo. Seguidamente, colocar el portarodillo a 45° girándolo en sentido horario. Estas dos precauciones facilitarán la correcta reacción del aparato.

Guardar al abrigo del hielo.



Alarmas

Flujo (Flujo): presencia de flujo en entrada (conectamiento a la bomba de filtración).

Alarma visualizada	Descripción	Relé	Acciones a realizar
Level Low	Alarma nivel bajo	Alarma Relé Cerrado	- Pulsar Enter para abrir el relé de alarma - Restablecer producto
Flow Off	Instrumento en estado de Standby	Alarma Relé Abierto	- Restablecer flujo
Error Parámetros	Errores parámetros	Alarma Relé Abierto	- Pulsar Enter para restablecer parámetros

Para efectuar un diagnóstico del sistema, siga los siguientes pasos:

- Apague el instrumento.
- Mantenga pulsadas las teclas UP y DOWN y encienda el instrumento.
- El instrumento visualizará:

Exit: 3-Paramit
Yes

- Pulse la tecla UP o DOWN para no restablecer los parámetros predeterminados

Exit: 3-Paramit
No

- Pulse Enter para confirmar

Parámetros predeterminados:

Unite (idioma): English

Set Point: 100%

Advance:

Input Config: Mod manual

Unit Set Point: cmH₂O

Statistc: (Resetea los parámetros de las estadísticas)

Calibration (calibración): On

Flusso (Flujo): Off

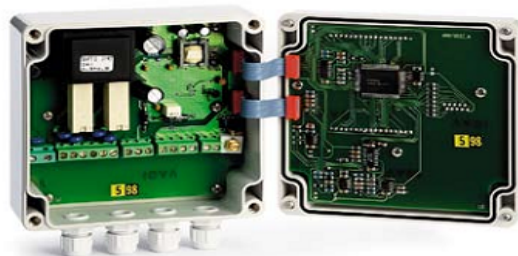
ANEXO C

MANUAL DEL pH METRO DELTA OHM



DO 9785T - DO 9765T TRANSMISOR DE pH o ORP

Los transmisores DO 9785T o DO 9765T convierten la salida de un electrodo de pH, compensado en temperatura, en una señal 4-20 mA. El circuito de entrada del electrodo de pH está galvanicamente aislado de la señal de salida 4-20 mA. Un indicador de LCD permite ver el valor de la señal de proceso y los distintos parámetros. El preciso diseño y la selección de los componente ofrecen un instrumento preciso y fiable en el tiempo. El instrumento trabaja en conjunto con un electrodo de pH o Redox y una sonda de temperatura (sensor Pt100, 100 Ω a 0°C).



Características técnicas

Entrada electrodo combinado	pH	-1,00 pH...15,00 pH (-500...+500 mV)
	ORP (Redox)	-1999...+1999 mV
	Impedancia de entrada	>10 T Ω m
	Longitud del cable	<50 metros blindado (aprox. 5 nF)
Entrada temperatura	Precisión	0,1% de la lectura $\pm$ 1 digit $\pm$ 0,01% de pH para °C de deriva en temperatura
	Pt100 de 2/4 hilos	-50...199,9°C
	Excitación transductor	0,5 mA cc
	Longitud del cable	<10 metros no blindado <50 metros blindado (aprox. 2 nF)
Compensación en temp. elect. de pH	Automática	Según Nernst
	Manual	-50+200°C
Salida en corriente	4,00...20,00 mA	Programable y proporcional al valor de pH o mV
	Precisión	0,5% de la lectura $\pm$ 0,02 mA
	Aislamiento	2500 Vca 1 minuto
R Load	Resistencia de carga	$R_{Lmax} = \frac{V_{cc}-10}{0,022}$ $R_{Lmax} = 636 \Omega$ @Vcc = 24 Vdc
Salida Relé	A y B	Bistable, contacto 3A/230 Vca, potencial libre
Alimentación	Pasivo	4-20 mA configuración 2 hilos, 10-35 V véase fig. 2
	Activo	24 o 230 Vca $\pm$ 15/+10%, 1 VA, 48...62 Hz véase fig. 1
Contenedor DO 9765T	Dimensiones externas	120x122x56 mm por pared
Contenedor DO 9785T	Clase protección	IP64
Contenedor DO 9785T	Dimensiones externas	96x96x126 mm por panel
Contenedor DO 9785T	Clase protección	IP54

