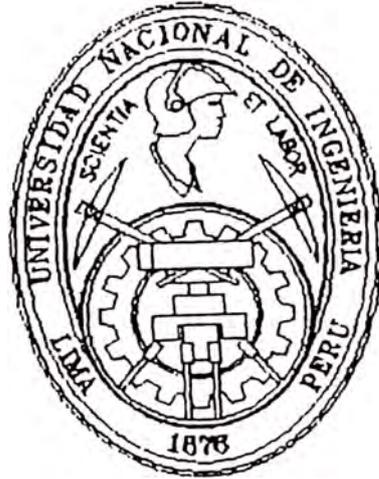


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
Y ELECTRONICA**



**MEJORAMIENTO Y MODERNIZACION DE LOS
SISTEMAS DE CONTROL ELECTRONICOS DE
LA PLANTA PILOTO DE TOSTACION DE
CAJAMARQUILLA**

TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRONICO

MARCO ANTONIO TRENEMAN CALDERON

PROMOCION 88 - I

LIMA - PERU

1995

SUMARIO

Los problemas presentados en el funcionamiento de la planta piloto de tostación de Cajamarquilla fueron:

- Facilitar al operador de equipos e instrumentos de control electrónicos.
- Automatizar el sistema de control de ph del scrubber (limpiador de gases).

Con la finalidad de mejorar y modernizar los sistemas de control de la planta, se elaboraron los siguientes proyectos:

- Proyecto 1 Visualizador digital de ph
- Proyecto 2 Control off/on de ph
- Proyecto 3 Transmisor y receptor del control de ph
- Proyecto 4 Control off/on de niveles de líquido

Todos los proyectos se elaboraron y ejecutaron con resultado satisfactorio, siendo cumplidos dentro de las exigencias propuestas.

**MEJORAMIENTO Y MODERNIZACION DE LOS
SISTEMAS DE CONTROL ELECTRONICOS
DE LA PLANTA PILOTO DE TOSTACION
DE CAJAMARQUILLA**

EXTRACTO

TITULO: Mejoramiento y modernización de los sistemas de control electrónicos de la planta piloto de tostación de Cajamarquilla

AUTOR: Marco Antonio Treneman Calderón

PROMOCION: 88 - I

Tesis para optar el título profesional de ingeniero electrónico

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Universidad Nacional de Ingeniería

Lima - Perú - 1995

Los cuatro proyectos desarrollados en la presente tesis han sido elaborados con la finalidad de mejorar y modernizar los sistemas de control electrónicos de la planta piloto de tostación de Cajamarquilla.

El Capítulo I hace una referencia general sobre la reseña histórica, ubicación, modo de operación, capacidad y equipos instalados de dicha planta.

El Capítulo II describe el primer proyecto de la tesis que es un visualizador digital de medición de ph instalado en el tablero principal.

El Capítulo III se refiere al segundo proyecto que consta de un control off/on de ph del scrubber (limpiador de gases).

El Capítulo IV detalla el tercer proyecto: un transmisor y receptor por modulación de frecuencia de pulsos, empleando la red de 220 AC.

El Capítulo V desarrolla el cuarto proyecto, el cual trata sobre el control off/on de niveles de líquidos en recipientes.

El Capítulo VI nos presenta los diagramas empleados en la instalación de los instrumentos y controles generales.

Se encuentran, al final, las conclusiones y comentarios sobre los proyectos desarrollados.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
PROLOGO	1
CAPITULO I	
DESCRIPCION DE LA PLANTA PILOTO DE TOSTACION DE CAJAMARQUILLA	3
1.1 Importancia del proceso de tostación	3
1.2 Reseña histórica	6
1.3 Capacidad de la planta	7
1.4 Ubicación	9
1.5 Distribución de la planta piloto de tostación	9
1.6 Capacidad de operación de la planta (flow sheet)	9
1.7 Descripción de operaciones y procesos	9
1.8 Espacios complementarios de la planta piloto de tostación	18
1.9 Relación de máquinas y equipos instalados	18
1.10 Relación de equipos e instrumentos de control	19
1.11 Abastecimiento de energía eléctrica	20
1.12 Abastecimiento de agua a la planta de tostación	21
CAPITULO II	
PROYECTO DE UN VISUALIZADOR DE LECTURA DIGITAL DE PH AL TABLERO PRINCIPAL DE CONTROL	22
2.1 Propósito	22
2.2 Operación	22
2.3 Diagrama de bloques	23

2.4 Cálculos de diseño	23
2.5 Diagrama desarrollado	25
2.6 Materiales a usar	26

CAPITULO III

PROYECTO DE UN SISTEMA DE CONTROL APAGADO-PRENDIDO DE UN

PHMETRO	27
3.1 Propósito	27
3.2 Operación	29
3.3 Diagrama de bloques	31
3.4 Cálculos de diseño	32
3.5 Diagrama desarrollado	34
3.6 Materiales a usar	35

CAPITULO IV

PROYECTO DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR PARA LA MEDICION DE PH POR MFP (MODULACION POR FRECUENCIA DE PULSOS)

4.1 Proyecto del transmisor por modulación de frecuencia de pulsos	36
4.1.1 Propósito	36
4.1.2 Operación	36
4.1.3 Diagrama de bloques	37
4.1.4 Cálculos de diseño	38
4.1.5 Diagrama desarrollado	41
4.1.6 Materiales a usar	42
4.2 Proyecto del receptor por modulación de frecuencia de pulsos	42
4.2.1 Propósito	42
4.2.2 Operación	42
4.2.3 Diagrama de bloques	44
4.2.4 Cálculos de diseño	45

4.2.5 Diagrama desarrollado	48
4.2.6 Materiales a usar	49
4.3 Proyecto de un visualizador de lectura digital del receptor	49
4.3.1 Propósito	49
4.3.2 Operación	49
4.3.3 Diagrama de bloques	50
4.3.4 Cálculos de diseño	51
4.3.5 Diagrama desarrollado	55
4.3.6 Materiales a usar	56
CAPITULO V	
PROYECTO DE UN SISTEMA DE CONTROL APAGADO-PRENDIDO DE NIVELES DE LIQUIDO EN RECIPIENTES	58
5.1 Propósito	58
5.2 Operación	58
5.3 Diagrama de bloques	60
5.4 Cálculos de diseño	61
5.5 Materiales a usar	62
5.6 Diagrama desarrollado	63
CAPITULO VI	
DIAGRAMAS DE INSTALACION	64
6.1 Tablero principal de control de la planta piloto de tostación	64
6.2 Instalación del visualizador de lectura digital de ph al tablero principal	66
6.3 Instalación del transmisor, receptor de control del phmetro al tablero n.2	67
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	68
BIBLIOGRAFÍA	73

PROLOGO

La electrónica digital ha sido una de las revoluciones tecnológicas de mayor impacto en nuestra vida moderna y uno de los campos del conocimiento de más rápido crecimiento en las últimas décadas. En el campo de la industria los equipos e instrumentos electrónicos son ampliamente usados en la actualidad y emplean tecnología digital.

Los sistemas digitales están presentes en casi todos los circuitos electrónicos modernos, mejorando, simplificando y dando mayor eficiencia al desarrollo industrial.

Los avances alcanzados en el campo de la electrónica digital han permitido el desarrollo y la fabricación masiva a bajo costo de circuitos integrales, así como la generación de aparatos y sistemas inteligentes de uso doméstico, comercial, industrial, automotriz, médico, científico, etc.

Todo este desarrollo ha sido posible gracias al milagro de la microelectrónica. Esta tecnología le ha permitido al hombre fabricar diminutas pastillas de silicio llamadas chips o circuitos integrados (sistemas completos que contienen miles de componentes electrónicos).

La introducción de los circuitos integrados hizo posible la miniaturización de los sistemas digitales, diversificó sus aplicaciones, masificó la producción y abarató los precios de los aparatos con tecnología digital.

La realización de la presente tesis tiene como propósito dar a conocer la elaboración y ejecución de cuatro proyectos prácticos, empleando diversos

circuitos integrados, en especial de tecnología digital, para resolver las necesidades y problemas aplicados a las plantas metalúrgicas en general.

Cada proyecto está constituido por las siguientes partes:

1. Propósito
2. Operación
3. Diagrama de bloques
4. Cálculos de diseño
5. Diagrama desarrollado
6. Materiales a usar

Esperamos que la presente tesis contribuya al mejoramiento de los equipos e instrumentos de control electrónico en las plantas metalúrgicas.

Se agradece al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico por la confianza y el apoyo brindados, con la finalidad de mejorar y modernizar la planta piloto de tostación de Cajamarquilla.

CAPITULO I

DESCRIPCION DE LA PLANTA PILOTO DE TOSTACION

1.1 Importancia del proceso de tostación

Esta planta piloto tiene importancia tecnológica a nivel nacional, porque sirve para resolver problemas de impurezas en el sector minero y brinda servicios en el diseño de algunos procesos industriales.

La tecnología de tostación sirve para la eliminación de arsénicos y otros contaminantes y su aplicación a diferentes tipos de minerales.

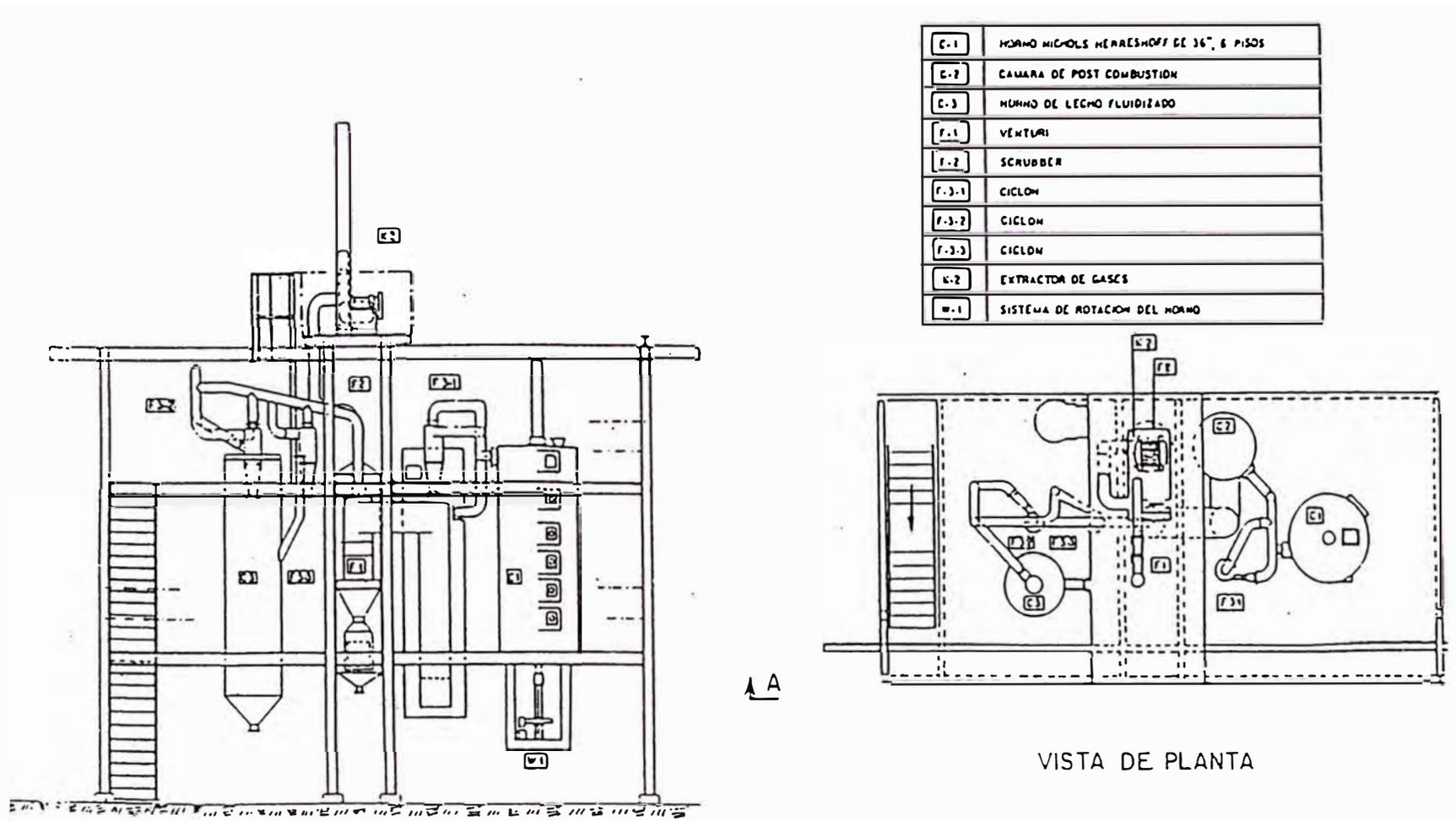
El Perú cuenta con muchos yacimientos metálicos con significativos valores de oro y plata, cuya explotación no ha sido viable, debido al contenido de arsénico y antimonio y otros contaminantes que se encuentran asociados.

Los principales servicios que brinda esta planta piloto de tostación son:

- Tostación de piritas (tostado a muerte en C.F.*)
- Tostación de concentrado de cobre arsenicales (tostación parcial selectiva desarsenizante en C.F., S.M.**)
- Tostación de concentrado de zinc (tostado en C.F.)
- Tostado de concentrados diferenciales de pirita y arsenopiritas auríferas (tostación en S.M. o C.F.)
- Tostación de concentrados de molibdeno (tostación S.M.)
- Tostación de concentrados de níquel-cobre (tostación parcial en S.M.)
- Tostación de concentrados de estaño (tostación ácido clorurante en S.M.)
- Tostación de concentrados de cobre, cobalto (tostación sulfatizante en C.F.)

* Horno de lecho fluidizado

** Horno de solera múltiple



VISTA A-A

PLANTA PILOTO DE TOSTACION

fig. 1.1

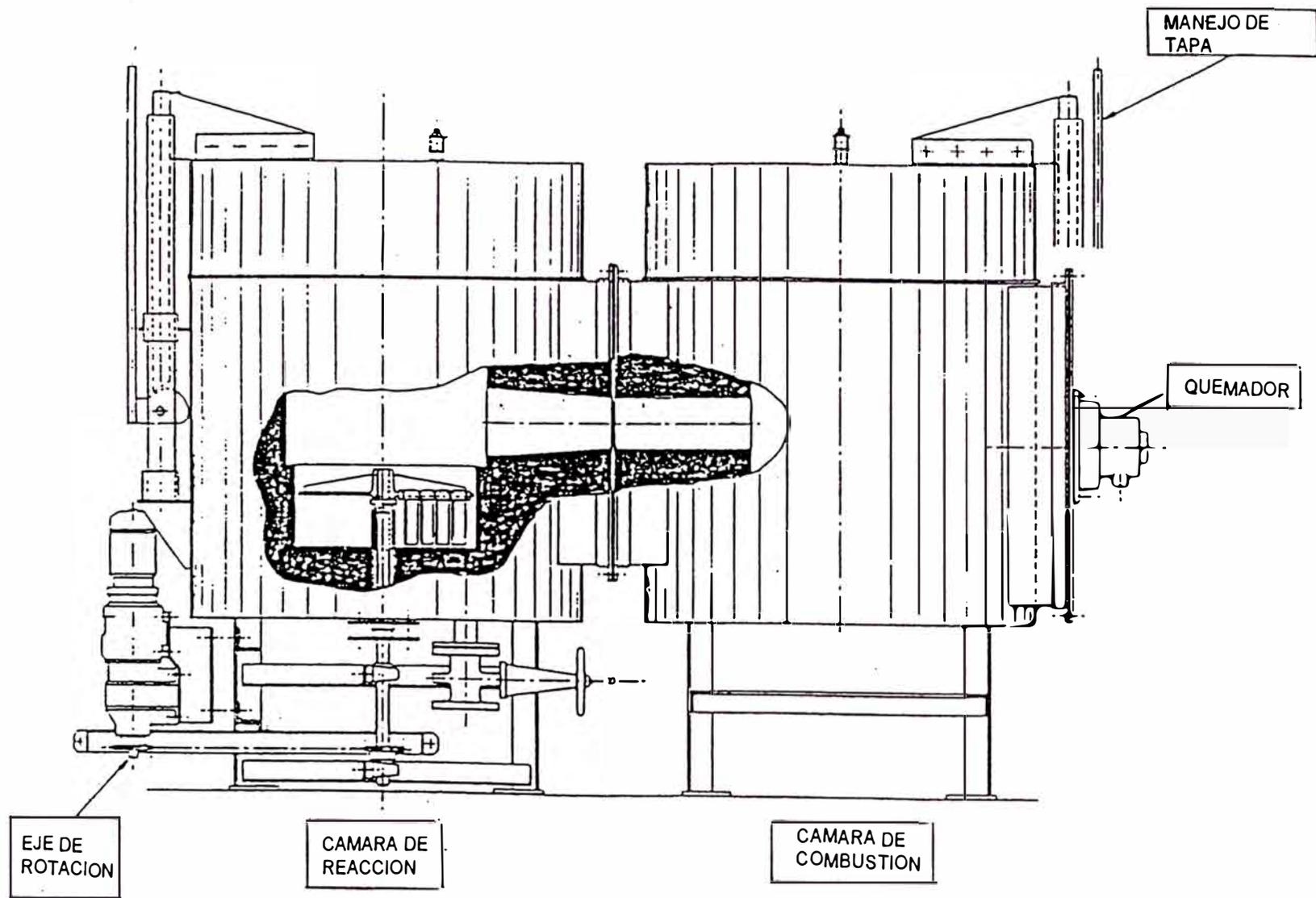


Fig. 1.2

Horno Batch de Laboratorio Planta Piloto de Tostación (Nichols Herreshoff).

- Tostación de concentrados complejos para eliminar arsénico, antimonio, mercurio, bismuto (tostación parcial en atmósfera controlada usando S.M., C.F.)
- Residuos metalúrgicos (matas de hornos de reverbero y residuo de lixiviación en S.M.)

1.2 Reseña histórica

Los problemas de impurezas de arsénico y antimonio y otros contaminantes que afectan a la pequeña y mediana minería de nuestro país, ha gravitado fuertemente para que el Ministerio de Energía y Minas y el INGEMMET, en colaboración con el Gobierno del Reino de Bélgica y de la Agencia de cooperación Técnica Belga AGCA, diseñen, construyan y pongan en marcha esta planta piloto de tostación.

El Ministerio de Energía y Minas en el año 1975 encarga al entonces INCITEMI la realización de estudios metalúrgicos para la desarsenización de concentrados de cobre, efectuando pruebas a nivel laboratorio en el Perú; posteriormente a nivel de planta piloto en Alemania y Bélgica. Con estos resultados se elabora un proyecto de prefactibilidad de una planta industrial de tostación.

En 1991, en virtud al programa de Cooperación Técnica Internacional OEA/BELGICA, para el desarrollo de la metalurgia extractiva del cobre se desarrollan las acciones de capacitación de profesionales peruanos, la realización de un seminario internacional de tostación en Bélgica con concentrado arsenicales de cobre y la donación de la planta piloto de tostación, cuya recepción se realiza en el INGEMMET en el mes de abril de 1984. Dicha donación consiste en:

- 1 horno de tostación de tipo laboratorio (Nichols Herreshoff, 18", I.D.)
- 1 horno piloto de tostación de lecho fluidizado

- 1 horno piloto de tostación de 6 pisos (Nichols Herreshoff 36", I.D.)

En el mismo año se realizan los estudios de ingeniería para la firma Díaz Deustua Ingenieros para su instalación en los terrenos de la UNI.

En 1985 se rediseña dicho estudio con el apoyo del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional de Ingeniería.

En 1987 los equipos de la planta piloto de tostación fueron trasladados a la Refinería de Zinc de Cajamarquilla, y a fines del mismo año se dio inicio al montaje de la planta, culminándose el 29 de abril e inaugurándose el 6 de mayo de 1988.

Finalizado el montaje de la planta piloto de tostación y días previos a la inauguración se procedieron a efectuar las pruebas electromecánicas en vacíos de los equipos de planta, así como el calentamiento de los hornos piloto batch y pilotos continuos.

El 11 de mayo de 1988 llegó al país la Misión Belga, con el profesor Jacques de Cuyper y el experto metalurgista Paul Dominique Oudenne, quien viene exclusivamente a efectuar el arranque, ajuste y puesta en marcha de la planta piloto de tostación, conjuntamente con el experto mecánico Luc Grapin, responsable del montaje de la planta por encargo de la firma Nichols Engineering, S.A. (NESA).

1.3 Capacidad de la planta

Horno batch de laboratorio planta piloto de tostación (Nichols Herreshoff).

(fig. 1.2):

- diámetro exterior	1000 mm
- diámetro interior	467 mm
- altura	2200 mm
- capacidad máxima	30 kg
- combustible	gas propano-butano

- flujo de gas máx. 3 mm³ / hr

Horno de tostación de lecho fluidizado (fig. 1.6)

- zona cónica diámetro variable h = 0.65 m
 - zona de lecho fluidizado (F = 300 mm h = 1.6 m)
 - zona superior F = 700 mm h = 1.64 m
 - capacidad calorífica (quemador) 150,000 Kcal (gas natural)
 - intercambiador de calor 1/2" de F
 - parrilla con 40 orificios de 4 mm de F
 - volumen horno 5 m x 5 m x 7.5 m = 187.5 m³
 - chimeneas 400 mm F h = 15 m

Horno de tostación de solera múltiple (fig. 1.4)

- N° de solera 6
 - diámetro interior 914 mm
 - superficie útil total 3 m²
 - N° de rastrillo por peso 4 con 4 rastras
 - r.p.m. de las rastras 0.17 - 0.5
 - capacidad 20 - 300 k / hr
 - capacidad calorífica de 6 quemadores 420 Kcal / h
 (gas natural / 60 m³ h)
 (no deben usarse quemadores de petróleo o carbón)
 - volumen del horno instalado 5 x 5 x 7 = 175 m³
 - peso del horno 20 toneladas

1.4 Ubicación

La planta piloto de tostación está construida a 22 km de la ciudad de Lima, en una pequeña quebrada adyacente a la quebrada de Jicamarca, en terrenos eriazos e improductivos a 450 m sobre el nivel del mar.