Función de las teclas

- PRG** - La programación de los parámetros se activa, pulsando la tecla PRG más las teclas $\blacktriangle$ y $\blacktriangledown$. En el visualizador aparece la escrita P1 para indicar que está programando el parámetro P1. Siguiendo a pulsar la tecla PRG,, se muestran las escritas P2, P3, P4, P5, P6, P7 y sus parámetros. Después P7 se vuelve al funcionamiento normal.
- SET** - Tecla para configurar el umbral de intervención de los relés. En el visualizador aparece el símbolo ON o OFF para indicar que se está visualizando el umbral de conexión o desconexión, del relé A o del relé B.
- °C/°F** - Activando esta tecla, se cambia la unidad de medida de la temperatura en grados Celsius o Fahrenheit.
- pH/mV** - En conjunto con la tecla CAL, activa la función de configuración manual de la temperatura.
- OK** - Si accionado durante la función de calibración del pH sale la función sin guardar la calibración.
- CAL** - Pulsando esta tecla, se cambia la unidad de medida en mV o pH.
- ▲** - En conjunto con la tecla CAL, activa la función de calibración pH.
- ▼** - Tecla usada para confirmar la calibración del pH y la configuración manual de la temperatura.
- PRG** - Tecla para aumentar el valor visualizado durante la programación de los parámetros.
- SET** - Tecla para disminuir el valor visualizado durante la programación de los parámetros.
- OK** - Tecla para confirmar la calibración del pH y la configuración manual de la temperatura.
- CAL** - Tecla para aumentar el valor visualizado durante la programación de los parámetros.
- ▲** - Tecla para disminuir el valor visualizado durante la programación de los parámetros.
- ▼** - Tecla para confirmar la calibración del pH y la configuración manual de la temperatura.
- PRG** - Tecla para aumentar el valor visualizado durante la programación de los parámetros.
- SET** - Tecla para disminuir el valor visualizado durante la programación de los parámetros.
- OK** - Tecla para confirmar la calibración del pH y la configuración manual de la temperatura.
- CAL** - Tecla para aumentar el valor visualizado durante la programación de los parámetros.
- ▲** - Tecla para disminuir el valor visualizado durante la programación de los parámetros.
- ▼** - Tecla para confirmar la calibración del pH y la configuración manual de la temperatura.

Configuración del SET de los relés

- Pulsando la tecla SET, en el visualizador aparecen los símbolos se encienden ON y A para indicar que el valor visualizado corresponde al umbral de conexión del relé A.
- Para cambiar este valor, pulsar las teclas ▲ y ▼.
- Pulsando SET, aparecen los símbolos OFF y A para indicar que se está visualizando el umbral de desconexión del relé A.
- Para cambiar este valor, pulsar las teclas ▲ y ▼.
- Pulsando la tecla SET, en el visualizador aparecen los símbolos ON y B para indicar que el valor visualizado corresponde al umbral de conexión del relé B.
- Para cambiar este valor, pulsar las teclas ▲ y ▼.
- Pulsando SET, aparecen los símbolos OFF y B para indicar que se está visualizando el umbral de desconexión del relé B.
- Para cambiar este valor, pulsar las teclas ▲ y ▼.
- Pulsando SET, el instrumento guarda y vuelve al funcionamiento normal.

NOTA: Durante la configuración de SET (símbolo ON o OFF encendidos), el instrumento vuelve al funcionamiento normal si no se pulsa ninguna tecla para 2 minutos.

Configuración de la temperatura para la compensación manual

Si la sonda de temperatura no está conectada o la sonda está interrumpida, la unidad de medida °C o °F relampaguea. En este caso, se puede configurar manualmente el valor de compensación de la temperatura.

- Pulsar las teclas CAL y °C/°F contemporáneamente, en la parte inferior del visualizador aparece la escrita CAL.
- Con las teclas ▲ y ▼, configurar el valor de temperatura correspondiente a la temperatura del líquido de lo que se quiere medir el pH.
- Pulsar CAL para confirmar el valor. La escrita CAL desaparece.

Calibración de DO 9785T/DO 9765T con electrodo de pH

Calibración del offset del electrodo de pH:

- Sumergir el electrodo en la solución tampón usada para calibrar el offset (6,86 pH).
- Pulsar las teclas CAL y pH/mV contemporáneamente, en la parte inferior del visualizador aparece la escrita CAL.
- Con las teclas ▲ y ▼, configurar el valor del pH medido según la temperatura del líquido.
- Pulsar CAL para confirmar este valor. La escrita CAL desaparece.

Calibración del slope del electrodo de pH

- Sumergir el electrodo en la solución tampón usada para calibrar el slope (4,01 o 9,18 pH).
- Pulsar las teclas CAL y pH/mV contemporáneamente, en la parte inferior del visualizador aparece la escrita CAL.
- Con las teclas ▲ y ▼, configurar el valor del pH medido según la temperatura del líquido.
- Pulsar CAL para confirmar este valor. La escrita CAL desaparece.

NOTA: Si se desea salir sin guardar la nueva calibración, pulsar la tecla °C/°F.

NOTA: El instrumento puede reconocer automáticamente tres soluciones estándar de calibración: 4,01 pH, 6,86 pH y 9,18 pH.

Programación de los parámetros

- P1** Unidad de control relés y salida analógica, pH o mV.
- P2** Valor de pH/mV correspondiente a 4 mA en salida. Configurable entre -1,00 pH...15,00 pH o -1999 mV...+1999 mV.
- P3** Valor de pH/mV correspondiente a 20 mA en salida. Configurable entre -1,00 pH...15,00 pH o -1999 mV...+1999 mV.
- P4** Tiempo de retraso en el intervalo del relé A. Configurable entre 0 y 255 segundos.
- P5** Tiempo de retraso en el intervalo del relé B. Configurable entre 0 y 255 segundos.
- P6** Calibración de la sonda Pt100, calibración salida en corriente, calibración entrada en tensión. (Calibraciones por la empresa a realizar en el laboratorio con personal experto.)
- P7** Visualización del valor de tensión de offset y del valor de slope del electrodo. Para cambiar uno de estos parámetros, pulsar la tecla PRG hasta que en el visualizador aparece la escrita correspondiente al parámetro a cambiar. Con las teclas ▲ y ▼ llevar el parámetro visualizado al valor deseado. Pulsar OK para confirmar. El parámetro P7 no se puede cambiar.

Calibración entrada en tensión (calibración por la empresa a realizar en el laboratorio con personal experto)

- Pulsar la tecla PRG hasta que en el visualizador aparece la escrita **P6**.
- Pulsar cuatro veces la tecla **CAL**. En la parte superior del visualizador aparece la escrita CAL y en la parte inferior el valor de la entrada en mV.
- Cuando se entra, simular una tensión de 0 mV (si la tensión está comprimida entre ± 25 mV, se calibra el cero. En contra, se calibra el fondo escala).
- Con las teclas ▲ y ▼, ajustar el valor de la tensión para visualizar el valor de tensión correcto.
- Pulsar la tecla **SET**. En el visualizador se enciende la indicación **ON** que muestra que el instrumento está midiendo la tensión que haya a la entrada, usando la segunda escala de medida.
- Con las teclas ▲ y ▼, ajustar el valor de la tensión para visualizar el valor de tensión correcto.
- Pulsando la tecla **SET**, en el visualizador se apaga la indicación **ON**.
- Cuando se entra, simular una tensión de 450 mV, correspondiente al fondo escala de la primera escala.

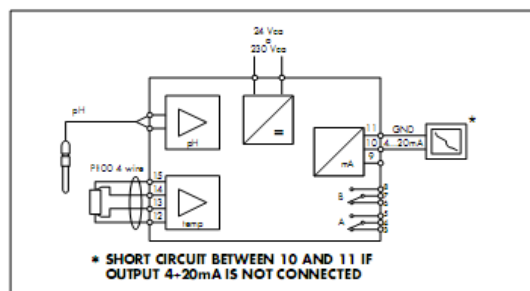


Fig.1 Transmisor activo.