Acceso ferroviario para los suministros de los concentrados y el despacho de los productos. El ramal ferroviario es de aproximadamente 7 km de longitud entre la estación de Santa Clara en el Km. 23.6 del Ferrocarril del Centro y el ingreso a sus instalaciones.

Se cuenta con una carretera de segundo orden de aproximadamente 7.4 Km de longitud que enlaza a la refinería con la Carretera Central en su Km 12.

1.5 Distribución de la planta piloto de tostación

- 1 horno de tostación tipo laboratorio
- 1 horno piloto de lecho fluidizado
- 1 horno de tostación de 6 pisos
- 1 equipo que consta de cámara de postcombustión, venturi y scrubber para el tratamiento de gases.

1.6 Capacidad de operación de la planta (flow sheet)

La capacidad de la planta instalada es de 30 t / día y la capacidad operativa es de 2.5 t / día. Ver fig. 1.1.

1.7 Descripción de operaciones y procesos

Recepción de concentrados

Los concentrados en estudio son transportados por vía terrestre y almacenados en las canchas ubicadas dentro del perímetro de la planta piloto de tostación.

Horno de tostación tipo batch (fig. 1.2)

El horno piloto de tipo batch consta de 2 cuerpos cilíndricos verticales con recubrimiento refractario en el interior, unidos por un ducto de conducción de gases como se muestra en la fig. 1.2.

En la cámara de combustión reacciona el gas propano-butano con el oxígeno del aire mediante un quemador de + 50,000 Kcal / h, pasando los gases calientes a la cámara de reacción. En esta cámara se tiene montado un eje central que se fija un doble rastrillo con 8 dientes cuyas orientaciones permiten la remoción de material sólido hacia el centro y a la periferia del lecho.

El control de la atmósfera en el interior del horno está regulado por medio de diafragmas colocados en las tuberías de alimentación del aire como del gas de combustión.

Operación del Equipo:

El equipo es encendido y calentado hasta la temperatura conveniente para alimentar la muestra. Se procede del siguiente modo:

- Se destapa el horno y rápidamente se vierte el material al interior distribuyéndolo uniformemente (cerrando luego la tapa).
- Seguidamente, se regula la alimentación de gas y el aire para lograr la atmósfera de reacción requerida. La presión interna necesaria es obtenida regulando la compuerta de la salida de gases.
 - Se continúa el calentamiento hasta alcanzar la temperatura de trabajo, estabilizándola mediante los mandos de aire, gas y presión interna.
 - El control de estos parámetros son regulados y registrados cada media hora.

La calcina es enfriada y extraída del sistema por medio de un transportador helicoidal, y refrigerada por un sistema de serpentín con agua, los gases fluyen en contracorriente con el mineral para salir por la parte

superior hacia un ciclón que permite la recuperación por el under flow de las partículas en suspensión.

El over flow pasa a la cámara de post-combustión donde los sulfuros de Aa, Sb y S elemental producido, en el caso del concentrado de arsenopirita, combustionan formando óxidos, los cuales son arrastrados por los gases hacia el venturi y scrubber, donde son neutralizados y lavados por acción de una solución de hidróxido de sodio.

Horno de tostación de lecho fluidizado

Descripción y datos del Equipo (fig. 1.6)

El horno de lecho fluidizado se compone de tres zonas:

- una caja de aire
- una zona de lecho fluidizado
- una zona libre o de desenganche

La zona de lecho fluidizado está separada de la caja de aire por la parrilla de distribución del aire de fluidización.

La caja de aire es de forma cilíndrica y del mismo diámetro que la zona del lecho de fluidización y está equipado por la tubería de admisión de aire. El aire es suministrado por un supresor volumétrico.

La zona de fluidización es la parte donde se efectúa la tostación y está equipado de orificios para:

- serpentín de acero para el control de temperatura del lecho
- la alimentación del material al lecho
- la descarga del lecho
- puntos de termocupla y sonda de presión
- La toma de muestra se efectúa en forma horaria, abriendo la tapa del horno y muestreando en la zona de reacción con una cuchara fabricada para el

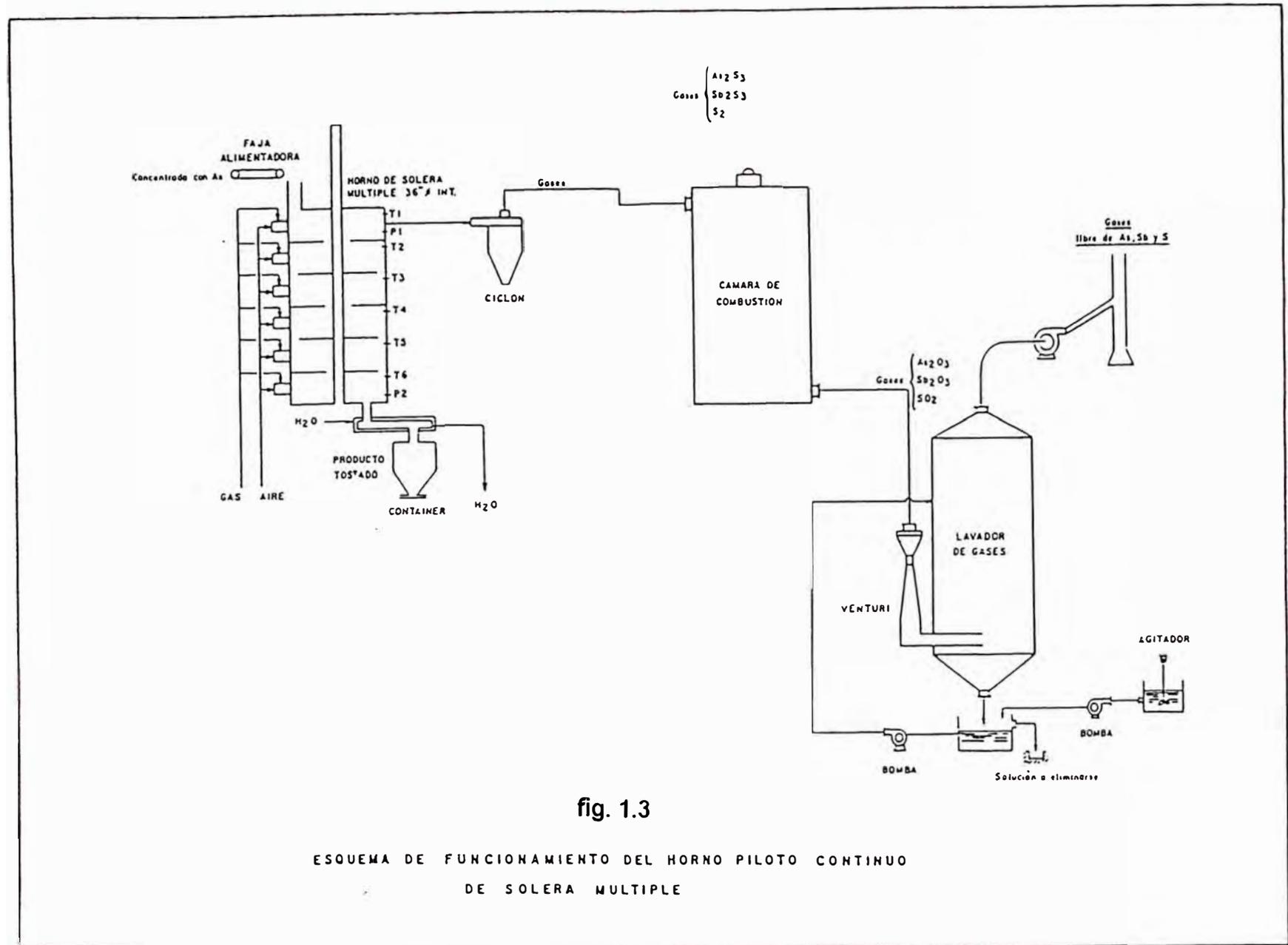
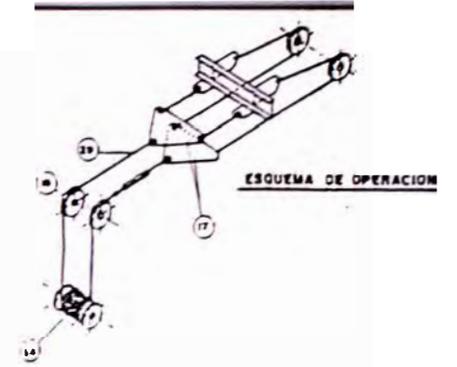
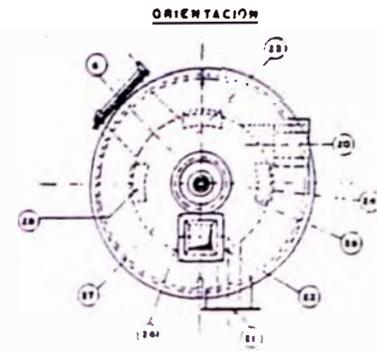
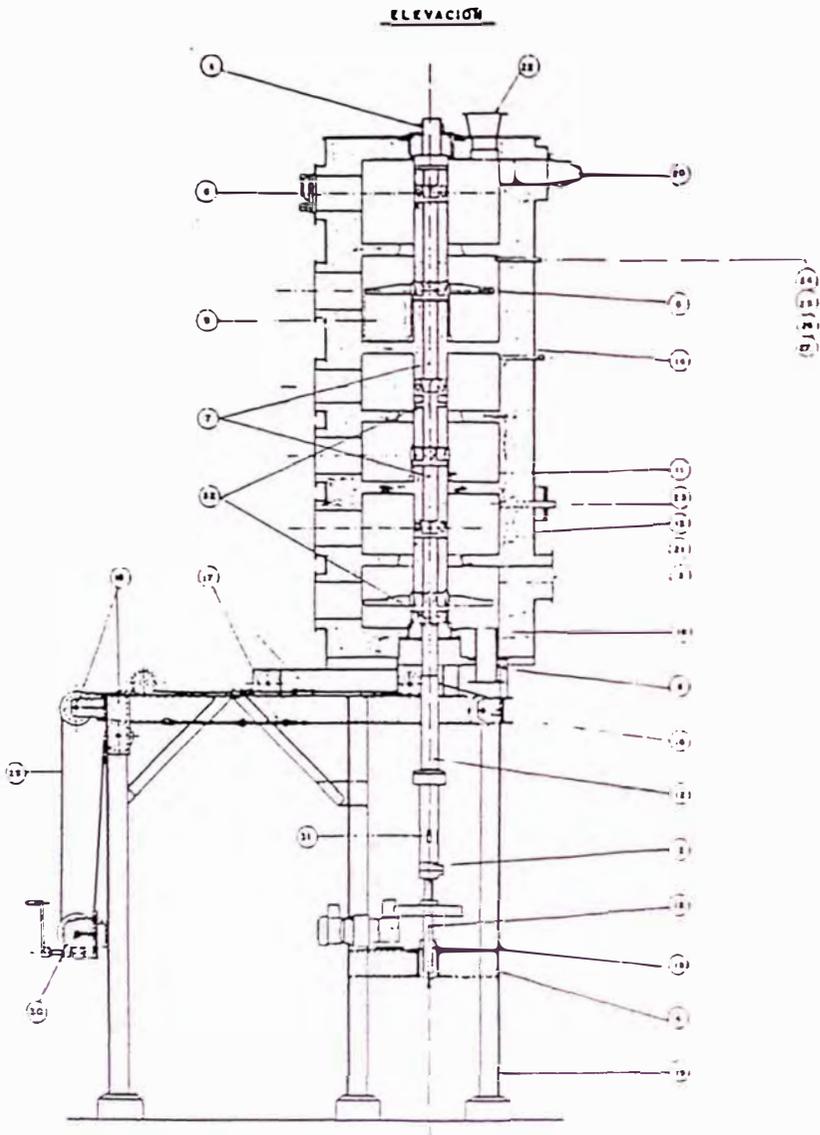


fig. 1.3

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL HORNO PILOTO CONTINUO DE SOLERA MULTIPLE



DESCRIPCION

1. Unión y soporte superior del eje
2. Eje
3. Unión y piso inferior
4. Chumacera superior del eje
5. Salida de productos
6. Ventana de trabajo p 1/2" y 15" en cada piso
7. Eje
8. Brazos del rastrillo
9. Rastrillos
10. Dientes de rastrillo
11. Unión del eje con el piso
12. Eje
13. Cubierta
14. Ladrillos refractarios
15. Mecanismo de movimiento
16. Unión del fondo
17. Estructura móvil
18. Soporte de partes de movimiento
19. Estructura de soporte del horno
20. Quemadores para cada piso
21. Salida de gas en cada piso
22. Tolva de alimentación
23. Inyectores de combustible de cada piso
24. Tomas de presión de cada piso
25. Termocuplas cada piso
26. Entrada de aire cada piso
27. Tomas de muestra de gas de cada piso
28. Orificios esféricos de descarga de cada piso
29. Cable para el mecanismo de movimiento
30. Esquema de mecanismo de movimiento
31. Entrada de aire frío
32. Unión

Horno de tostación de solera múltiple

fig. 1.4

caso. Esta operación debe ser rápida y observando estrictamente las normas de seguridad.

- Terminada la operación, se para el eje del horno de tostación abriendo la válvula de descarga para dejar caer la arena de cuarzo utilizando como relleno en el ducto de salida. Seguidamente se procede a descargar la calcina final, procediendo después a efectuar la limpieza y mantenimiento del equipo.

Horno piloto continuo de solera múltiple

Descripción del equipo (fig. 1.4)

- El horno piloto Nichols Herreshoff consiste en un cilindro vertical en cuyo interior se disponen 6 pisos con recubrimiento refractario, un eje central vertical al que están fijados 4 rastrillos para cada solera que gira para transportador y mantener homogéneo el material de piso a piso.
- A nivel de cada piso o solera, se haya un quemador de gas propano butano de 75,000 Kcal / hr. Dichos quemadores son independientes y se controla por medio de la alimentación del combustible y aire, permitiendo conseguir un perfil térmico deseable para cada proceso.
- En la parte superior del horno se instala una faja transportadora de velocidad regulable para la alimentación del material al horno, que antes de entrar al reactor pasa por una doble válvula, mecanismo que asegura la estabilidad de la presión interna.

Operación del equipo:

El arranque de la planta piloto de tostación se efectúa de acuerdo a las instrucciones de operación del manual correspondiente.

Una vez conseguido el perfil de temperatura de trabajo y atmósfera requerido en cada piso, se inicia la alimentación del material a tratarse a través de la faja transportadora, el material cae de piso a piso por arrastre de

los rastrillos hacia los orificios de caída, hasta llegar al último piso que es la toma de descarga.

La zona libre o zona de desenganche gas-sólido está situado en la parte superior del horno con un diámetro interno de 700 mm, está equipado por termocupla y toma de presión por un quemador de 200,000 Kcal /hr para el calentamiento del horno.

En la bóveda superior del horno se encuentra la salida del gas y de grifo de alimentación de agua.

Operación:

La alimentación del material se realiza por un tornillo sinfín movido por un motor de velocidad variable para el ajuste del caudal. Una exclusiva rotativa asegura la estabilidad de presión interna al nivel de alimentación, el que se sitúa a más o menos un metro del nivel de la parrilla.

Cuando las reacciones son exotérmicas y que el proceso requiere el control de la temperatura del lecho, la extracción del calor se efectúa por medio del serpentín del tipo retractable; el calor extraído es función de la longitud de penetración del serpentín y del caudal del agua refrigerante.

Cuando las reacciones son endotérmicas y después del calentamiento con ayuda del quemador, es el aporte calorífero necesario se efectúa con la inyección del agua directamente al nivel de la parrilla.

Los humos de la tostación salen del horno para pasar a dos ciclones puestos en serie y luego al sistema de tratamiento de gases compuesto por un venturi y torres de absorción; los gases desulfurados finalmente son extraídos por un ventilador de tiro hacia la chimenea.

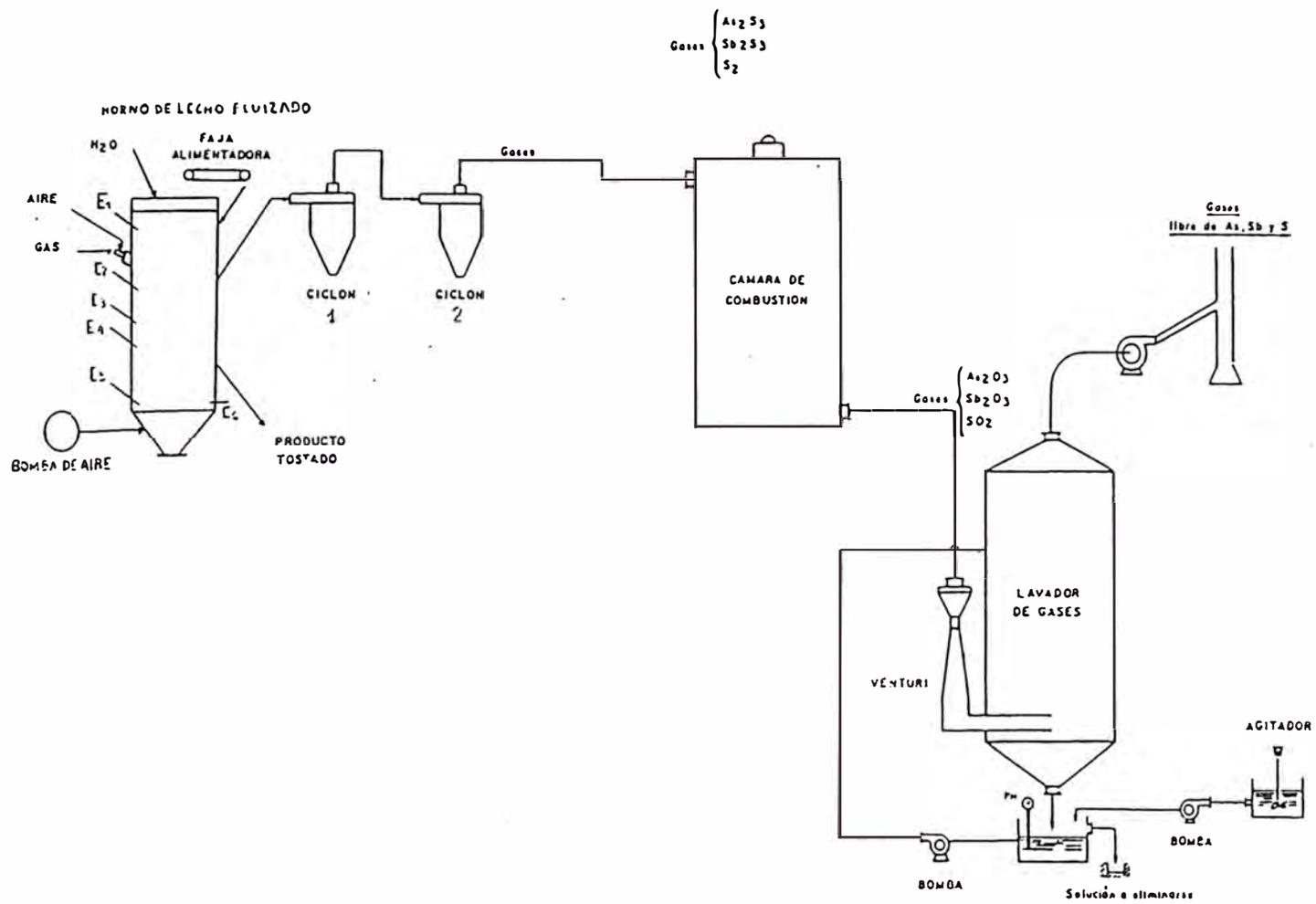
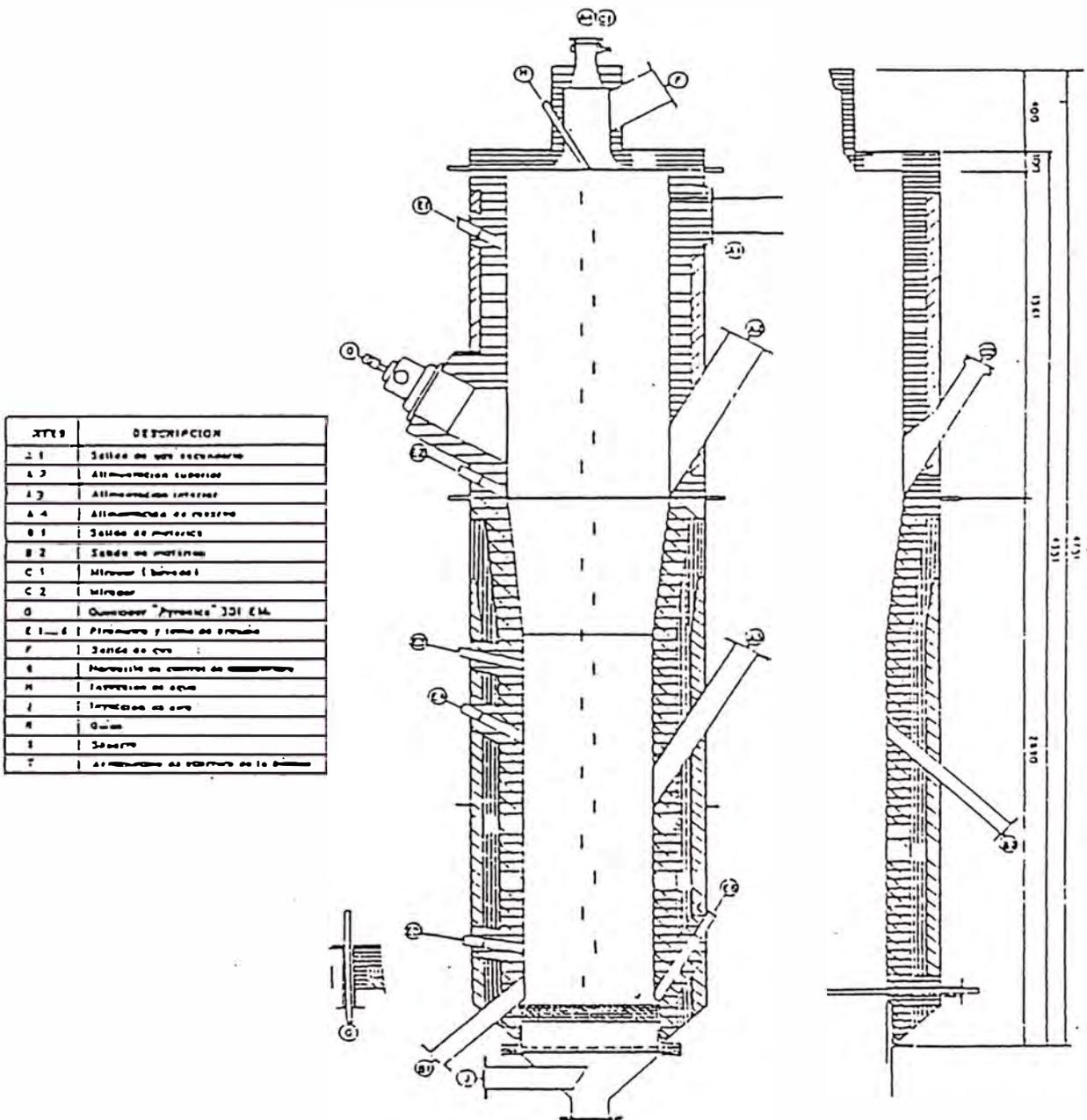


fig. 1.5

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL HORNO DE LECHO FLUIDO



Horno de tostación de lecho fluidizado

fig. 1.6

1.8 Espacios complementarios de la planta piloto de tostación

Cancha de almacenamiento de concentrados

tamaño área 13 m x 4.4 m = 57.2 m²

Cancha de almacenamiento de calcinas

El almacenamiento de calcinas se realiza en container.