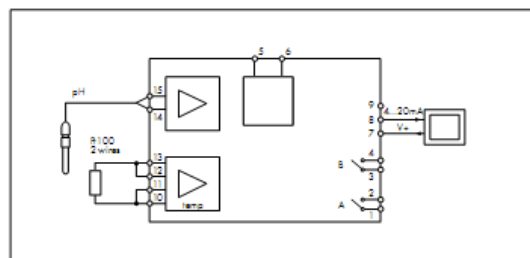


Fig.3 Transmisor pasivo.

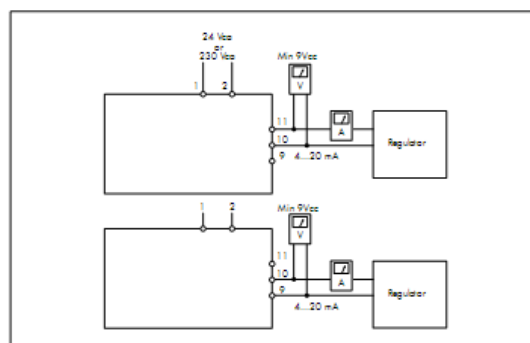
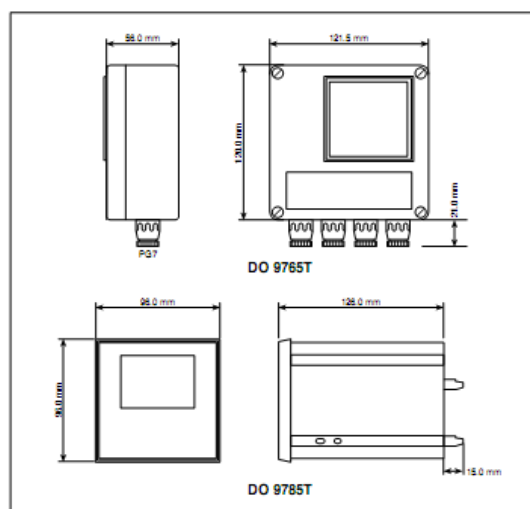


Fig.3



Dimensiones

- Con las teclas ▲ y ▼, ajustar el valor de la tensión para visualizar el valor de tensión correcto.
- Cuando se entra, simular una tensión de 1.800 mV, correspondiente al fondo escala de la segunda escala.
- Con las teclas ▲ y ▼, ajustar el valor de la tensión para visualizar el valor de tensión correcto.
- Pulsar OK para confirmar.

Calibración de la sonda Pt100 (100 Ω a 0°C) (calibración por la empresa a realizar en el laboratorio con personal experto)

- Conectar la sonda Pt100 al instrumento. Pulsar la tecla PRG hasta que en el visualizador aparece la escrita P6.
- Pulsando la tecla CAL, en la parte inferior del visualizador aparece la escrita CAL y en la superior se muestra la temperatura.
- Sumergir la sonda Pt100 y un termómetro de precisión de referencia en el baño de calibración de cero. Esperar el tiempo necesario para estabilizar la lectura.
- Con las teclas ▲ y ▼, ajustar el valor de la temperatura medida por la sonda Pt100 para que corresponda al valor del termómetro de precisión de referencia.
- Sumergir la sonda Pt100 y un termómetro de precisión en el baño de calibración de fondo escala. Esperar el tiempo necesario para estabilizar la lectura.
- Con las teclas ▲ y ▼, ajustar el valor de la temperatura medida por la sonda Pt100 para que corresponda al valor del termómetro de precisión de referencia.
- Pulsar OK para confirmar.

NOTA: Si la temperatura visualizada por el instrumento está comprimida entre $\pm 12^\circ\text{C}$, el instrumento calibra el offset de la sonda. En contra, calibra la ganancia.

Calibración de la salida analógica (calibración por la empresa a realizar en el laboratorio con personal experto)

- Pulsar la tecla PRG hasta que en el visualizador aparece la escrita P6.
- Conectar un miliamperímetro de precisión a la salida analógica.
- Pulsar dos veces la tecla CAL. En la parte superior del visualizador aparece la escrita CAL y en la parte inferior la escrita 4.0 para indicar la calibración según 4 mA.
- Con las teclas ▲ y ▼, ajustar el valor de la corriente de salida para tener una indicación de 4,0 mA en el miliamperímetro de precisión.
- Pulsar la tecla CAL. En la parte superior del visualizador aparece la escrita CAL y en la parte inferior la escrita 20.0 para indicar la calibración según 20 mA.
- Con las teclas ▲ y ▼, ajustar el valor de la corriente de salida para tener una indicación de 20,0 mA en el miliamperímetro de precisión.
- Pulsar OK para confirmar.

Visualizador

Símbolo descripción

- °C el valor mostrado es en °C.
- °F el valor mostrado es en °F.
- pH la magnitud mostrada es pH.
- mV la magnitud mostrada es milivolt.
- A el relé A está cerrado.
- B el relé B está cerrado.
- ON el valor mostrado corresponde al umbral de cierre de los contactos del relé A o B;
- OFF el valor mostrado corresponde al umbral de apertura de los contactos del relé A o B;

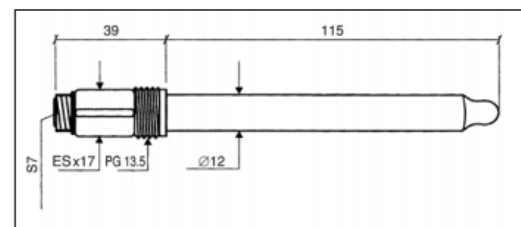
Señal de error

- OFL - Señal que aparece durante la medida cuando el valor a mostrar está fuera de la escala.
- E1 - Señal de error que aparece durante la fase de calibración de pH para indicar que el valor de offset del electrodo es demasiado alto en valor absoluto.
- E2 - Señal de error que aparece durante la fase de calibración de pH para indicar que las dos soluciones tampón usadas para la calibración proporcionan una lectura en mV demasiado distintas entre sí.
- E3 - Señal de error que aparece durante la fase de calibración de pH para indicar que las dos soluciones tampón usadas para la calibración proporcionan una lectura en mV demasiado cercanas entre sí (aprox. 50 mV a 25°C).
- E4 - Error de lectura en el EEPROM.
- E5 - Señal de error que aparece para indicar que el cálculo de la pendiente del electrodo (slope) proporciona un valor inferior del 20% con respecto al valor nominal o proporciona un valor negativo.
- E6 - Señal de error que aparece para indicar que el cálculo de la pendiente (slope) proporciona un valor inferior del 150% con respecto al valor nominal.

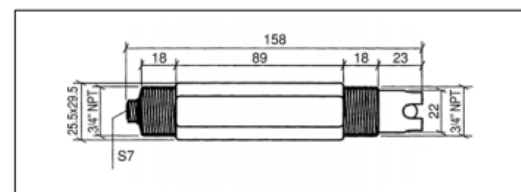
CÓDIGOS DE PEDIDO

- DO 9785T: Transmisor de pH 4+20 mA pasivo o activo, alimentación 24 Vca con doble visualización, 96x96 mm por cuadrado.
- DO 9765T: Transmisor de pH 4+20 mA pasivo o activo, alimentación 24 Vca con doble visualización, 122x120 mm por campo.
- HD 882 M100/300: Sonda de temperatura sensor Pt100, cabezita, vástago $\varnothing$ 6x300 mm.
- HD 882 DM100/300: Sonda de temperatura sensor Pt100, cabeza DIN B, vástago $\varnothing$ 6x300 mm, para transmisores de temperatura.
- HD 8642: Solución tampón 4,01 pH.
- HD 8672: Solución tampón 6,86 pH.
- HD 8692: Solución tampón 9,18 pH.
- HDR 220: Solución tampón redox 220mV.
- HDR 468: Solución tampón redox 468mV.