1.9 Relación de máquinas y equipos instalados

Horno de laboratorio tipo batch (18" F)

Cantidad	02	
Forma	cilíndrica	
Construcción del horno	acero inoxidable	
Quemador	gas butano-propano	
Soplador	motor trifásico	0.75 Kw
Rastrillo	motor reductor 3 F	0.75 Kw

Horno continuo de tostación de solera múltiple (36" F)

Tipo de horno	cilíndrico vertical	
Número de pisos	6 pisos con recubrimiento refractario	
Capacidad	75,000 Kcal / h / piso	
Extractor de gases (Exhaust Fan)	motor 3 F	11 Kw
Regulador automático	motor 3 F	0.65 Kw
Válvula de alimentación	motor 3 F	0.12 Kw
Faja alimentadora	motor 3 F	0.4 Kw
Eje de rastrillo	motor 3 F	0.75 Kw
Soplador	motor 3 F	3.3 Kw
Válvula de descarga	motor 3 F	0.55 Kw
Gusano enfriador	motor 3 F	0.55 Kw
Válvula rotatoria	motor 3 F	0.55 Kw

Descarga de calcina	RPM 1883	
Bomba de tanque de neutralización	motor 3 F	2.2 Kw
Bomba de tanque de mezclador (sol. neutral.)	motor 3 F	0.75 Km
Agitador de tanque de mezclado (sol. neutral.)	motor 3 F	0.13 Kw
Bomba de recirculación de poza	motor 3 F	0.9 Kw
Horno de lecho fluidizado		
Compresor de aire (superior)	motor 3 F	11 Kw
Compresor de gas 1.5 K / cm ²	motor 3 F	1.5 Kw
Sistema de agitación	motor 3 F	1.5 Kw
Extractor de gases	motor 3 F	5.5 Kw
Sistema de alimentación	motor 3 F	1.5 Kw

1.10 Relación de equipos e instrumentos de control

Horno de laboratorio tipo batch (18" F)

1 Panel de control que contiene:

un registrador gráfico de temperatura

3 medidores de presión por diafragma, instalados en:

cámara de combustión

horno batch (reactor)

salida de gases

2 flujómetros por diafragma, instalados en:

tubería de gas

tubería de aire.

Horno continuo de tostación de solera múltiple (36" F)

- Regulador automático/manual de la compuerta de salida de gases. En forma automática controla la compuerta cuando el operador escoge un rango de presión. Desde el panel principal se opera el regulador y se complementa con un juego de led's que indican cuándo la compuerta se abre o cierra.
- Regulador automático de tratamiento de agua. Este equipo se encuentra incompleto en la planta sólo cuenta con un instrumento de medición de ph.
- Un registrador de temperatura de las 6 soleras.
- 6 medidores de presión por diafragma en cada una de las 6 soleras.
- 6 flujómetros para el control del aire de los quemadores.
- 6 flujómetros para el control de gas de los quemadores.

Horno de lecho fluidizado

Un registrador gráfico de temperaturas, instalado:

- nivel alto
- nivel medio
- nivel bajo

6 medidores de presión por diafragma, instalados en diferentes niveles.

3 flujómetros para medir el aire

- 2 para el control de los quemadores
- 1 para el control del compresor de aire

2 flujómetros para medir el gas de los dos quemadores.

1.11 Abastecimiento de energía eléctrica

La energía eléctrica para poner en funcionamiento la planta piloto de tostación, ha sido calculada de acuerdo a los datos de máquinas, motores y equipo de control.

Horno de tostación batch

1.5 Kw

Horno de tostación de solera múltiple y sistema de tostación de polvos y gases	21.85 Kw
Horno de lecho fluidizado	21.00 Kw
Consumo total de toda la planta piloto de tostación:	44.50 Kw

1.12 Abastecimiento de agua a la planta de tostación

Se recepciona el agua proveniente de la Refinería de Cajamarquilla (Minero Perú) en dos tanques $V_1 = 5.8 \text{ m}^3$ y $V_2 = 5.8 \text{ m}^3$, siendo el volumen total:

$$V = 11.6 \text{ m}^3.$$

El agua es utilizada para la refrigeración del venturi al serpentín del horno de lecho fluidizado y al transportador helicoidal.

La preparación de la solución neutralizante se realiza con NaOH o cal. La neutralización de los gases es producida con un lavador que trabaja con un sistema de recirculación constituido por un tanque espesador, una bomba de recirculación y un pozo de concreto de volumen:

$$V = 2.77 \times 4.145 \times 1 = 11.5 \text{ m}^3.$$

CAPITULO II

PROYECTO DE UN VISUALIZADOR DE LECTURA DIGITAL DE PH AL TABLERO PRINCIPAL DE CONTROL

2.1 Propósito

Queremos implementar en el tablero principal un medidor digital cuya señal es obtenida por un phmetro analógico instalado en la misma planta.

Las características del phmetro analógico son:

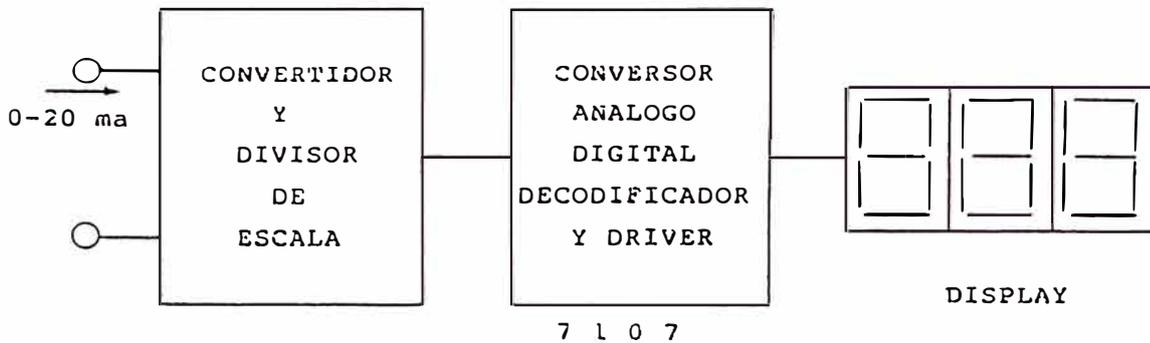
- escala de medida de 0 a 14
- rango variable de salida en miliamperios de 4 - 20 ma y 0 - 20 ma.

2.2 Operación

Para esta implementación utilizaremos un circuito integrado ICL 7107, elaborado especialmente para diseñar y construir fácilmente todo tipo de instrumentos digitales de medida. El circuito 7107 está fabricado con tecnología Cmos y contiene en su interior varios circuitos completos, siendo su principal función la del conversor A/D (analógico digital) y un decodificador para manejar display de led's de 3 dígitos.

Puede medir voltajes positivos y negativos y para ello debe de alimentarse con un voltaje $\pm 5v$. Su rango de entrada de voltaje es de 0 a 100 mv a plena escala. Cuando se unen los pines 30 y 31 de entrada. El IC automáticamente se autocalibra en cero y basta tener un voltaje exacto de referencia para ajustar el único trimmer y calibrarlo.

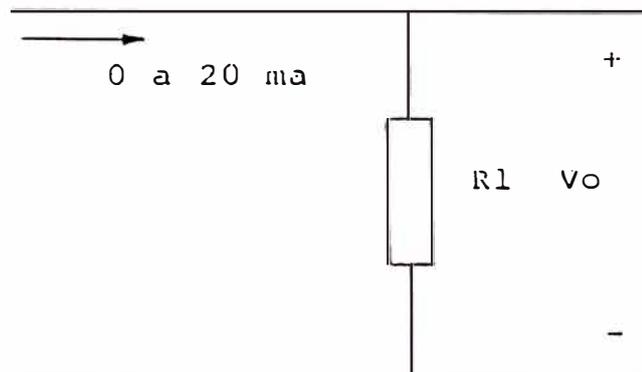
2.3 Diagrama de bloque



2.4 Cálculos de diseño

Convertidor de corriente a voltaje

Sólo necesitamos de una resistencia en paralelo para convertir corriente a voltaje.



Cálculo del valor de la resistencia para obtener variaciones de voltaje de 0 a 100 mv

$$\text{como: } R = \frac{V}{I} = \frac{100 \text{ mv}}{20 \text{ ma}} = 5 \text{ ohmios}$$

$R1 = 5 \text{ ohmios} - 0.5 \text{ w}$

Resistencia de precisión

Esta resistencia se colocará cerca del ICL 7107

Circuito integrado ICL 7107

Distribución de pines

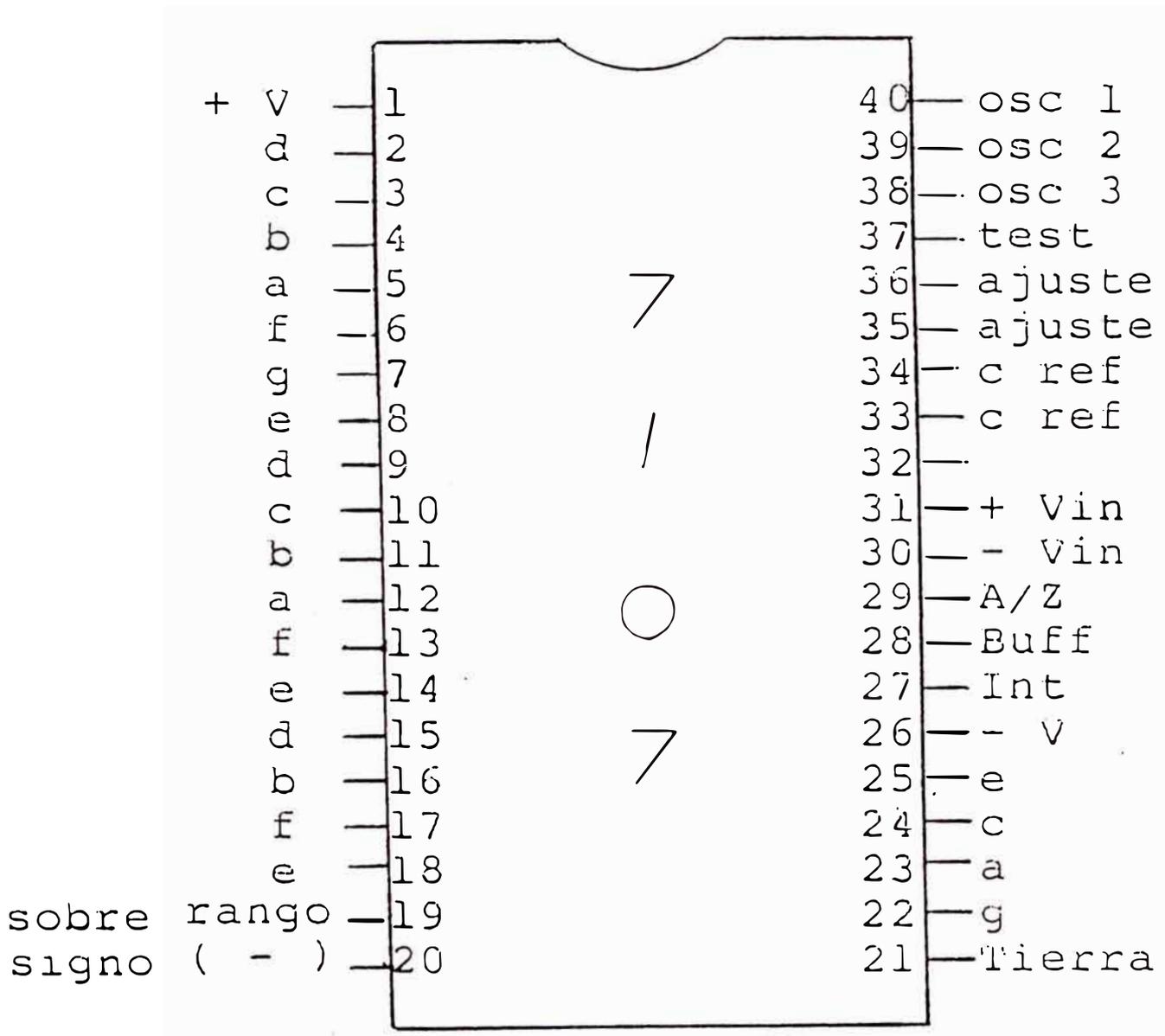


Fig. 2.1

2.6 Materiales a usar

R ₁	Resistencia de precisión	5 ohmios - 0.5 w
R ₂	Resistencia	47 K ohmio - 0.25 w
R ₃	Resistencia	5.6 K ohmio - 0.25 w
R ₄	Trimmer	5 ohmio precisión
R ₅	Resistencia	100 ohmios - 0.25 w
R ₆ , R ₇ , R ₈	Resistencia	220 ohmios - 0.5 w
C ₁	Condensador	0.22 uf - 50 v
C ₂	Condensador	0.47 uf - 50 v
C ₃	Condensador	0.01 uf - 50 v disco
C ₄	Condensador	0.01 uf - 50 v disco
C ₅	Condensador	100 uf - 50 v disco
C ₆	Condensador	0.047 uf - 50 v disco
C ₇	Condensador	10 uf - 25 v electrolítico
D ₁ y D ₂	Diodo	IN 4148
IC ₁	ICL 7107	
IC ₂	CD 4049 b	
DIS ₁ , DIS ₂ ,		
DIS ₃	display de Ac La 6960	
D ₃ , D ₄	2 Led miniatura	

CAPITULO III

PROYECTO DE UN SISTEMA DE CONTROL APAGADO-PRENDIDO DE UN PHMETRO

3.1 Propósito

En el punto anterior implementamos un phmetro digital en el tablero principal de control. Ahora trataremos de completarlo colocando al lado del ph digital un control manual con rango de 0 a 14 ph, de tal manera que el operador pueda elegir una graduación de ph para que el proceso de recirculación de bombeo de agua del "scrubber" (limpiador de gases) conserve automáticamente un ph uniforme.

La planta piloto de tostación en sus dos modalidades: multisolera y lecho fluidizado trabajan generalmente con minerales que contienen sustancias como arsénico, antimonio y otros contaminantes que al calentarlos desprenden gases tóxicos y que al neutralizarlos con una lluvia de agua (scrubber - limpiador de gases) los vuelven al agua ácida.

Por tal motivo, el control del ph en el recipiente de agua del scrubber es muy importante y cumple dos puntos básicos:

- a) controla y reduce la contaminación ambiental
- b) protege todo el sistema del limpiador de gases como:

tuberías, electrobombas e instrumentos de medida en general.

Un sistema de control industrial puede definirse como un medio a través del cual se mantiene o altera una variable o cantidad e interés de un proceso de acuerdo a un patrón de comportamiento deseado.

El sistema de control diseñado nos permite mantener un ph elegido y esto se logra bombeando hidróxido de sodio (NaOH) al reservorio del "scrubber"

para neutralizar el agua ácida. El sistema controla el prendido de la bomba cuando el ph del recipiente del scrubber es menor que el ph elegido. Y la bomba se apaga cuando el ph del recipiente del scrubber es mayor que el ph elegido.

Para tener una mejor idea, vamos a mostrar un diagrama generalizado del sistema limpiador de gases "scrubber"

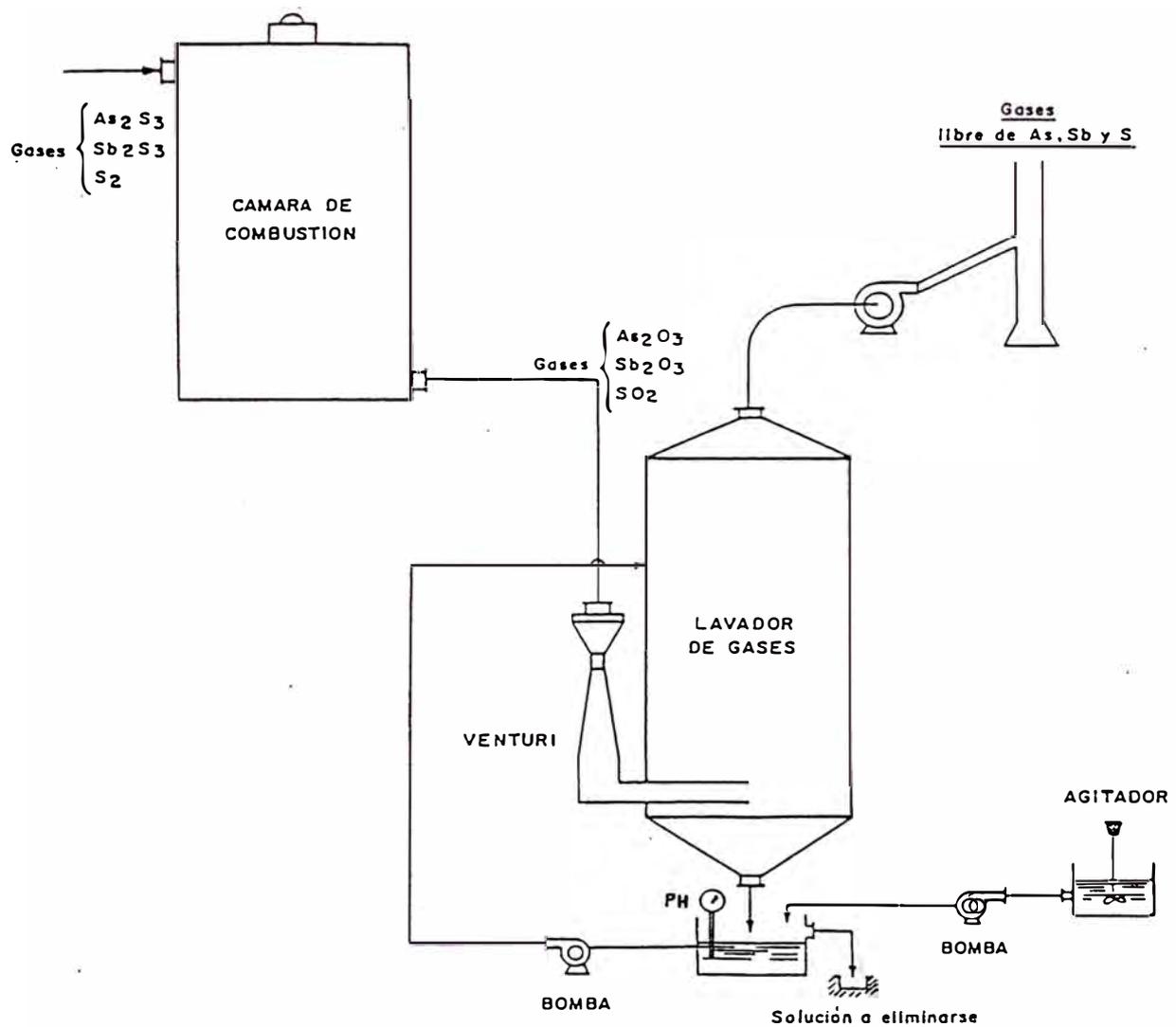


Fig. 3.1

3.2 Operación

El diseño se basa en un comparador LM 339 que va a comparar dos señales:

- a) Un voltaje de medición de ph digital con un rango de 0 a 100 mv proporcional a la escala de 0 a 14 ph. Esta señal proviene de un instrumento de medición de ph, descrito en el punto anterior (2).
- b) Un voltaje de referencia con rango de 0 a 100 mv proporcional a la escala de 0 a 14 ph. Este voltaje proviene de una fuente regulada y el operador elige una graduación de ph; esto se consigue mediante un potenciómetro que trabaja como un divisor de voltaje.

mv	0	7.1	14.1	21.4	28.5	35.7	42.8	50.0	57.1	64.2	71.4	78.5	85.7	92.8	100
ph	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

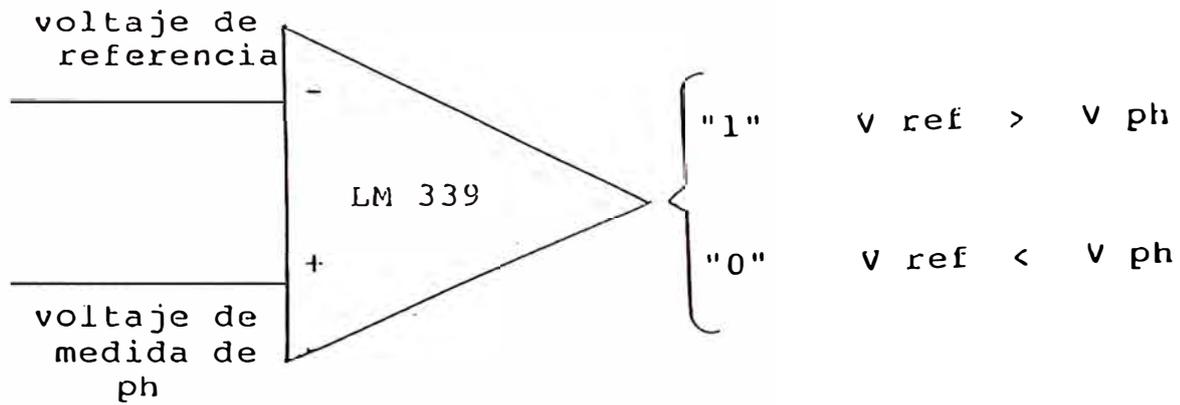
ESCALA LINEAL DEL POTENCIOMETRO DEL VOLTAJE DE REFERENCIA

Cuadro 3.1

Para tener una mejor sensibilidad y precisión es necesario amplificar la señal tanto del voltaje de medición del phmetro, como del voltaje de referencia, ya que el rango de ambos son de 0 a 100 mv, lo amplificamos por 20.