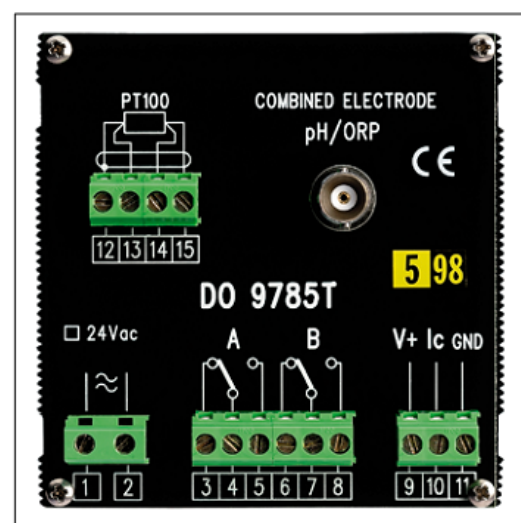
- HD62PT: Limpieza de los diafragmas (tiourea en HCl) - 500 ml.
- HD62PP: Limpieza de las proteínas (pepsina en HCl) - 500 ml.
- HD62RF: Regeneración (ácido fluorhídrico) - 100ml.
- HD62SC: Solución para la conservación de los electrodos - 200ml.
- CP5: Cable de prolongación de 5 m. Conector S7/hilo.
- CP5/10: Cable de prolongación de 10m. Conector S7/hilo.
- CP5S: Cable de prolongación de 5 m. Conector BNC/S7.
- CP5S/10: Cable de prolongación de 10m. Conector BNC/S7.
- KPI 10: Electrodo industrial combinado, conector S7 PG13.5, gel, cuerpo de vidrio, Ag/AgCl sat. KCl $\varnothing$ 12x12mm, temperatura 0...130°C, unión teflón poroso.
- KPI 11: Electrodo industrial combinado, conector S7, conexión al NPT, cuerpo de Rytron, Ag/AgCl sat KCl, temperatura 0...100°C, unión teflón poroso.
- KPI 12: Electrodo redox Platino, conector S7 PG13.5, presión 6 bar, de vidrio, Ag/AgCl sat KCl.
- KPI 13: Electrodo redox Platino, cuerpo de Rytron S7 PG13.5 Ag/AgCl sat KCl.



KPI 10 0...14 pH / KPI 12 Redox ± 1999 mV, 0...130°C



KPI 11 0...14 pH / KPI 13 Redox ± 1999 mV, 0...100°C



ANEXO D

DATOS DE LA EXPERIMENTACION CON LA BOMBA PERISTALTICA

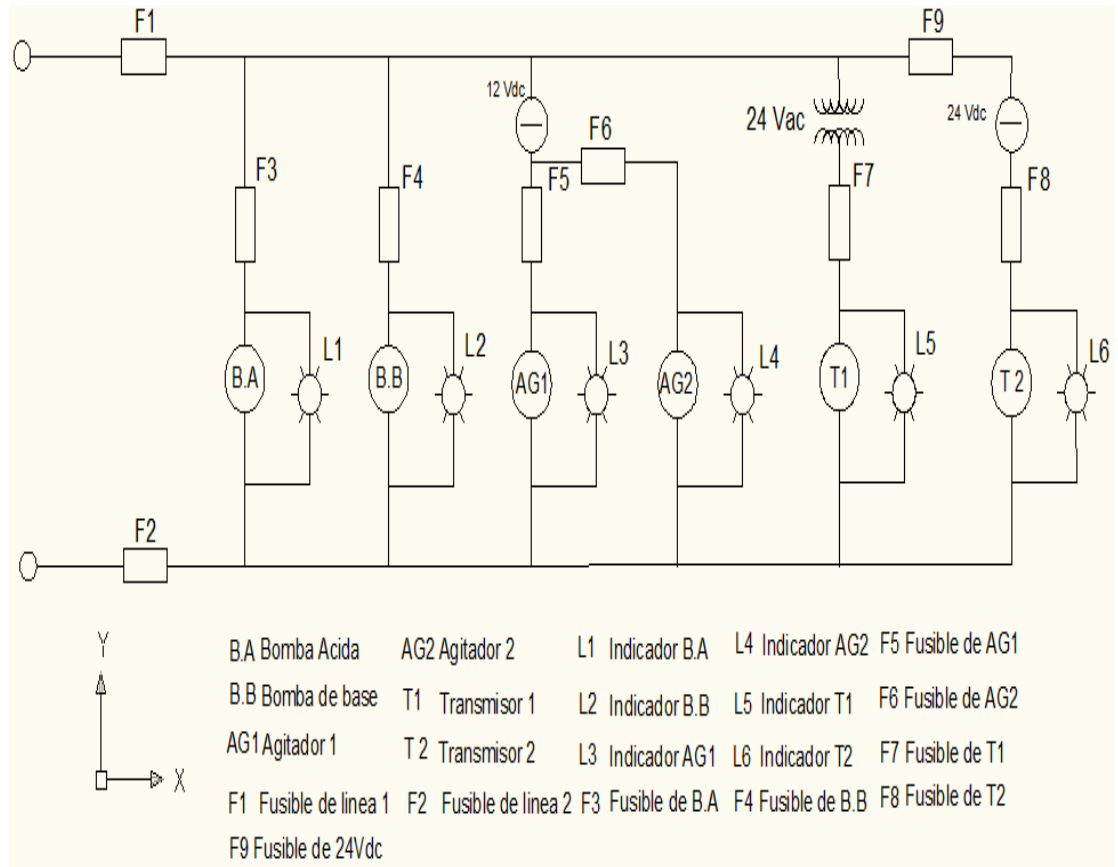
Tiempo (seg)	Onda	Tiempo (seg)	Respuesta /bomba
	cuadrada		
0.00	5	0.00	0
10.46	5	4.92	0
10.47	0	6.27	20
20.78	0	14.76	20
20.79	5	15.78	25
30.62	5	24.75	25
30.63	0	25.83	20
40.40	0	34.77	20
40.41	5	35.91	25
50.63	5	44.73	25
50.64	0	45.87	20
60.62	0	54.81	20
60.63	5	55.86	25
70.82	5	64.77	25
70.83	0	65.91	20
80.72	0	74.85	20
80.73	5	75.87	25
90.50	5	84.81	25
90.51	0	85.95	20
100.85	0	94.89	20
100.86	5	96.15	25
110.66	5	104.82	25
110.67	0	105.99	20
120.41	0	114.93	20
120.42	5	115.95	25
130.70	5	124.86	25
130.71	0	126.03	20
141.00	0	134.94	20