Por sus características de un amplificador ideal (alta ganancia de voltaje, alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida y excelente respuesta en frecuencia) utilizamos el amplificador operacional 741.

La salida del comparador LM 339 es

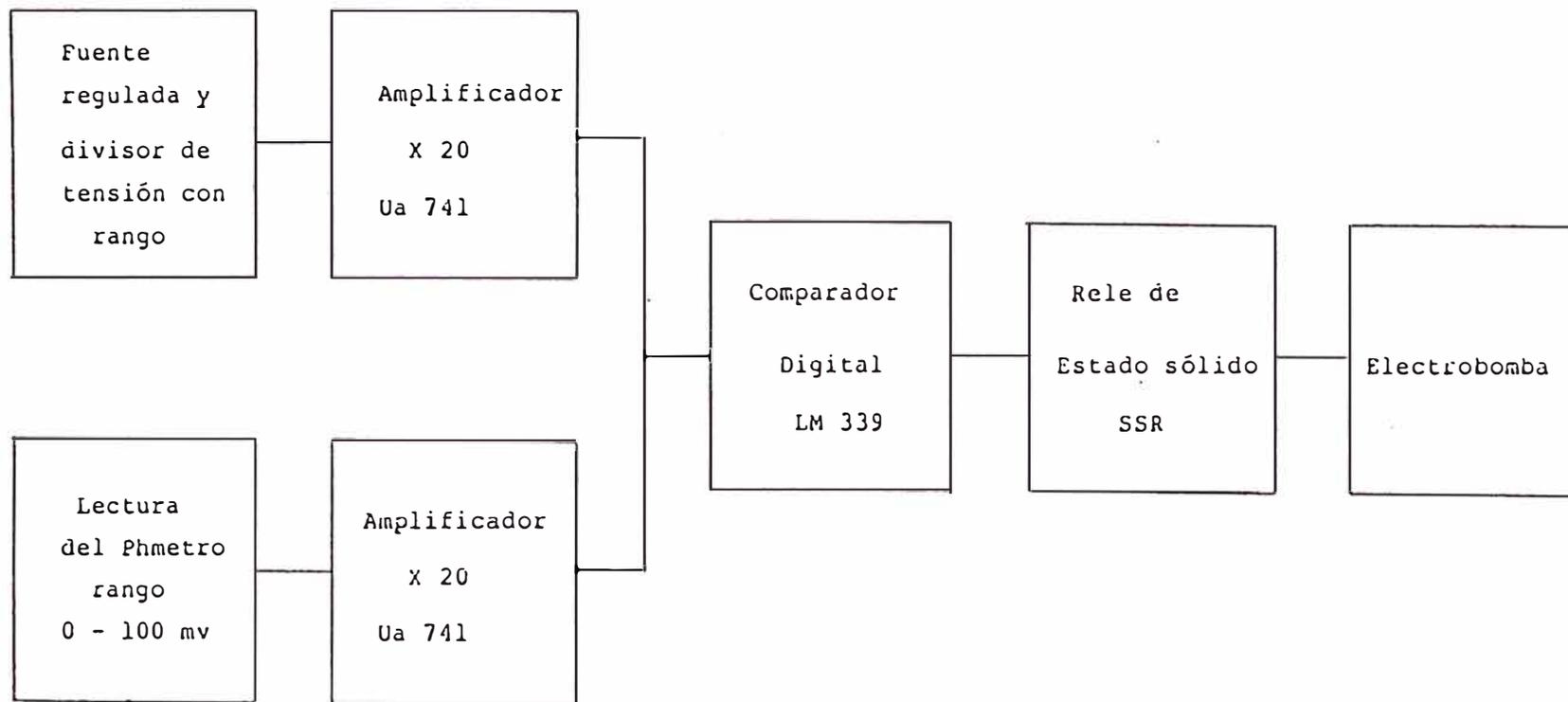


"1" uno lógico equivale a 5 voltios

"0" cero lógico equivale a 0 voltios.

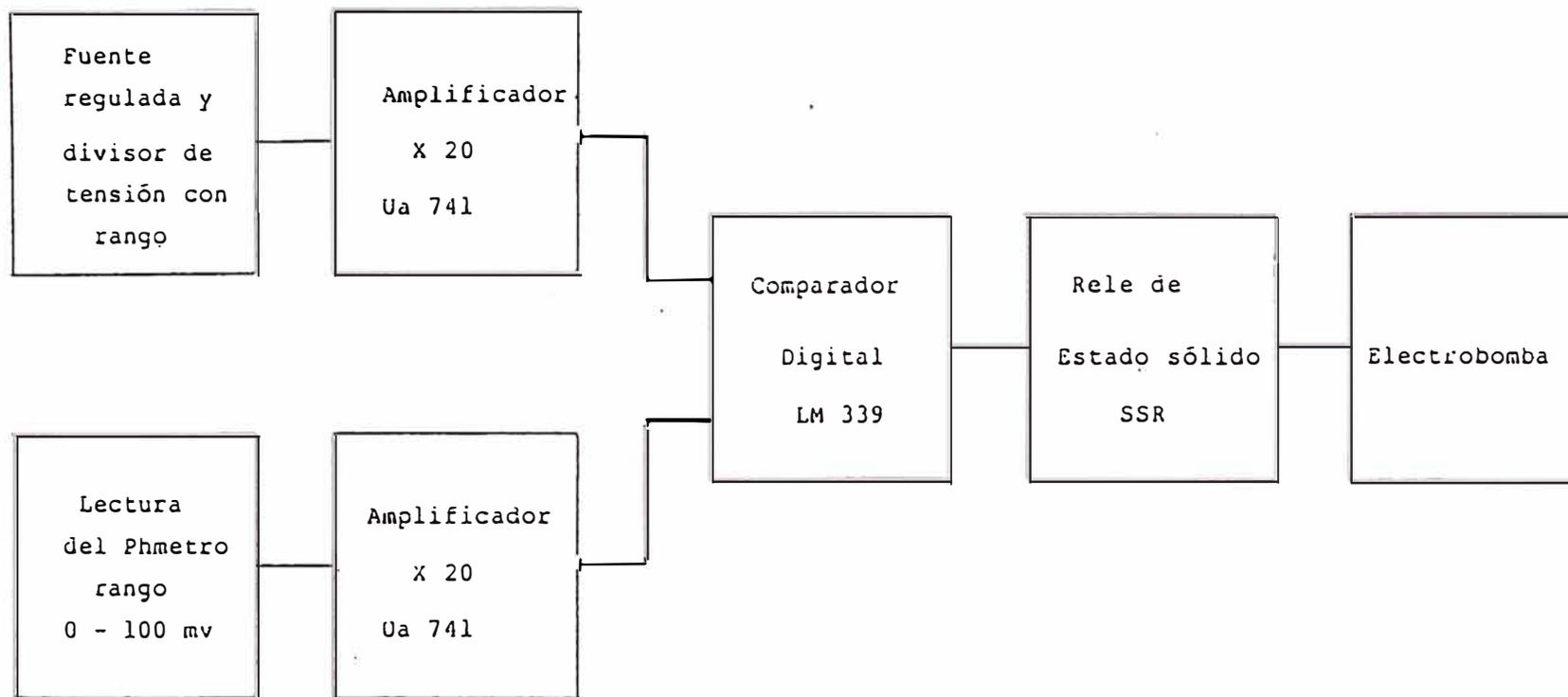
Las salidas del comparador pueden ser manejadas por un relé de estado sólido "SSR" que conecta y desconecta la electrobomba.

3.3 Diagrama de bloques



SISTEMA DE CONTROL APAGADO-PRENDIDO DE UN PHMETRO

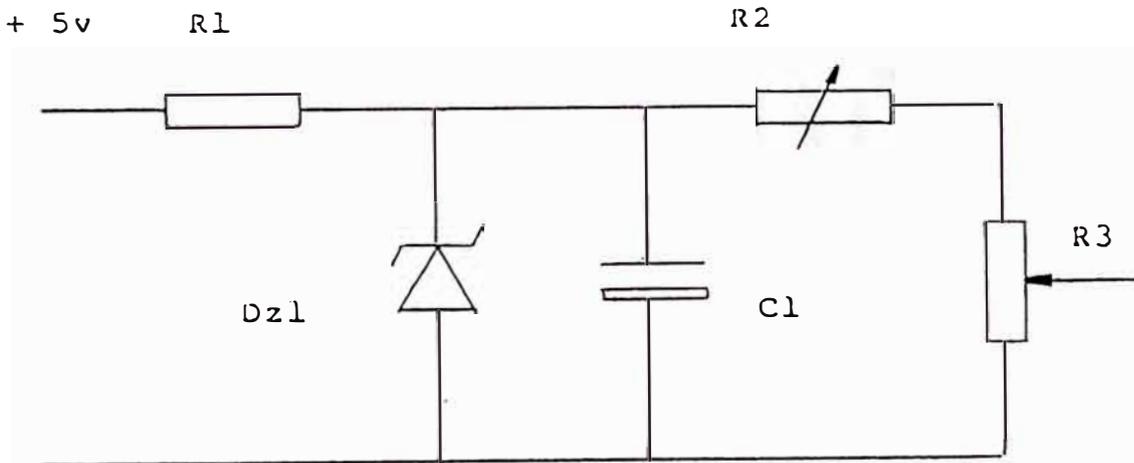
3.3 Diagrama de bloques



SISTEMA DE CONTROL APAGADO-PRENDIDO DE UN PHMETRO

3.4 Cálculos de diseño

Diseño de la fuente regulada y cursor de divisor de tensión



Elegimos un DZ_1 de 2.4 - 0.5 w

$$i_{z1} = \frac{P}{v} = \frac{0.5}{24} = 200 \text{ ma}$$

$$R_1 \text{ min} = \frac{5 - 24}{300 \text{ ma}} = 8.6 \text{ ohmios}$$

$$R_1 \text{ max} = \frac{5 - 24}{200} = 10.4 \text{ ohmios}$$

Se cumple que:

$$i = \frac{2.4 - 0.1}{R_2} = \frac{0.1}{R_3} \quad R_2 = 2.3 R_3$$

Por ser impedancia alta $R_3 = 200 \text{ ohmios} - 0.5w$

De la relación $R_2 = 460 \text{ ohmios} - 0.5 w$

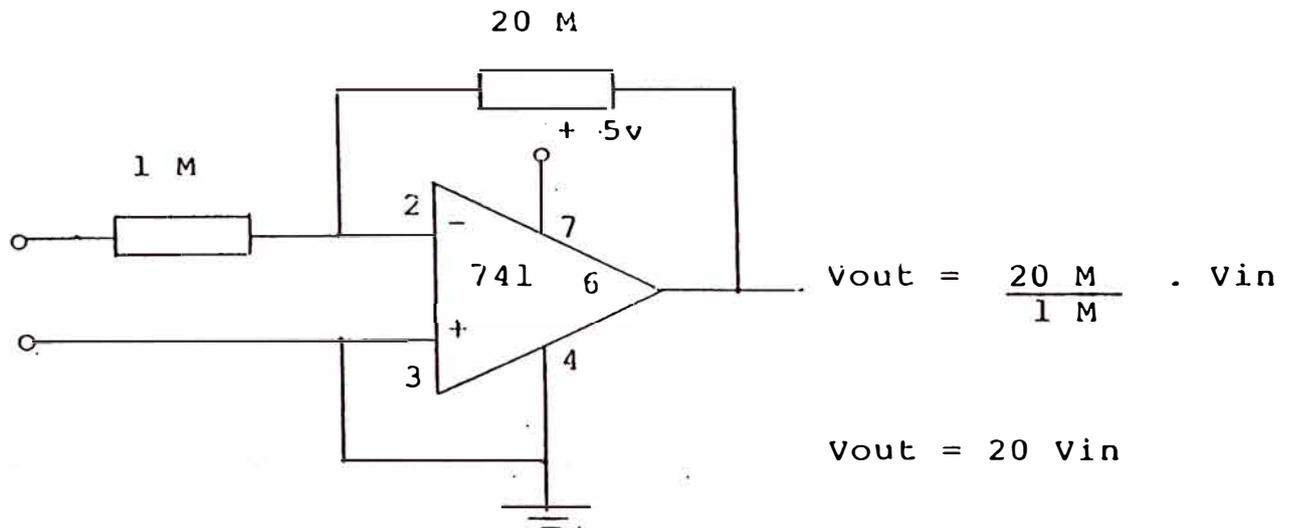
R_2 es regulable y de precisión

R_3 es un potenciómetro lineal de precisión en el cual se gradúan niveles correspondientes a 0 - 14 de ph

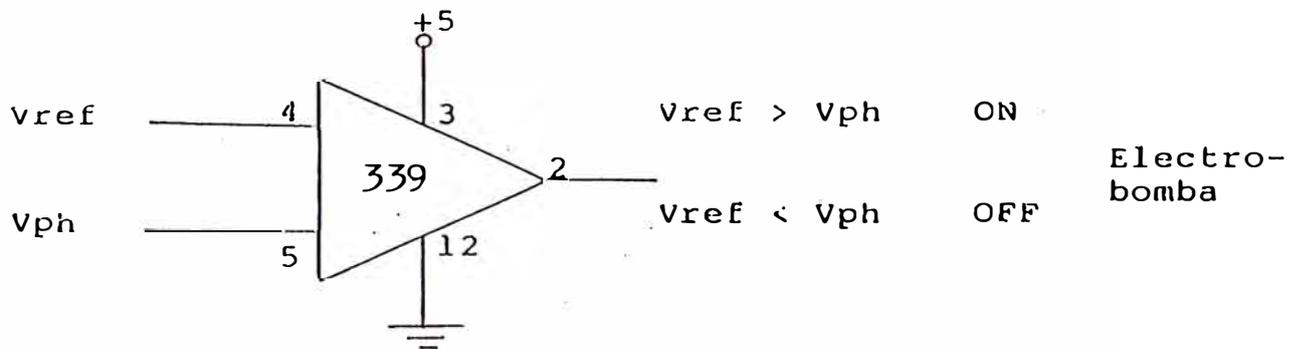
Amplificadores de señal de voltaje

Empleamos dos amplificadores operacionales con una realimentación externa y ganancia de 20.

Cada amplificador operacional se diseñará:

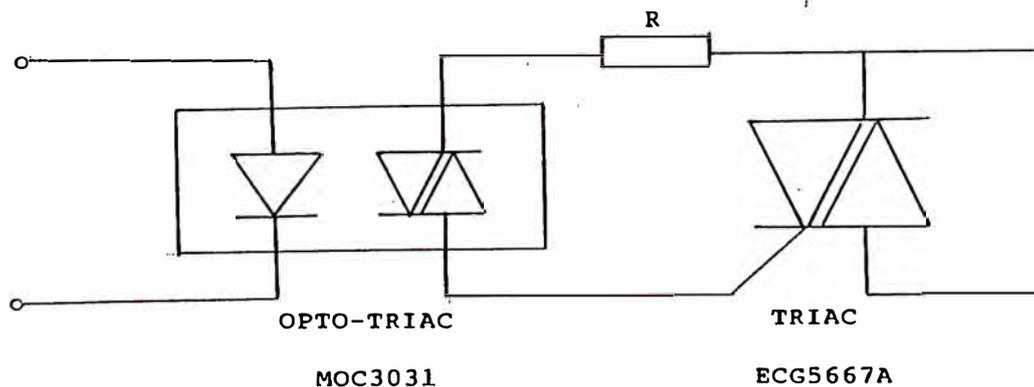


Comparador LM 339

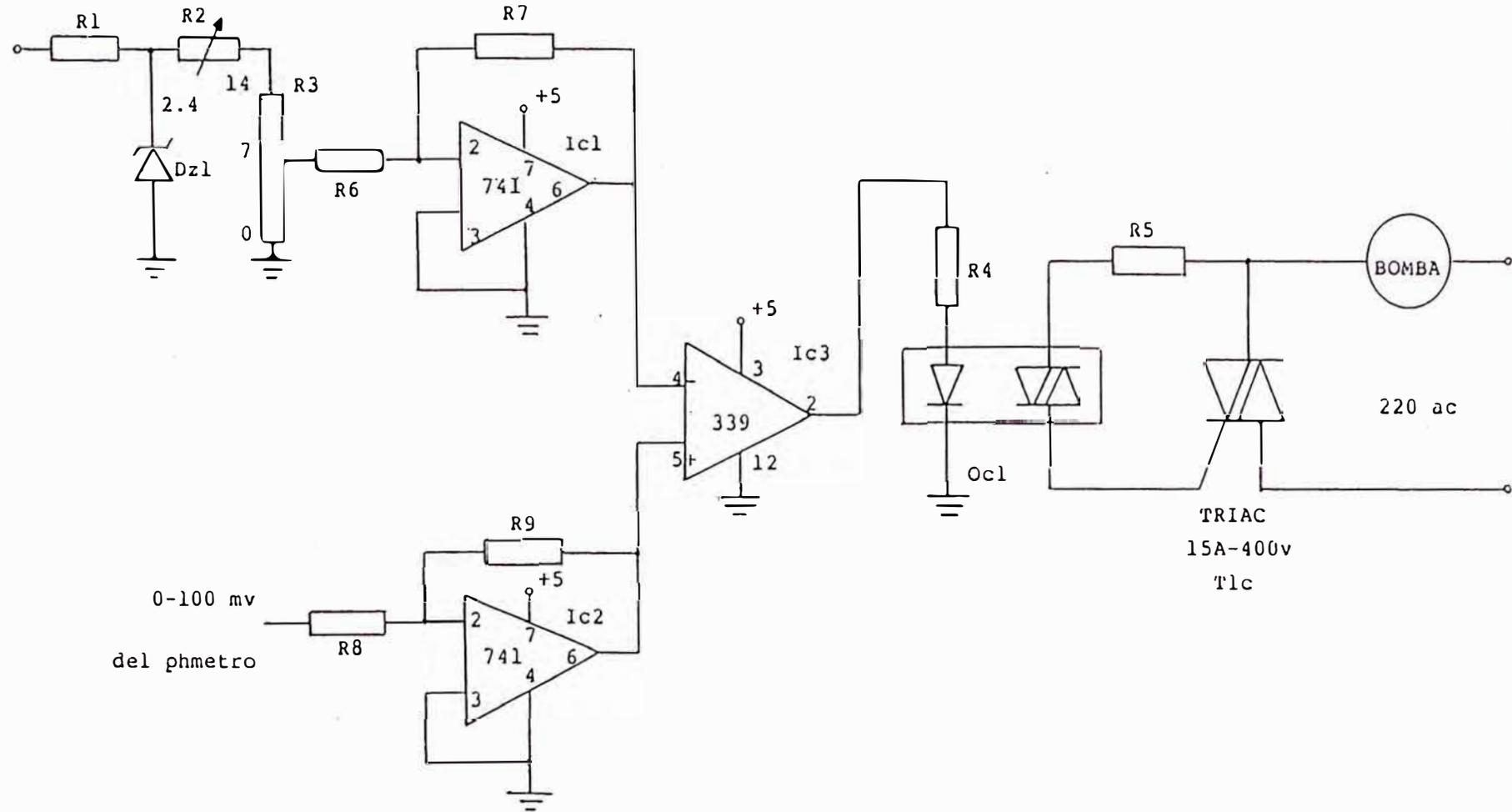


Relé de estado sólido

Utilizamos un optotriac, seguido de un triac de potencia



3.5 Diagrama desarrollado



SISTEMA DE CONTROL APAGADO-PRENDIDO DE UN PHMETRO

3.6 Materiales a usar

R ₁	Resistencia	10 ohmios - 1 w
R ₂	Pot-ajuste de precisión	500 K ohmio - 0.5 w
R ₃	Pot-lineal de precisión	250 K ohmio - 0.5 w
R ₄	Resistencia	560 ohmio - 0.5 w
R ₅	Resistencia	220 ohmios - 0.5 w
R ₆ , R ₈	Resistencia	1 M ohmios - 0.5 w
R ₇ , R ₉	Resistencia	20 M ohmios - 0.5 w
C ₁	Cond. electrolítico	460 uf - 10 v
OT ₁	Optotriac	MOC 3031
DZ ₁	Diodo zener	2.4 v - 0.5 w ECG 5000A
Ic ₁ , Ic ₂	Amp. operacional	MA 741
Ic ₃	comparador	LM 339
Tic	Triac pot	ECG 5667 A

C A P I T U L O I V
**PROYECTO DE UN TRANSMISOR Y RECEPTOR PARA LA MEDICION
DE PH POR MFP (MODULACION POR FRECUENCIA DE PULSOS)**

4.1 Proyecto del transmisor por modulación de frecuencia de pulsos

4.1.1 Propósito

Con la finalidad de construir un reservorio distante a nuestra instalación y contar con la demanda de agua para la planta, debemos realizar un sistema que nos permita controlar el ph del agua. Trataremos de diseñar un transmisor por modulación de frecuencia de pulsos. Por los siguientes motivos:

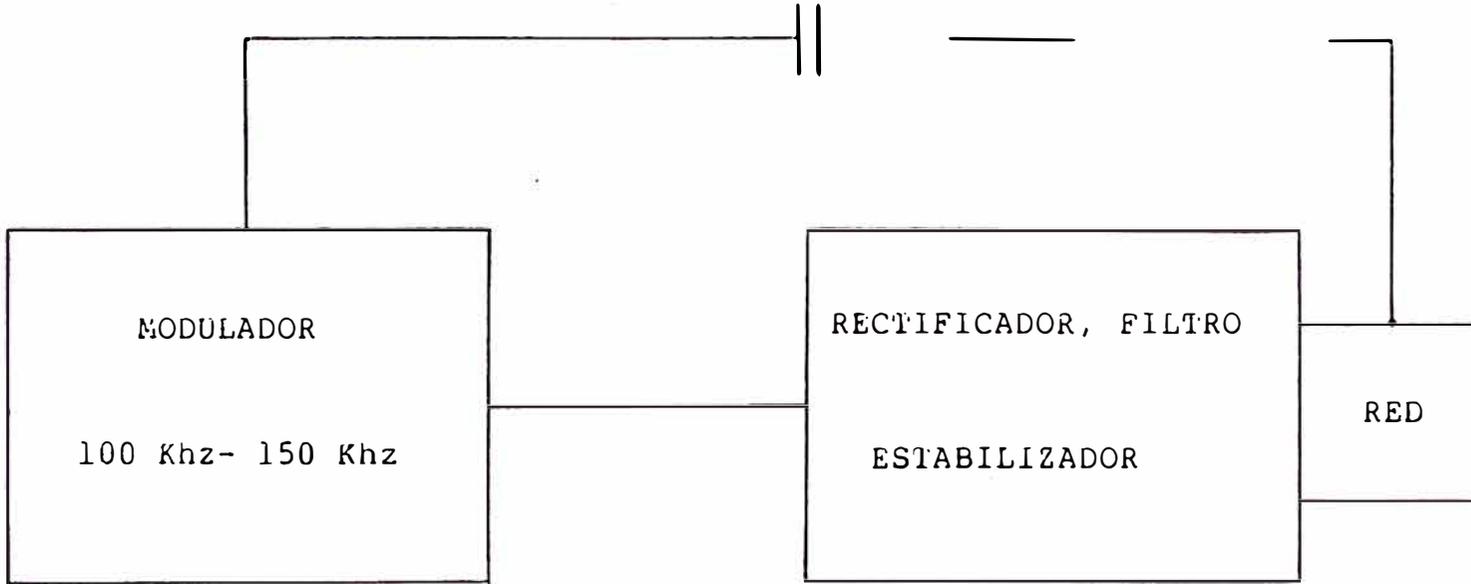
- a) Como la distancia del reservorio al tablero es de 150 metros, ahorraremos cable, ya que la alimentación e información van por el mismo cable.
- b) Este sistema de información por modulación por frecuencia de pulso no se atenúa; teniendo cuidado que la amplitud de los pulsos no desaparezcan.
- c) Podemos utilizar el cable de Red (220 ac) que une desde la planta al reservorio.

4.1.2 Operación

A partir de 100 Khz se puede modular una señal con la que se desea transmitir y así poderla separar adecuadamente de la frecuencia propia de la red alterna, en la cual están la parte inferior de la gama de frecuencias audibles, produciendo zumbidos y ruidos inoportunos.

La línea que une al emisor y receptor está energizada con un voltaje alterno de 220 v.

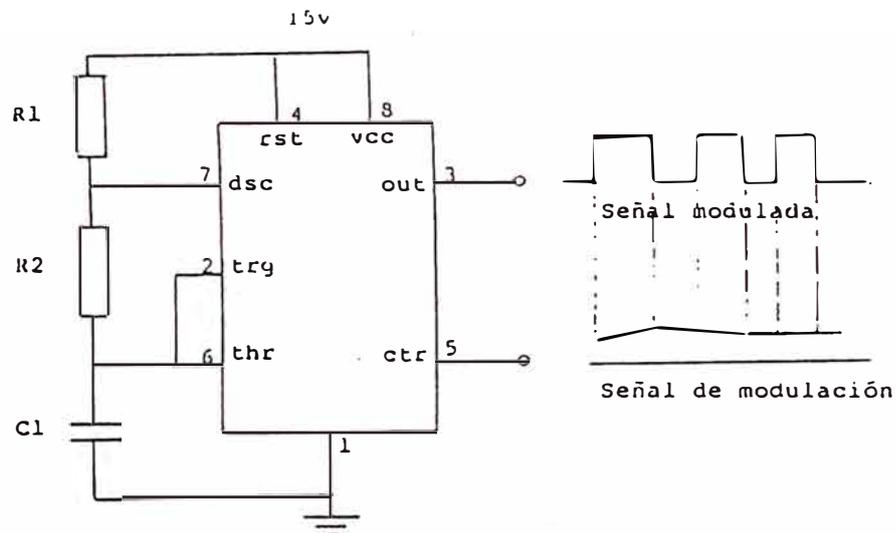
4.1.3 Diagrama de bloques



T R A N S M I S O R

4.1.4 Cálculos de diseño

Utilizaremos el temporizador 555 como modulador de frecuencia de pulsos



Circuito rectificador, filtro y estabilizador:

- Un rectificador formado por R_3 , R_4 , D_1 y D_2

Un filtro C_3

- Un estabilizador. Lo compone el diodo zener de 15v

- Un módulo por frecuencia de pulsos

Se utiliza un temporizador 555 en modo astable. La frecuencia de trabajo la conforman:

La resistencia R_1 y R_2 y el condensador C_1

La entrada a modular por pin 5 y varía de 3 a 15 v.

La salida modulada está en el pin 3

- *Etapa de amplificación*

Lo componen los transistores Tr_1 y Tr_2 , ambos forman un darlington y sus resistencias se polarizan R_5 y R_6

La salida amplificada es llevada a través de los condensadores C_4 y C_2 a la red.

Emisor del modulador por frecuencia de pulsos

$$T_c = 0.693 (R_1 + R_2) C_1$$

$$T_d = 0.693 R_2 C_1$$

$$T = T_c + T_d = 0.693 (R_1 + 2 R_2) C_1$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.693 (R_1 + 2 R_2) C_1}$$

Para una frecuencia de 150 KHz elegimos un $C_1 = 0.001 \text{ uf}$

de la misma forma $R_1 = 1 \text{ K ohmios}$

de la fórmula:

$$f = \frac{1.44}{(R_1 + 2 R_2) C_1} = 150 \text{ KHz} = \frac{1.44}{(1\text{K} + 2 R_2) 10^{-9} \text{ f}}$$

$$2 R_2 = \frac{144}{15} - 1 \text{ K ohmios}$$

$$R_2 = 4.3 \text{ K ohmios}$$

La potencia transformada es aproximadamente 0.5 w

$$I = \frac{p}{v} = 2 \text{ ma}$$

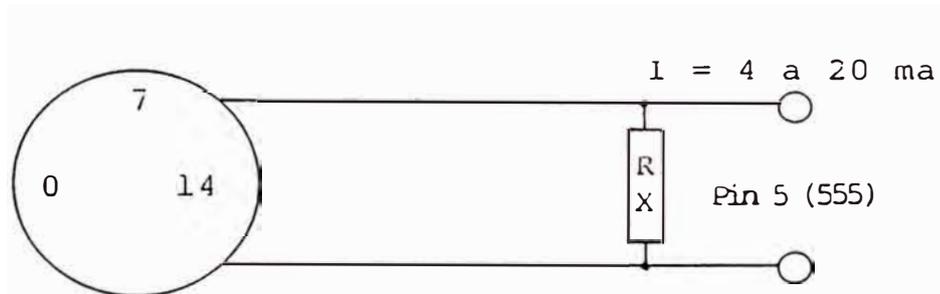
$$R = \frac{200}{2 \text{ ma}} = 100 \text{ K ohmios}$$

$$R_3 = 100 \text{ K ohmios}$$

D_1 y D_2 Diodos rectificadores 1 A - 400 Piv

$D_1, D_2 = \text{BP 127}$

Cálculo de Rx (Resistencia de conversión)



$$R_x = \frac{15 \text{ v}}{20 \text{ ma}} = 0.75 \text{ K ohmios}$$

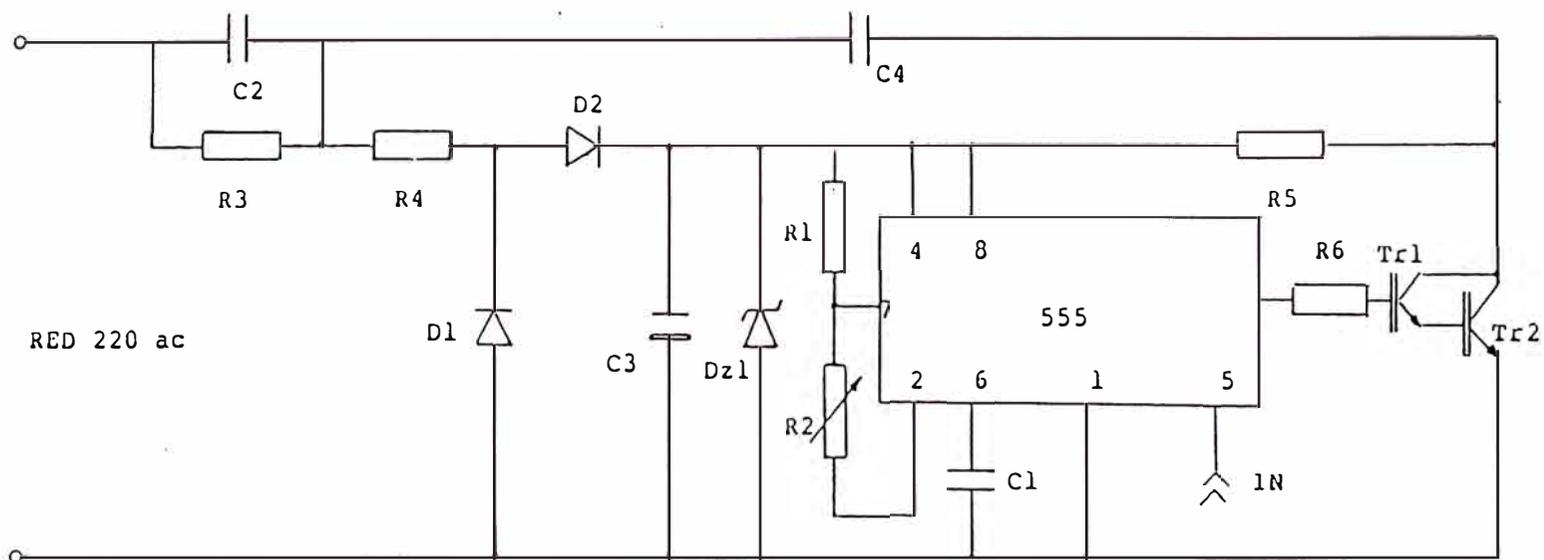
$$R_x = 0.75 \text{ K ohmios}$$

$$V_{1x} = I \cdot R_x = 4 \text{ ma} \times 0.75 \text{ K ohmios} = 3 \text{ v}$$

$$V_{2x} = I \cdot R_x = 20 \text{ ma} \times 0.75 \text{ K ohmios} = 15 \text{ v}$$

Variación de voltaje = de 3 a 15 v

4.1.5 Diagrama desarrollado.



TRANSMISOR PARA LA MEDICION DE PH : POR MFP (MODULACION POR FRECUENCIA DE PULSOS)

4.1.6 Materiales a usar

R ₁	Resistencia	1 K ohmios - 0.25 w
R ₂	Potenciómetro	5 K ohmio
R ₃	Resistencia	100 K - 1 w
R ₄	Resistencia	56 ohmio - 1 w
R ₅	Resistencia	180 ohmios - 0.5 w
R ₆	Resistencia	1 K ohmios - 0.5 w
R _x	Resistencia	750 ohmios
	precisión	
C ₁	Condensador	0.001 uf - 25 v
C ₂	Condensador	2 uf- 100 v
C ₃	Cond. electrolítico	2200 uf 50 v
C ₄	Condensador	100 uf 50v
D ₁ y D ₂	Diodos	BY 127
DZ ₁	Diodo zener	ECG 145A
Ic ₁	Timer	555
Ic ₃	Comparador digital	LM 339
TR ₁ , TR ₂	Transistor	ECG 123

4.2 Proyecto del receptor por modulación de frecuencia de pulsos

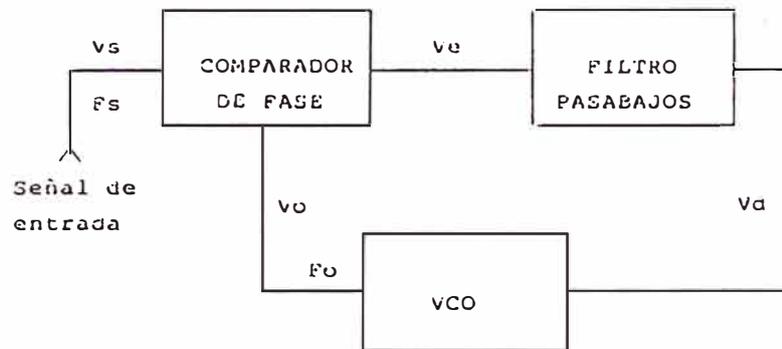
4.2.1 Propósito

El receptor tiene como propósito captar solamente las variaciones de frecuencias que contienen la información para posteriormente visualizarlas en lectura de display.

4.2.2 Operación

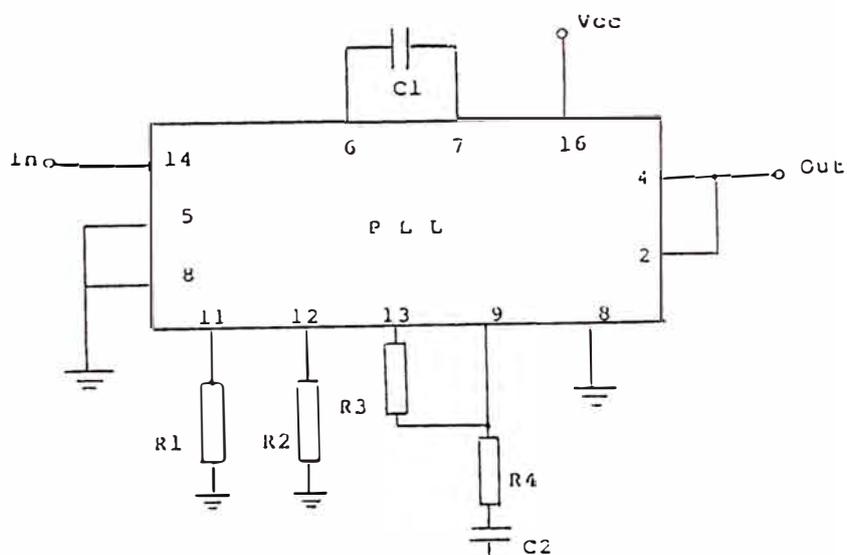
Para el siguiente proyecto, hemos elegido un PLL digital, es decir, un lazo de amarre de fase, el cual es un sistema de control de

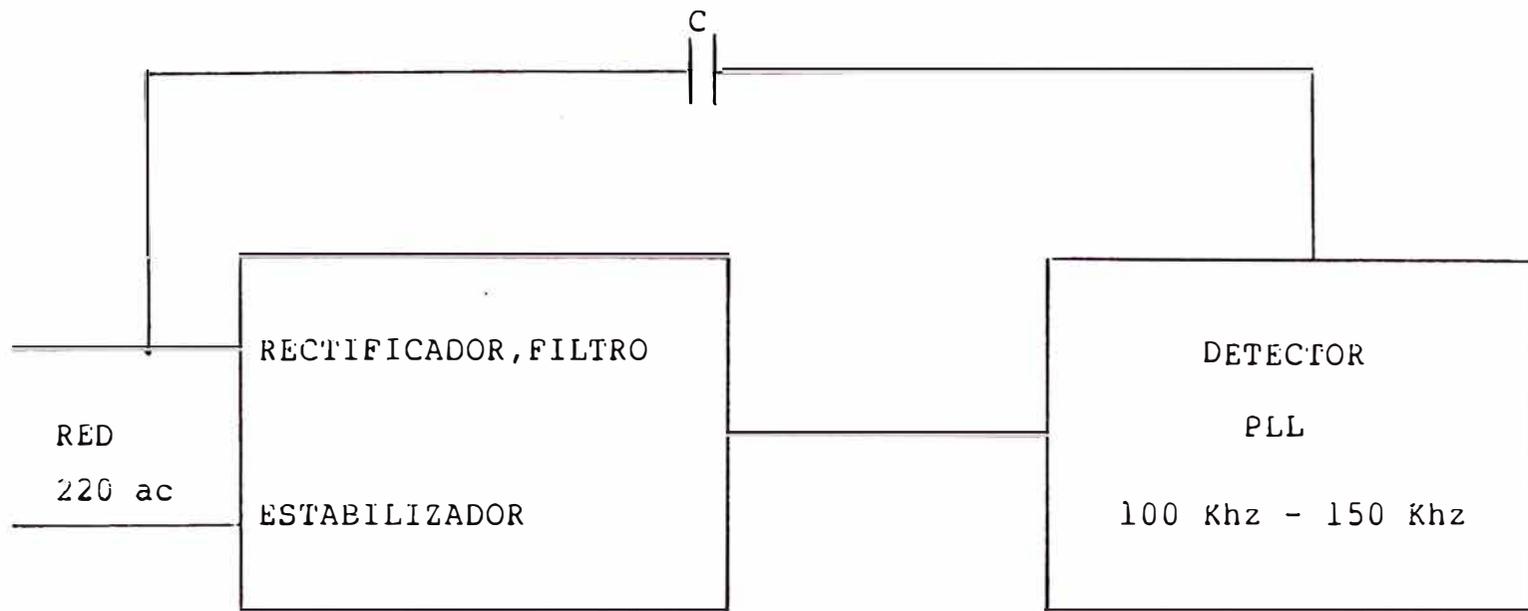
frecuencia constituido por un comparador o detector de fase, un filtro pasa bajos y un oscilador controlado por voltaje.



El PLL tiene una gran variedad de aplicaciones para nuestro diseño. Lo empleamos en el modo de receptor de telemetría. El objetivo del PLL es enganchar un rango de frecuencias previamente capturado y entregamos la señal limpia, sin ruidos y sin atenuaciones.

La red que une el emisor y el receptor está energizada con voltaje alterno de 220, la función del PLL en el receptor es dejar pasar sólo la señal modulada en un rango de 100 KHz a 150 KHz, para después ser demodulada y obtener la señal de control.