ANEXO E

PLANOS EN AUTOCAD DE LA PLANTA PILOTO

ANEXO F

PLANO ELECTRICO DEL PANEL DE CONTROL



ANEXO G

PROGRAMA EN MATLAB PARA GRAFICAR LAS CURVAS DE TITULACION

```
clc

hold off

pH=5:0.1:9;

y=10.^(-pH)-10.^(pH-14);

z=(30.1-4.3*pH)*10^-7;

plot(pH,y,'--m')

hold on

plot(pH,z,'--b')

xlabel('Valor de pH','FontSize',16)

ylabel('Y(pH)','FontSize',16)

title('\it{Curvas de Titulación}','FontSize',16)
```

BIBLIOGRAFÍA

1. **Unidas., Naciones.** UNESCO/ Division of Water Science. [En línea] World Water-Assessment Programme. [Citado el: 15 de 09 de 2009.] <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>.
2. **EPA, United States Environmental Protection Agency.** EPA. [En línea] [Citado el: 12 de 06 de 2009.] <http://www.epa.gov/aboutepa/history/topics/fwpca/01.html>.
3. **Act, The Federal Water Pollution Control.** The Federal Water Pollution . [En línea] [Citado el: 14 de 08 de 2009.] <http://www.epa.gov/npdes/pubs/cwatxt.txt>.
4. **España, Boletín Oficial de.** BOE.es. [En línea] [Citado el: 1 de 5 de 2009.] http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?coleccion=iberlex&id=2002/12995.
5. **Tecnológica, Vigilancia.** Madrimas. [En línea] [Citado el: 5 de 5 de 2009.] http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf.
6. **Ambiental., Fondo para la Comunicacion y la Educacion.** Centro Virtual de Informacion del agua. [En línea] [Citado el: 18 de 06 de 2009.]
7. Centro del Agua para America Latina y el Caribe. [En línea] [Citado el: 4 de 8 de 2009.] http://centrodelagua.org/index.php?option=com_content&view=article&id=246%3Adesalacion-situacion-actual-y-perspectivas-futuras-en-america-latina-y-el-caribe&catid=47%3Aarticulos&Itemid=86&lang=en.
8. **Escobar., Jaime.** *La contaminación de los rios y sus efectos en las áreas costeras y el mar.* Santiago de Chile : Publicacion de las Naciones Unidas, 2002.
9. **Directemar.** Armada de Chile. [En línea] [Citado el: 2 de 6 de 2009.] http://www.directemar.cl/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=1&Itemid=2&lang=es.
10. IBAMA. [En línea] [Citado el: 23 de 11 de 2009.] <http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/controle-de-residuos>.
11. Diario Oficial de la Federacion Mexicana. [En línea] [Citado el: 5 de 11 de 2009.] <http://www.redindigena.net/leyes/mex/docs/2/equileco.html>.
12. SEMAR. *Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.* [En línea] [Citado el: 5 de 09 de 2009.] <http://www.semarnat.gob.mx/Pages/Inicio.aspx>.

13. America. [En línea] [Citado el: 5 de 11 de 2009.] <http://www.viajesyturistas.com/bajos-de-haina-contaminacion-en-republica-dominicana/>.
14. **Alterinfos, America Latina.** Alterinfos. [En línea] [Citado el: 2 de 4 de 2009.] <http://www.alterinfos.org/spip.php?article874>.
15. Espacio Agua. *El agua en America Latina*. [En línea] [Citado el: 3 de 5 de 2009.] http://www.espacioagua.org.ar/el_agua/el_agua_en_america_latina.html.
16. INEN. *Instituto Ecuatoriano de Normalizacion*. [En línea] [Citado el: 2 de 10 de 2009.] <http://www.inen.gov.ec/>.
17. IUPAC. *Gold Book*. [En línea] [Citado el: 15 de 11 de 2009.] <http://goldbook.iupac.org/P04524.html>.
18. **Fernández, Alejandro Rodríguez.** Materiales-wikispace. [En línea] [Citado el: 2 de 4 de 2010.] http://www.google.com.ec/search?sclient=psy-ab&hl=es&site=&source=hp&q=ecuacion+de+nernst&pbx=1&oq=ecuacion+de+Nerst&aq=0s&aqi=g-s6&aql=&gs_sm=e&gs_upl=545832315460991101546534511711410111115021368112-6.4.1.111310&biw=1249&bih=499&cad=cbv&sei=ytsuT_HgG4.
19. **Normalización, Organización Internacional de.** Magnitudes y Unidades. [En línea] [Citado el: 4 de 11 de 2009.]
20. **Basáez, Dr.** Ciencia- Ahora. [En línea] [Citado el: 5 de 10 de 2009.] www.ciencia-ahora.cl/revista23/11BASAEZ.pdf.
21. **Arrhenius, T de.** *Nuevo Estudio de la química moderna*. Buenos Aires : Ediciones Cisplatina S.A, 2010.
22. **AMAYA, WILSON FABIÁN.** Ciencia e Ingeniería Neogranadina. [En línea] [Citado el: 12 de 08 de 2011.] http://www.umng.edu.co/www/resources/rev14_9.pdf.
23. **García, Fundación Educativa Héctor A.** Equilibrio iónico. [En línea] Fundación Educativa Héctor A. García. [Citado el: 1 de 4 de 2010.] http://www.salonhogar.net/quimica/nomenclatura_quimica/Equilibrio_ionico.htm.
24. La Normalidad. [En línea] [Citado el: 1 de 5 de 2010.] <http://www.utim.edu.mx/~navarrof/Docencia/QuimicaAnalitica/Disoluciones/Normalidad.htm>.
25. **Page, Química.** Titulaciones. [En línea] [Citado el: 2 de 5 de 2011.] <http://quimipage.galeon.com/>.

26. **Analítica., Química.** Calculo De Ph Y Poh. [En línea] [Citado el: 5 de 11 de 2011.] <http://www.buenastareas.com/ensayos/Calculo-De-Ph-y-Poh/1956965.html>.

27. **Rushton.** *Operaciones Unitarias- Agitación y Mezclas de líquidos*. EEUU : s.n., 2000.

28. **INEN.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. [En línea] [Citado el: 5 de 10 de 2009.] www.inen.gov.ec.

29. **Paulus, Ing. Thomas.** *Integration flachheits-basierter Regelungs.und Steuerungsverfahren in der Prozessleittechnik*. Neunkirchen : Verlag, 2006.