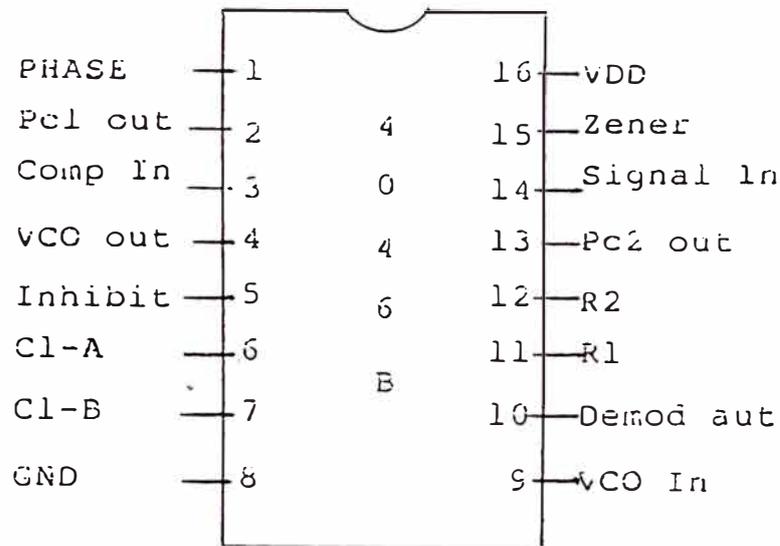




R E C E P T O R

4.2.3 Diagrama de bloques

4.2.4 Cálculos de diseño



$$f_{\min} = 100 \text{ KHz} = \frac{1}{R_2 (C_1 + 32 \text{ pf})}$$

$$C_1 = 100 \text{ pf}$$

$$R_2 = 76 \text{ K ohmios}$$

$$f_{\max} = 300 \text{ KHz} = \frac{1}{R_1 (C_1 + 32 \text{ pf})} + f_{\min}$$

$$= \frac{1}{R_1 (132 \text{ pf})} + 100 \text{ KHz}$$

$$R_1 = 38 \text{ K ohmios}$$

Cálculo de la frecuencia central del VCO "FO"

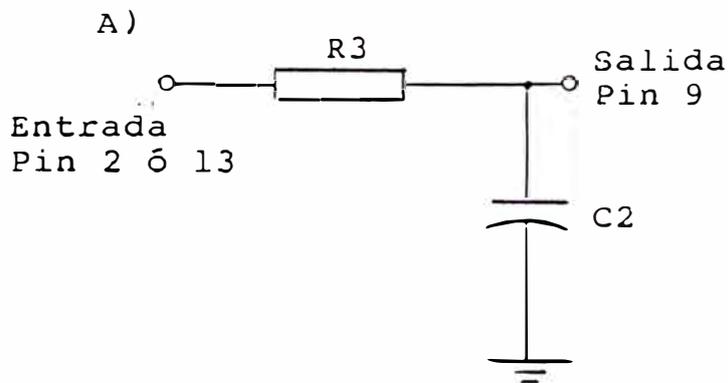
$$F_0 = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{2} = \frac{300 \text{ KHz} - 100 \text{ KHz}}{2} = 100 \text{ KHz}$$

$$F_0 = 100 \text{ KHz}$$

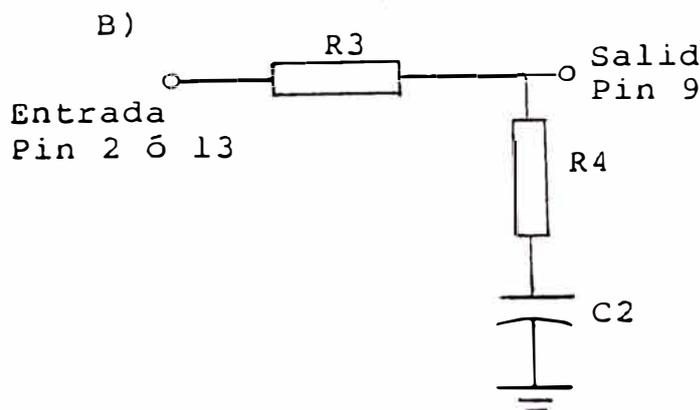
Cálculo del rango de captura "AFC"

El filtro pasa bajos. Es una parte esencial de todo PLL y es que él determina la velocidad con la cual el sistema puede seguir o rastrear los desplazamientos en la frecuencia de entrada. Además, está en relación directa con el rango de captura y evita que la operación normal del PLL pueda ser afectada por los picos de ruido.

Las configuraciones más comunes de filtros pasabajos utilizados en los PLL son:



Se utiliza cuando la señal de entrada toma valores dentro de una banda muy estrecha de frecuencias.



Usada para valores de banda más amplia de frecuencias.

Para nuestro caso utilizamos el caso B

$$AF_c = \frac{1}{\pi N} \sqrt{\frac{2\pi FL}{R_3 C_2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2\pi \times 10^5 \text{ Khz}}{10^5 \times 0.0001 \times 10^{-6}}}$$

$$AF_c = 40 \text{ Khz}$$

Cálculo de R5

$$P = 0.5 \text{ w}$$

$$\frac{0.5}{200} = 2 \text{ ma}$$

$$R = \frac{200}{2 \text{ ma}} = 100 \text{ K ohmios}$$

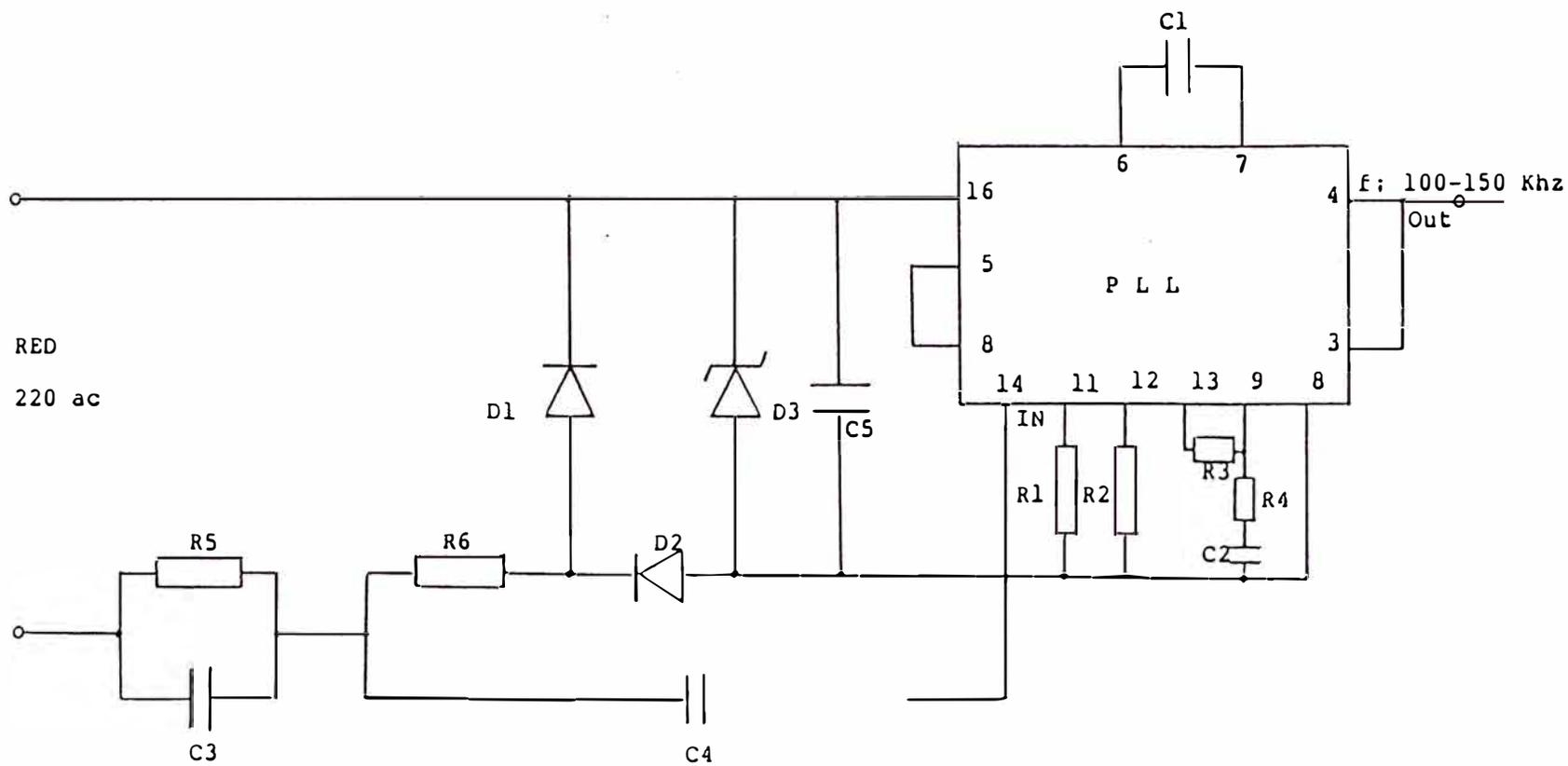
$$R_3 = 100 \text{ K ohmios}$$

D1 y D2 diodos rectificadores 1 A - 400 Prv

BY - 127

diodo zener 15 v - 1 w ECG 145 A

4.2.5 Diagrama desarrollado



RECEPTOR DE MEDICION DE PH POR MFP

4.2.6 Materiales a usar

R ₁	Resistencia	38 K ohmios - 0.25 w
R ₂	Potenciómetro	76 K ohmios - 0.25 w
R ₃	Resistencia	100 K ohmios - 0.25 w
R ₄	Resistencia	10 K ohmios - 0.25 w
R ₅	Resistencia	100 K ohmios - 0.5 w
R ₆	Resistencia	47 ohmios - 1 w
C ₁	Condensador	100 pf - 25 v disco
C ₂	Condensador	0.0001 uf - 25 v disco
C ₃	Condensador	2.2 uf - 250 v poliester
C ₄	Condensador	0.02 uf - 100 v poliester
C ₅	Condensador	2.200 uf - 25 v electrolítico
D ₁ y D ₂	Diodos rect	BY 127
D ₃	Diodo zener	15 v - 1 w ECG 145-A

4.3 Proyecto de un visualizador de lectura digital del receptor

4.3.1 Propósito

En el siguiente proyecto desarrollaremos un circuito que nos permita medir el ph en display. El receptor nos entrega información por modulación de frecuencia de pulsos en un rango de 100 Khz a 150 Khz, y debemos obtener la variación de ph de 0 a 14 en un display de 3 dígitos.

4.3.2 Operación

Las variaciones de modulación por frecuencia de pulsos son llevados a la entrada de una compuerta AND. La segunda entrada está conformada por un oscilador. La salida de la compuerta AND es enviada a un contador binario, cuya salida es convertida a un D/A (Digital /

Análogo) con el objeto de convertir variaciones de frecuencia a variaciones de voltaje.

Para obtener un rango de voltaje de 0 a V_o se usa un amplificador operacional en el modo diferencial y después un divisor de tensión para reducir a un rango de 0 a 100 mv, y así aplicar directamente el circuito integrado ICL 7107 de 3 dígitos, ya conocido y adaptable para todo tipo de instrumentos digitales de medida.

4.3.3 Diagrama de bloques

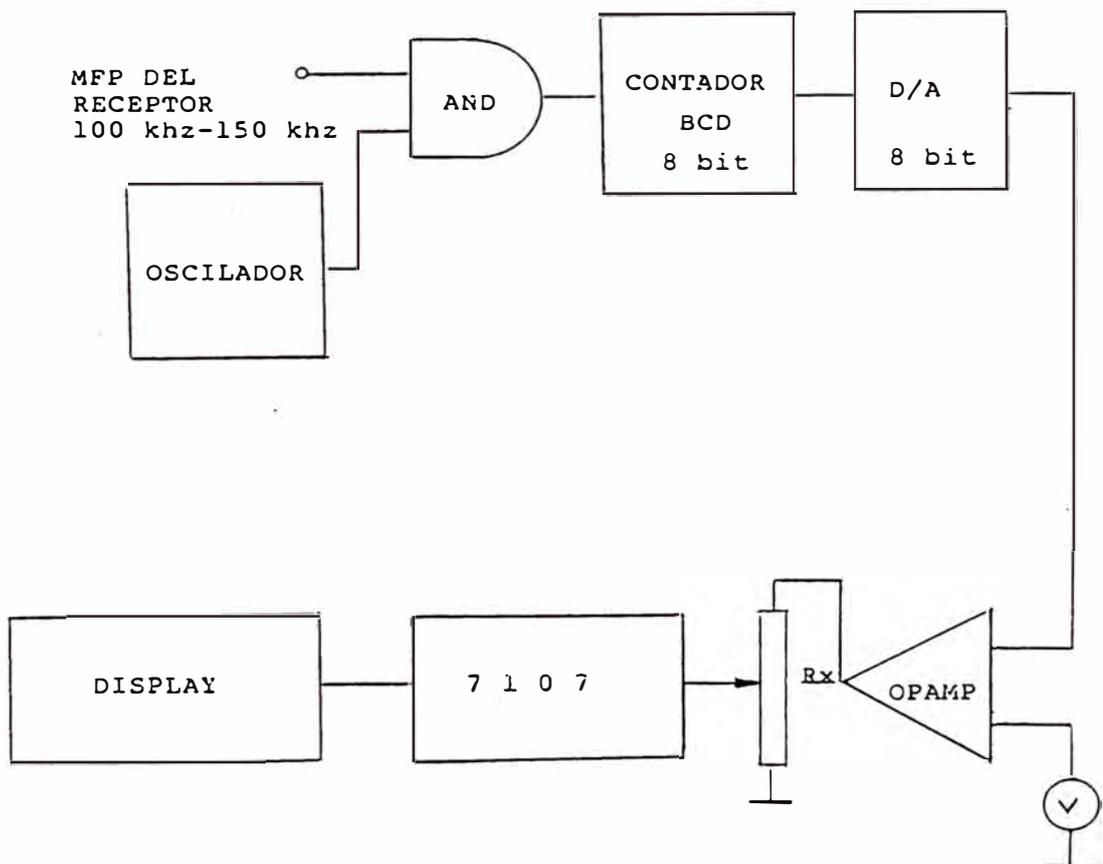
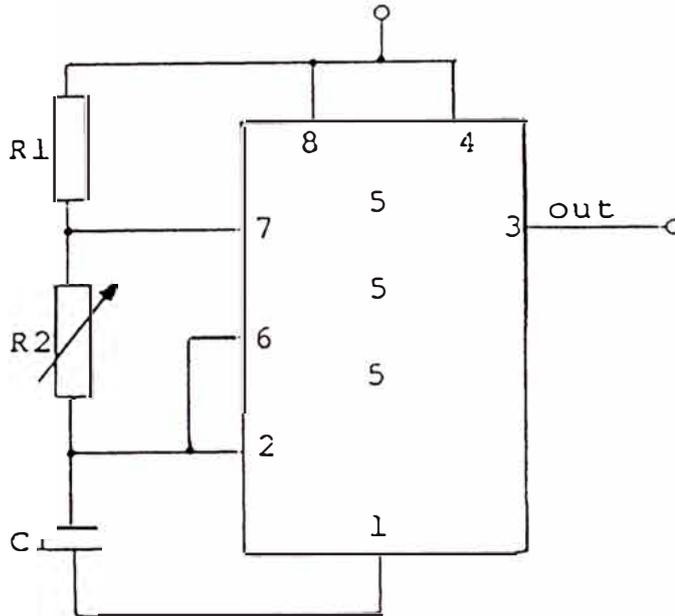


DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN VISUALIZADOR DE RECEPTOR POR MFP

4.3.4 Cálculos de diseño

Cálculo de la frecuencia del oscilador

Empleamos un timer 555, en modo astable



$$f = \frac{1.44}{(R_1 + 2 R_2) C_1}$$

La capacidad máxima del contador y convertidor es de 8 bit, por lo tanto: $2^8 = 256$ números de 8 bit, los cuales podemos formar.

Debe cumplirse:

$$\frac{F_x}{100 \text{ KHz}} - \frac{F_x}{150 \text{ KHz}} = 256$$

$$F_x = 25.6 \text{ Mhz}$$

$$\text{Si } R_1 + R_2 = 2\text{K ohmios}$$

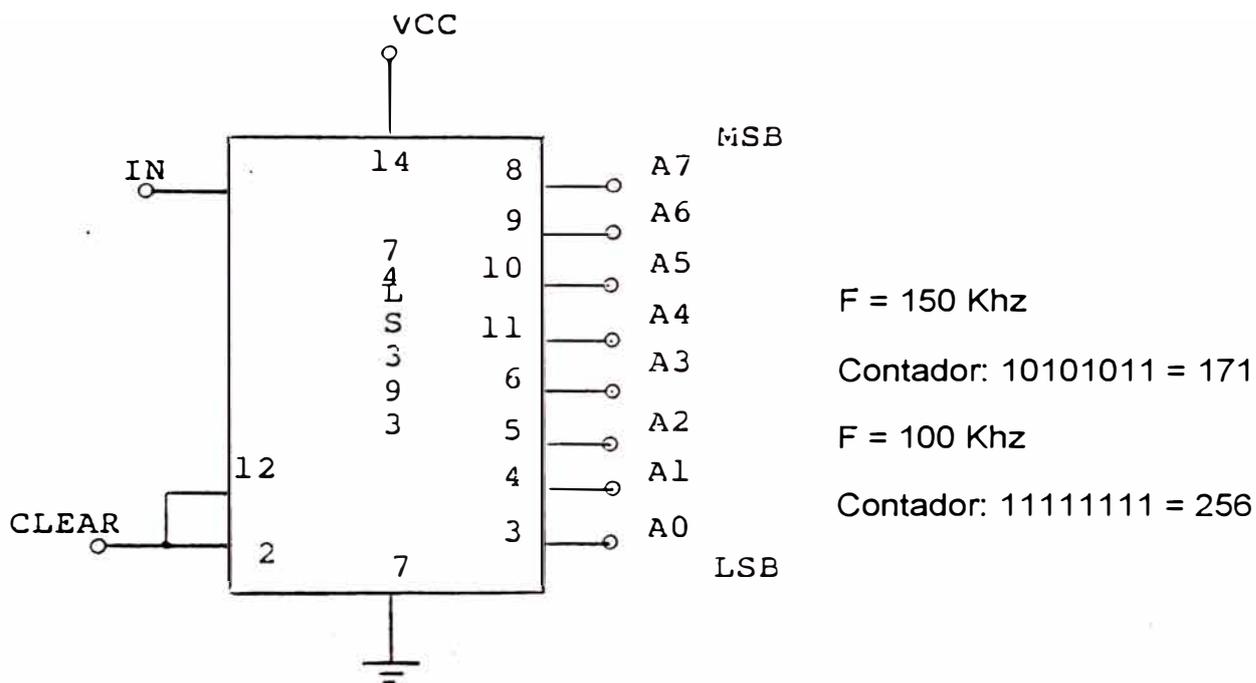
$$\text{Si } R_1 + R_2 = 1\text{K ohmios}$$

$$\frac{1.44}{(1000 + 2000) C_1} = 25.6 \times 10^6$$

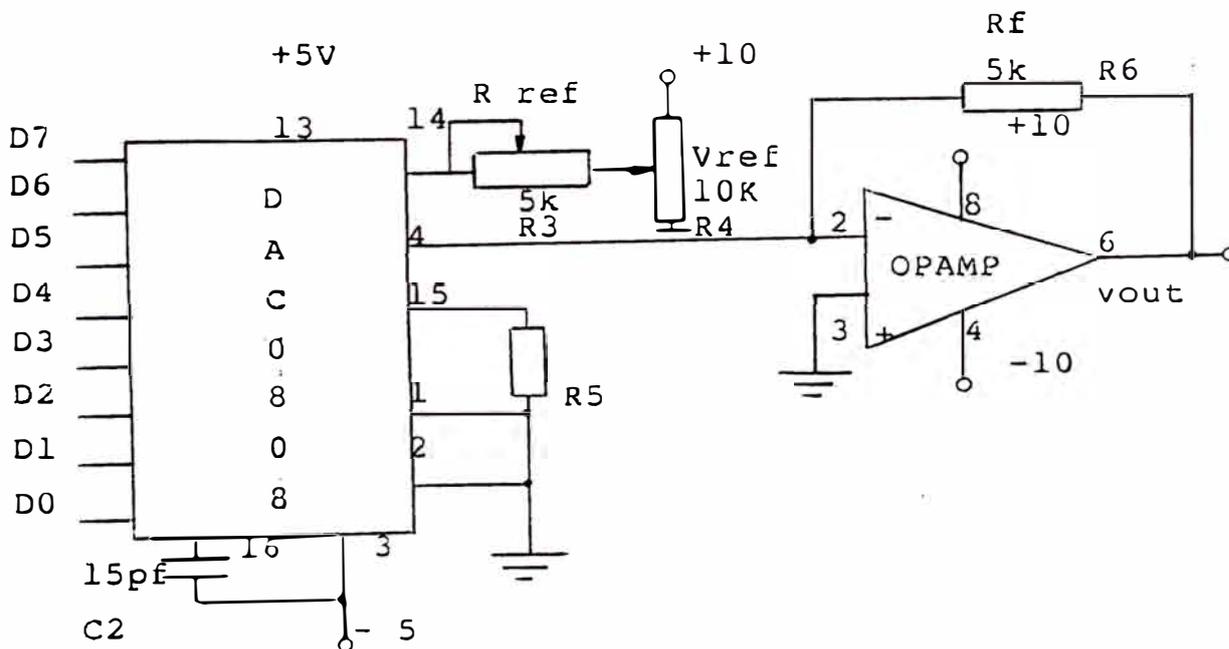
$$C_1 = \frac{1.44 \times 10^{-9}}{3 \times 25.6} = 18.75 \text{ pF}$$

$$C_1 = 18.75 \text{ pF}$$

Aplicación del contador binario asincrono de 8 bit



Aplicación del convertidor D / A



Tiempo de estabilización

Dac : 8 bit

Rango : 0 a 10 v

$$Lsb = \frac{5}{2^8} = 0.039$$

Tiempo de estabilización

0.019 v es 10 u Seg.

$$V_{out} = \frac{V_{ref}}{R_{ref}} R_f \left[\frac{D_7}{2} + \frac{D_6}{4} + \frac{D_5}{8} + \frac{D_4}{16} + \frac{D_3}{32} + \frac{D_2}{64} + \frac{D_1}{128} + \frac{D_0}{256} \right]$$

Cálculo de Vout

Para F = 150 Khz -----> Contador binario 10 10 10 11

$$V_{out} = \frac{2 \text{ v}}{1 \text{ K}} \cdot 5 \text{ K} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{8} + \frac{1}{32} + \frac{1}{128} \right]$$

Vout = 6.640 v.

Para F = 100 Khz -----> Contador binario 11111111

$$V_{out} = \frac{2 \text{ v}}{1 \text{ K}} \cdot 5 \text{ K} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right]$$

Vout = 10 v

Para la variación:

Frecuencia: 150 Khz a 100 Khz se obtiene

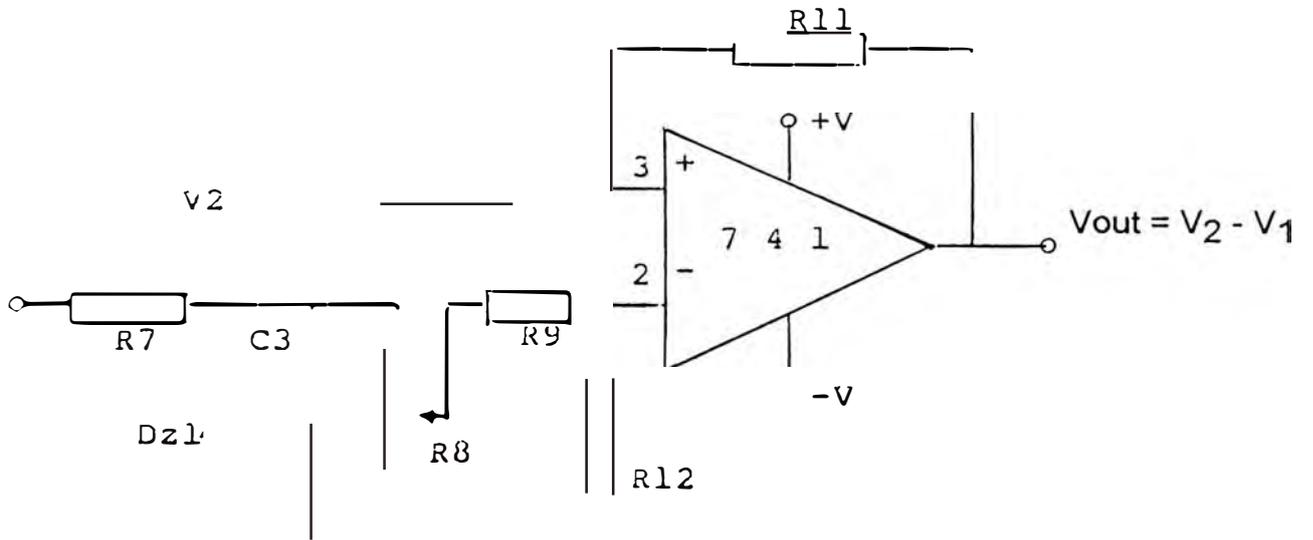
voltaje: 6.64 v a 10 v

Pero queremos:

Frecuencia: 150 Khz a 100 Khz

Voltaje: 0 v a Vx

Empleamos un amplificador operacional diferencial



Para $F = 150 \text{ KHz}$ $V_{out} = 6.64 - 6.64 = 0$

$F = 100 \text{ KHz}$ $V_{out} = 10 - 6.64 = 3.36 \text{ v}$

Con un divisor de voltaje obtenemos un rango de 0 a 100 mv.

0 a 3.36 v

$$\frac{100k}{r}$$

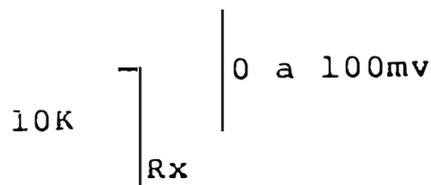
$$\frac{R_x}{100 \text{ K} + R_x} \cdot 3.36 = 0.1$$

$$3.36 R_x = 10K + 0.1 R_x$$

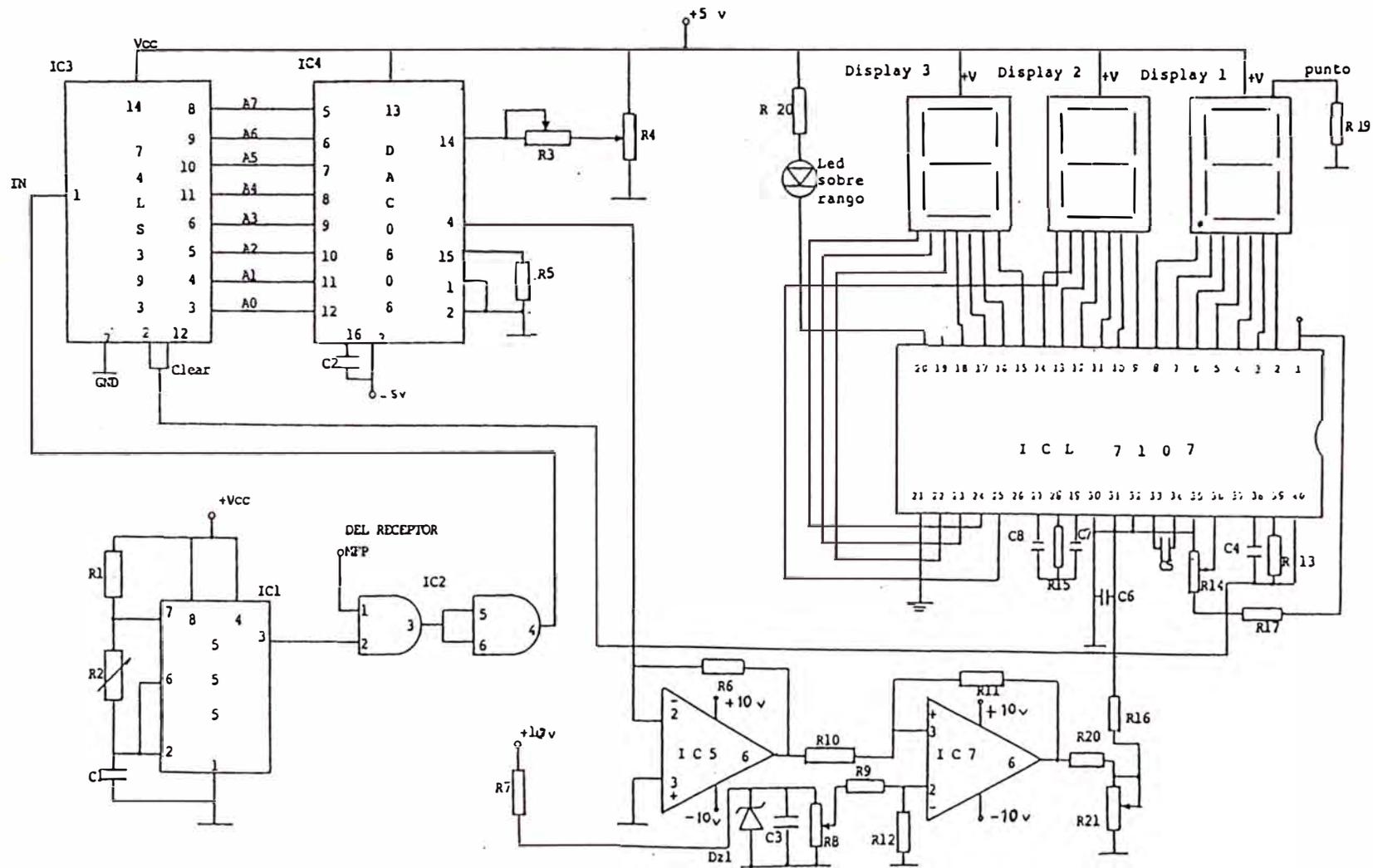
$$3.26 R_x = 10 \text{ K}$$

$$R_x = \frac{10 \text{ K}}{3.26}$$

$$R_x = 3 \text{ K ohmios}$$



4.3.5 Diagrama desarrollado



VISUALIZADOR DE LECTURA DIGITAL DEL RECEPTOR

4.3.6 Materiales a usar

R ₁	Resistencia	1 K ohmios - 0.25 w
R ₂	Potenciómetro de precisión	1.5 K ohmios
	Potenciómetro de precisión	5 K ohmios
	Potenciómetro de precisión	10 K ohmios
R ₅	Resistencia	1 K ohmios - 0.25 w
R ₆	Resistencia	5 K ohmios - 0.25 w
R ₇	Resistencia	
R ₈	Potenciómetro de precisión	100 K ohmios
R ₉ , R ₁₀ , R ₁₁ , R ₁₂ y R ₁₃	Resistencia	100 K ohmios - 0.25 w
R ₁₄	Resistencia Trimmer	5 K ohmios
	Condensador Trimmer	20 pf - 25 v
C ₂	Condensador	15 pf - 25 v
C ₃	Condensador electrolítico	220 uF - 16 v
C ₄	Condensador	100 pf - 50 v
C ₅	Condensador	0.1 uf - 50 v
C ₆	Condensador	0.01 uf - 50 v
C ₇	Condensador	0.47 uf - 50 v
C ₈	Condensador	0.22 uf - 50 v
Ic ₁	Temporizador	LM 555 C
Ic ₂	Compuerta Nand	CD4011 B

Ic ₃	Contador binario de 8 bit	74LS393
Ic ₄	Convertor D / A de 8 bit	MC 1408
Ic ₅	Amplificador operacional	uA 741
Ic ₆	Circuito integrado	ICL 7107
3 Dis	Display AC	LA 6960
R ₁₅	Resistencia	47 K ohmios - 0.25 w
R ₁₆	Resistencia	1 K ohmios - 0.25 w
R ₁₇	Resistencia	5.6 K ohmios - 0.25 w
R ₁₈	Resistencia	220 ohmios - 0.5 w
R ₁₉	Resistencia	
D ₂₁	Diodo zener	
D ₁	Diodo	1N 4148
DL ₁	Led rojo	

CAPITULO V PROYECTO DE UN SISTEMA DE CONTROL APAGADO-PRENDIDO DE NIVELES DE LIQUIDO EN RECIPIENTES

5.1 Propósito

Diseñar un circuito electrónico digital de preferencia que controle automáticamente el prendido y apagado de las electrobombas de entrada y salida de líquido base (hidróxido de sodio, con $\text{ph} = 14$) de un reservorio.

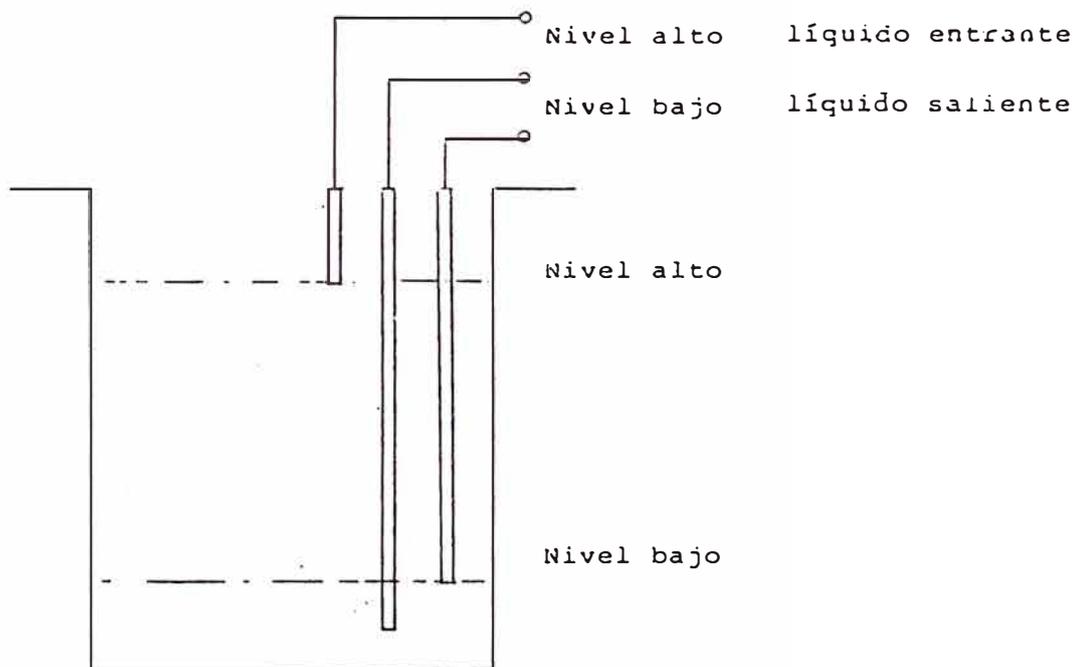


fig. 5.1

5.2 Operación

El líquido entrante alcanzará un nivel alto y la electrobomba se apagará automáticamente. El líquido saliente saldrá hasta alcanzar un nivel bajo (mínimo) en el reservorio.

El proyecto se implementará con un relé de estado sólido, respectivamente:

Se realizará el siguiente circuito empleando la compuerta lógica Nand. de la familia Cmos. estándar de la serie "B", por tener las siguientes características:

- Contiene un circuito interno de protección que reduce el riesgo de daño del chip por el fenómeno de descarga electrostática.
- Tiempos de propagación más cortos.
- Frecuencia de operación más altas.
- Mayor capacidad de salida (Fan - out).
- Amplios márgenes de tensión de alimentación + 3 y + 18 v

El tipo escogido es: CD 4011 B

Es importante señalar los niveles de voltaje para el estado bajo, como para el estado alto:

Nivel bajode 0 VDD a 0.3 VDD

Nivel alto de 0.7 VDD a 1 VDD

Para nuestro caso el voltaje de alimentación será de 9 v.

Nivel bajo 0 a 2.7 v

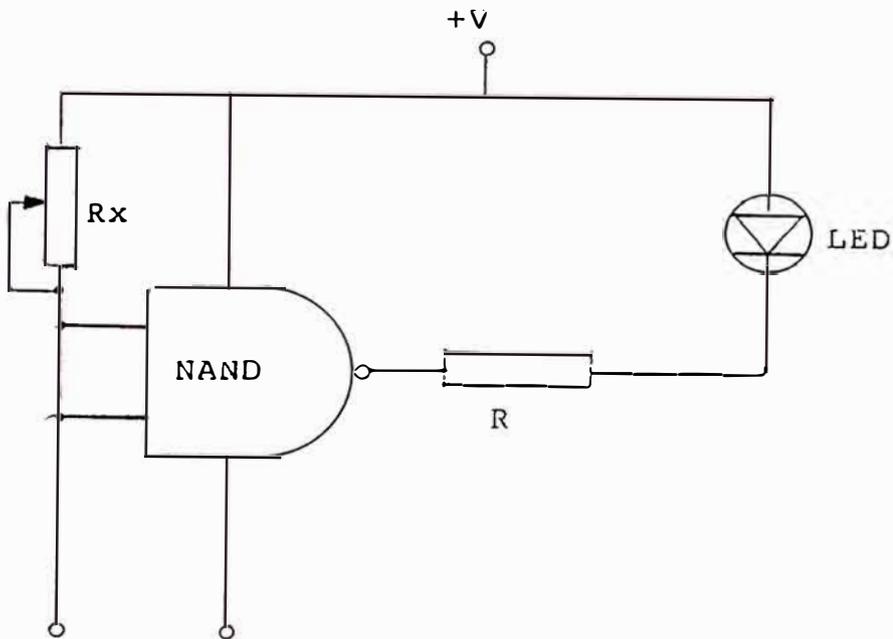
Nivel alto 6.3 a 9 v

CUADRO DE NIVELES Y FUNCIONAMIENTO DE ELECTROBOMBAS

ESTADO DE NIVELES DE ELECTRODOS	ELECTROBOMBA Nº 1 LIQUIDO ENTRANTE	ELECTROBOMBA Nº 2 LIQUIDO SALIENTE
Nivel bajo	Prendido	Apagado
Nivel alto	Apagado	Prendido

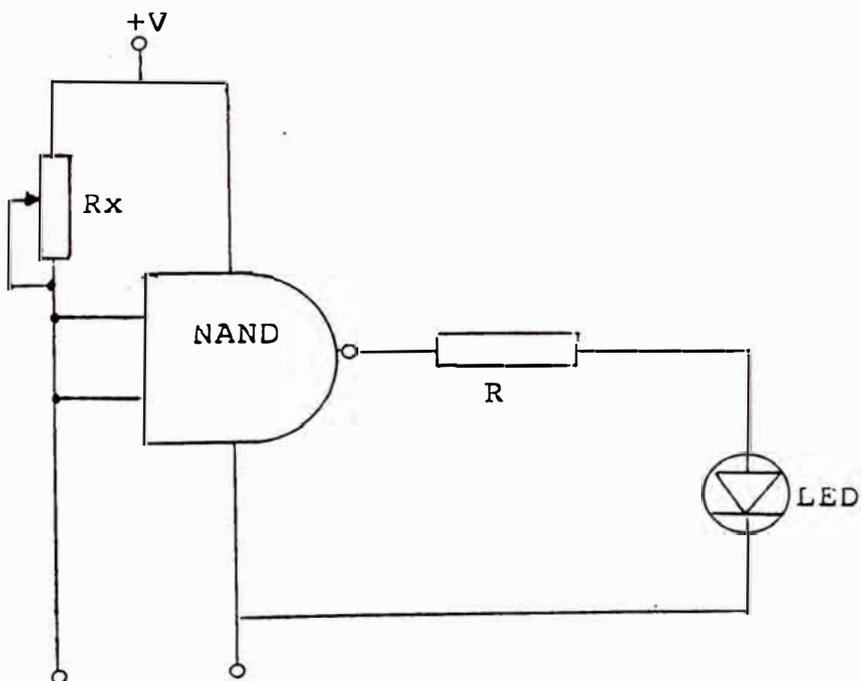
CUADRO 5.1

5.3 Diagrama de bloques



Electrodo de nivel alto

DIAGRAMA PARA EL CONTROL OFF/ON DE LIQUIDO ENTRANTE



Electrodo de nivel bajo

DIAGRAMA PARA EL CONTROL OFF/ON DE LIQUIDO SALIENTE

5.4 Cálculos de diseño

a) Control automático del líquido entrante (electrobomba N° 1)

Tienen en consideración los niveles de estado del Cmos, compuerta Nand, tenemos:

Nivel bajo de 0 a 2.7 v

Nivel alto de 6.3 a 9 v, para VDD = 9 v

Cuando los electrodos de nivel alto no alcanzan el líquido, entonces tenemos que entre los electrodos hay una impedancia infinita. Está abierto. Los pines 1 y 2 están a 9 v, o sea, a nivel lógico "1". Su salida estará por lo tanto en nivel lógico "0". El Led está prendido, el optotriac está en operación, por consiguiente la electrobomba está prendida. Cuando el líquido alcance el nivel alto en los electrodos habrá una impedancia baja, los pines 1 y 2 están en estado lógico "0", su salida estará en estado lógico "1" (alto). El led estará apagado, por lo tanto, la electrobomba está apagada. El potenciómetro de 20 K se regulará aproximadamente a 12 K ohmios para asegurar cuando los electrodos alcancen el líquido en un voltaje correspondiente a nivel bajo entre 0 y 2.7v.

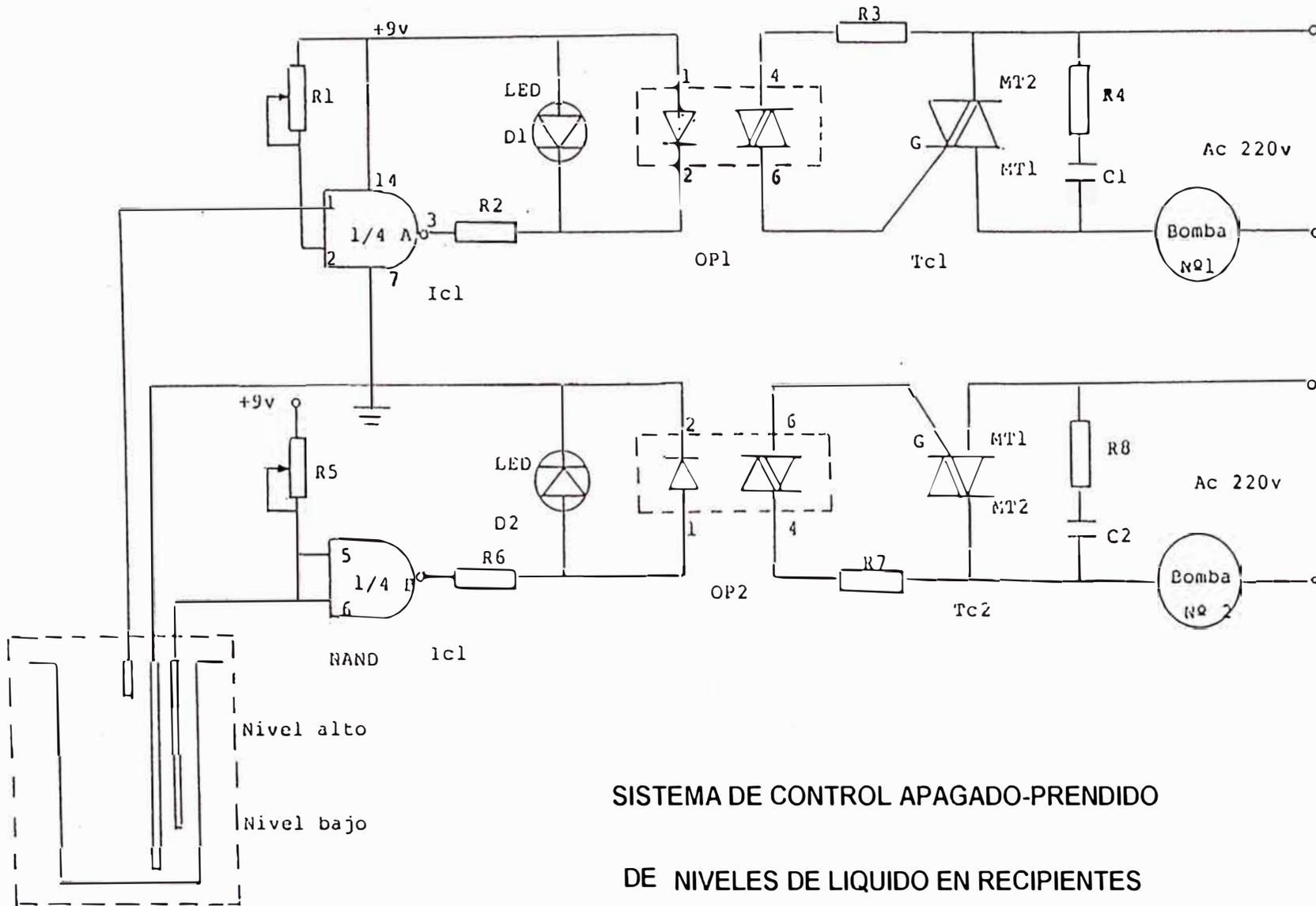
b) Control automático del líquido saliente (electrobomba N° 2)

Asimismo con en el caso a), la medición de los estados lógicos se efectuará con los electrodos de nivel bajo:

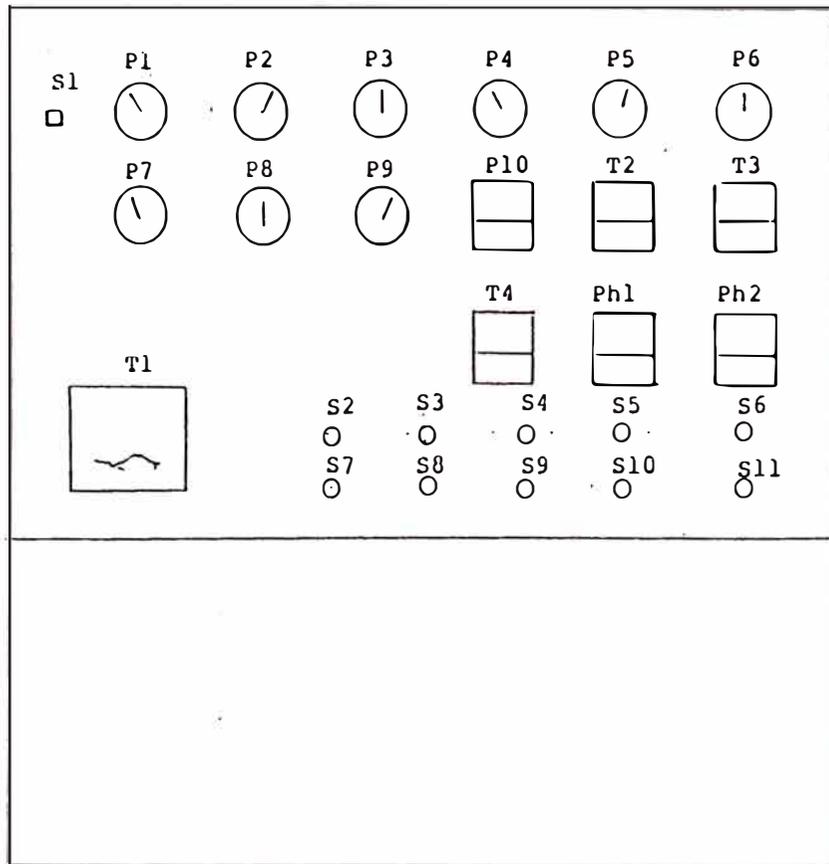
Cuando los electrodos estén con líquido, impedancia baja, los pines 5 y 6 en estado lógico "0", en la salida pin 4 está en estado lógico "1", el led 2, el optotriac y el triac estarán en "on", la electrobomba está en funcionamiento hasta que uno de los electrodos esté sin líquido, es decir, con impedancia infinita. El led, el optotriac y el triac están en off, por consiguiente, la electrobomba dejará de funcionar.

5.5 Materiales a usar

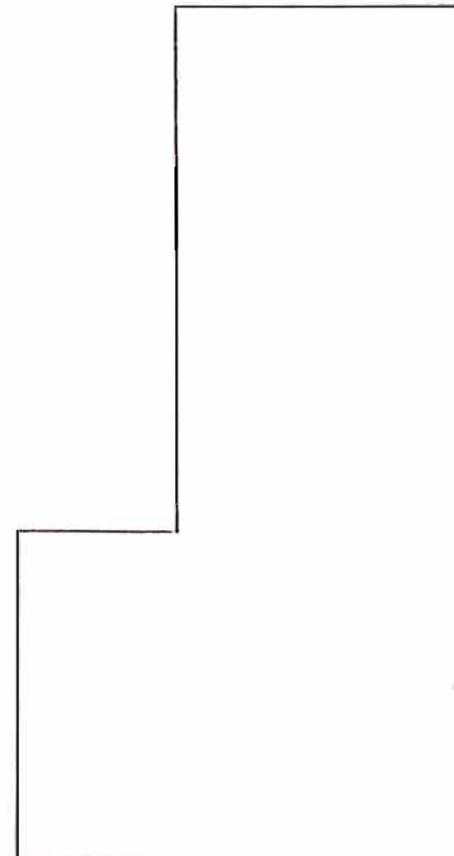
R ₁ y R ₅	Potenciómetros	20 K ohmios - 0.5 w
R ₂ y R ₆	Resistencias	270 ohmios - 0.5 w
R ₃ y R ₇	Resistencias	1220 ohmios - 0.5 w
R ₄ y R ₈	Resistencias	39 ohmios - 0.5 w
D ₁ y D ₂	Led miniatura	
C ₁ y C ₂	Condensador poliester	0.01 pf - 250 v
OP ₁ y OP ₂	Optotriac	MOC 3010
Tc ₁ y Tc ₂	Triac	ECG 5675
Ic ₁	Nand Cmos.	Cd 4011B



SISTEMA DE CONTROL APAGADO-PRENDIDO
DE NIVELES DE LIQUIDO EN RECIPIENTES



Vista Frontal



Vista de perfil

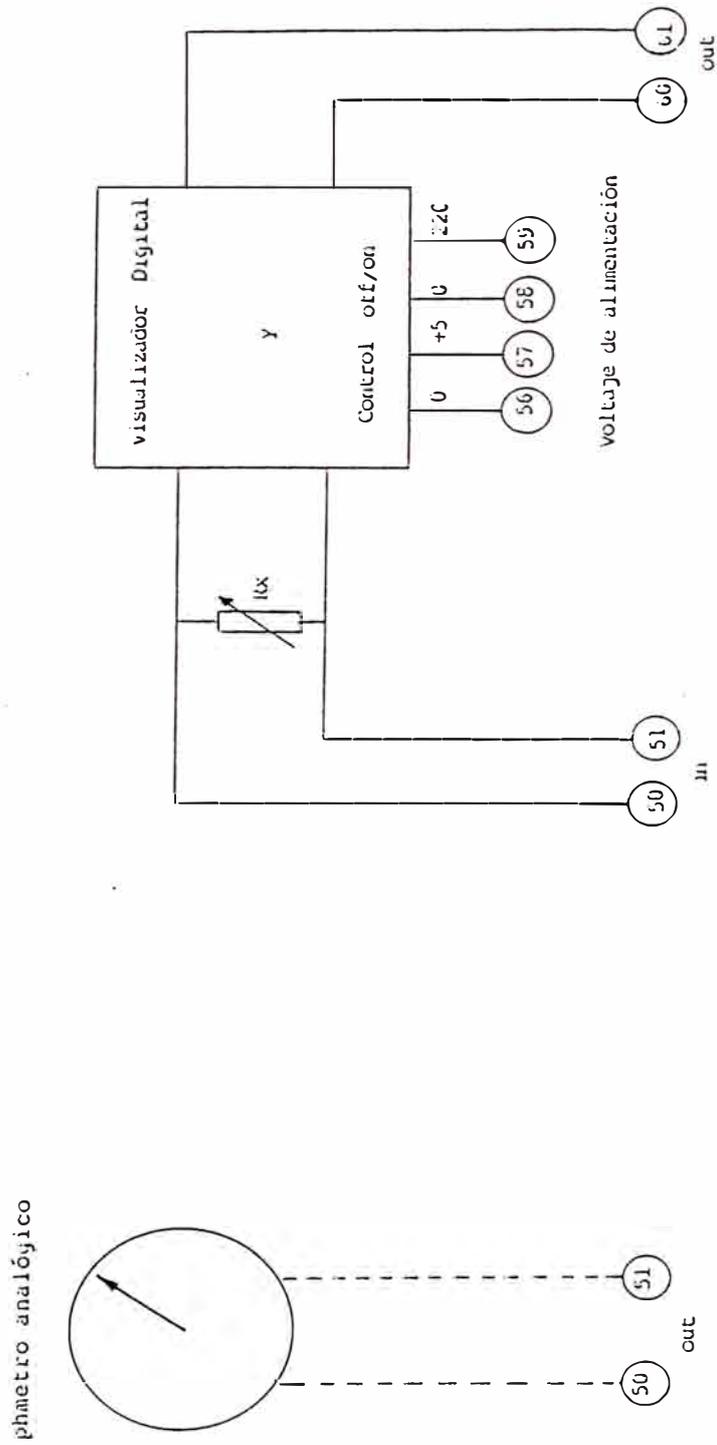
CAPITULO VI
DIAGRAMAS DE INSTALACION

6.1 Tablero principal de control de la planta piloto de tostación

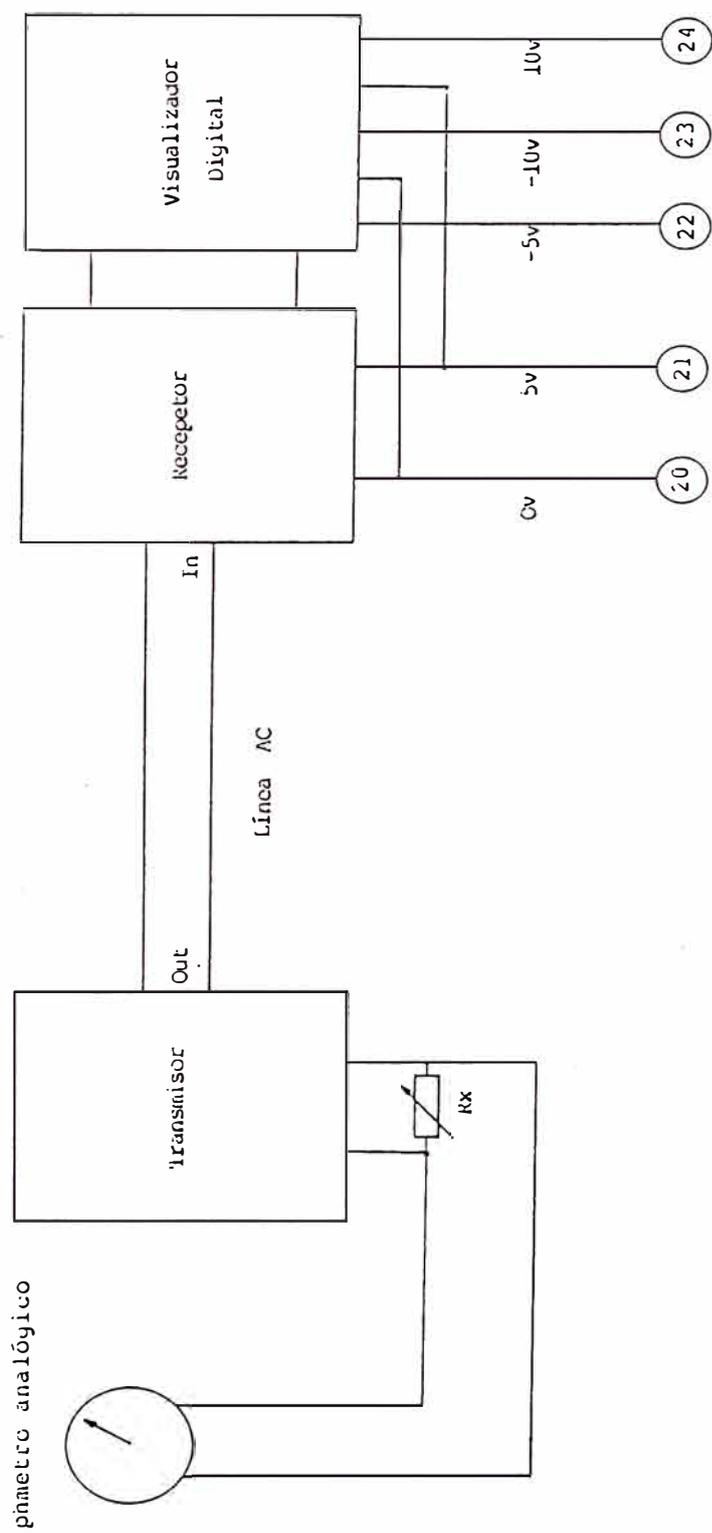
Nomenclatura del tablero principal de control

P ₁	=	Presión a la entrada de la cámara de combustión
P ₂	=	Presión a la salida de la cámara de combustión
P ₃	=	Presión a la salida del ciclón n. 2
P ₄	=	Presión en el nivel alto del horno multisolera
P ₅	=	Presión en el nivel medio del horno multisolera
P ₆	=	Presión en el nivel bajo del horno multisolera
P ₇	=	Presión en el nivel alto del horno fluidizado
P ₈	=	Presión en el nivel medio del horno fluidizado
P ₉	=	Presión en el nivel bajo del horno fluidizado
P ₁₀	=	Presión diferencial en la compuerta de salida de gases
T ₁	=	Registrador gráfico de temperaturas
T ₂	=	Temperatura en el nivel alto del horno de lecho fluidizado
T ₃	=	Temperatura en el nivel medio del horno de lecho fluidizado
T ₄	=	Temperatura en el nivel bajo del horno de lecho fluidizado
Ph ₁	=	Phmetro digital del scrubber
Ph ₂	=	Phmetro digital de reservorio de agua
S ₁	=	Interruptor general de la planta piloto de tostación
S ₂	=	Off-on compresora de aire
S ₃	=	Off-on del fan (extractor de aire)
S ₄	=	Off-on faja transportadora de alimentación del mineral
S ₅	=	Off-on faja transportadora de salida del mineral
S ₆	=	Off-on sistema de recirculación de agua del horno multisolera
S ₇	=	Off-on sistema de recirculación de agua del horno de lecho fluidizado
S ₈	=	Off-on sistema del soplador del horno multisolera
S ₉	=	Off-on sistema del soplador del horno de lecho fluidizado
S ₁₀	=	Off-on de los quemadores del horno multisolera
S ₁₁	=	Off-on de los quemadores del horno de lecho fluidizado

6.2 Instalación del visualizador de lectura digital de ph al tablero principal



6.3 Instalación del transmisor, receptor de control del phmetro al tablero n. 2



CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

La planta piloto de tostación no se entregó totalmente implementada por la Misión Belga al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico "INGEMMET". Una de las principales inquietudes fue desarrollar un plan de trabajo en las diferentes áreas: mecánica, eléctrica y electrónica, con el objeto de ponerla completamente operativa.

Con los proyectos 2 y 3 de la tabla de contenido quedaron solucionados los sistemas de control electrónicos de la planta.

Mediante observaciones y experiencias de trabajo se han mejorado y modernizado los equipos e instrumentos de control electrónico. Los proyectos de los puntos 4 y 5 están relacionados a ello.

Los proyectos desarrollados en la planta piloto de tostación son prácticos y sencillos, permitiendo al operador la comodidad, exactitud y seguridad en los sistemas de control electrónico.

Los diseños han sido elaborados y probados en laboratorio para su implementación posterior a la planta piloto. A continuación presentamos las conclusiones y comentarios de cada proyecto,.

Proyecto de un visualizador de lectura digital de ph al tablero principal

Con la finalidad de contar con un visualizador de lectura digital por medio de 3 display o indicadores de 7 segmentos de tipo Led, en el panel principal para la medición de ph del equipo lavador de gases (scrubber), se diseñó este circuito que lo constituye básicamente el circuito integrado 7107, que fue concebido

especialmente para construir fácilmente todo tipo de instrumentos digitales en el campo de la electrónica industrial.

La instalación del visualizador de ph en el tablero principal simplifica la obtención de medida en el mismo panel y así se puede controlar todo el proceso con mayor confiabilidad.

La instalación del circuito se realizó en el mismo panel para facilitar la alimentación de voltaje. Para la calibración se usó como referencia la medición del phmetro analógico (colocado en el recipiente del lavador de gases de la propia planta) y se logró ajustando levemente el trimmer del pin 36 del CI 7107.

Durante el desarrollo del proceso en la planta piloto de tostación, tanto en el modo de solera múltiple o lecho fluidizado, el circuito mostró sensibilidad a las pequeñas variaciones de ph.

El display consta de 3 dígitos, 2 enteros y un decimal, obteniendo buena precisión; además, a lo largo de continuos procesos, el circuito ofrece confiabilidad.

Proyecto del sistema de control apagado-prendido de un phmetro

En el proyecto anterior visualizamos (en display) en el tablero general la medición analógica del ph del lavador de gases (scrubber). El circuito complementario permite elegir a criterio del operador un ph constante durante todo el proceso metalúrgico, con la finalidad de controlar el ph.

Las principales características del circuito de control off-on de ph son:

- a) Este proyecto sencillo lo conforman específicamente 2 amplificadores operacionales y un comparador digital y un optotriac (relé de estado sólido).
- b) De implementación sencilla al sistema de medición de ph.
- c) Los componentes a usar se encuentran con facilidad en el mercado.
- d) El circuito mostró eficiencia, sensibilidad y confiabilidad a lo largo de todo el proceso.

El proyecto cumplió con satisfacción el objetivo de controlar el ph del recipiente de recirculación de agua del lavador de gases y facilitar al operador del desarrollo de todo el proceso metalúrgico.

Proyecto de un transmisor y receptor de medición de ph por modulación de frecuencia de pulsos

El objetivo del proyecto es aprovechar la línea AC de la planta al reservorio cuya distancia aproximada es de 150 mts para medir el ph y utilizarlo en el reservorio propio de la planta piloto de tostación.

Una manera práctica de enviar información es a través de la frecuencia modulada por pulsos, que además nos trae ventajas ya que la información la obtenemos en las variaciones de frecuencia que a lo largo de la línea no se atenúan ni introducen ruidos.

El siguiente proyecto consta de tres componentes:

- a) Circuito transmisor o emisor por MFP
 - b) Circuito receptor
 - c) Circuito visualizador (por Led de 7 segmentos) del receptor.
- a) El circuito transmisor trabaja básicamente con un temporizador 555 en modo estable y la frecuencia de la señal de salida se controla mediante un voltaje aplicado al pin 5. Estas variaciones de frecuencia son amplificadas y enviadas por la misma red ac.

Este circuito se caracteriza por ser sencillo, eficiente y de fácil implementación a la red ac. Otra ventaja importante es que su voltaje de alimentación es independiente de la frecuencia de trabajo.

- b) El circuito receptor lo forma específicamente el PLL (el lazo de amarre de fase) que es un dispositivo digital de mucha versatilidad en controles de frecuencia.

Calculando sus parámetros de trabajo como: frecuencia mínima, frecuencia máxima, frecuencia central del Vco, rango de captura, rango de enganche y filtro

pasa bajo, el circuito funciona correctamente dentro de la frecuencia deseada. Las variaciones de frecuencia correspondieron (linealmente) a las variaciones de voltaje del phmetro.

La atenuación de amplitud de los pulsos de emisor al receptor estuvo dentro del 20%.

El circuito receptor se caracteriza por su sencillez, eficiencia y facilidad de implementarlo a la red ac.

c) El circuito visualizador de lectura digital convierte las variaciones de frecuencia en variaciones de voltaje, que a su vez son sensados mostrando en lectura de display de 3 dígitos.

En este proyecto se utilizan primordialmente:

- Un oscilador con 555
- Una compuerta And Cmos
- Un contador binario asíncrono de 8 bit
- Un conversor D / A de 8 bit
- Un amplificador operacional
- Un Ic ICL 7107
- Tres display de Ac

El circuito es de fácil construcción y se adapta directamente al receptor.

Durante la operación continua de trabajo en la planta piloto de tostación, todo el sistema de control de ph (emisor, receptor y visualizador de lectura) funcionaron con eficiencia y confiabilidad.

Proyecto de un sistema de control apagado-prendido de niveles de líquido en recipientes

El propósito del siguiente circuito es controlar el prendido y apagado de las electrobombas de entrada y salida de líquidos de los recipientes. Para la

elaboración del circuito se ha empleado específicamente la compuerta Cmos Nand y un relé de estado sólido.

Su funcionamiento se basa en los niveles lógicos en la entrada de la compuerta que lo conforman los electrodos dentro del recipiente. El tiempo de propagación del Cmos es aproximadamente 20 n seg. , lo que permite una gran rapidez de conmutación de niveles.

El circuito se implementó en un protoboard para estudiar y comprobar su funcionamiento en diferentes líquidos, como también en detectores de humedad, dando óptimos resultados.

Básicamente este circuito se caracteriza por:

- Circuito fácil de ensamblar
- Proyecto sencillo
- Todos sus elementos se consiguen en el mercado a bajo precio
- Tiene múltiples aplicaciones: detector de niveles de líquido, detector de humedad, detector de lluvia.
- Es confiable y sensible a los cambios de niveles de líquido.

BIBLIOGRAFIA

- CEKIT Electrónica Digital y Circuitos Integrados
Colombia: Compañía Editorial Electrónica, 1989
- ECG, Philips Manuel Técnico: TTL Digital IC
Volumen 1 y 2
U.S.A.: Distributor and Special Markets Division, 1988
- GOÑI, Miguel J. Biblioteca Básica Electrónica
Chile: Nueva Lente, Ediciones S.A., 1987
- MARKUS, John Enciclopedia de Circuitos Electrónicos
Barcelona: Marcombo S.A.
de Boixareu - Editores 88