

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REGULADORES DE VELOCIDAD ELECTRICOS-ELECTRONICOS  
CON CONTROL POSITIVO DE FLUJO O CON DISIPACION  
DE CARGA, CASO P.C.H. LA CASTALIA

TESIS  
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
POR

MARCO ANTONIO JUAREZ GONZALEZ

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE  
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, FEBRERO DE 1986

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central



11-11-11

11-11-11

11-11-11

11-11-11

11-11-11

11-11-11

11-11-11

11-11-11

11-11-11

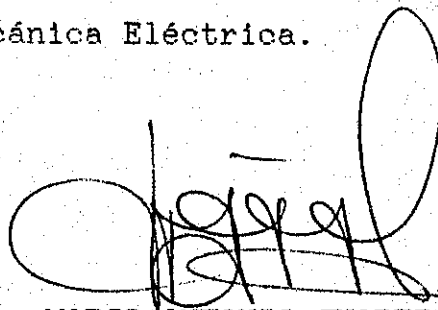
08  
T(3685)  
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**REGULADORES DE VELOCIDAD ELECTRICOS-ELECTRONICOS  
CON CONTROL POSITIVO DE FLUJO O CON DISIPACION  
DE CARGA, CASO P.C.H. LA CASTALIA**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.



MARCO ANTONIO JUAREZ GONZALEZ

UNIVERSIDAD DE LA GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA  
CATEDRA DE ELECTRONICA  
2010



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



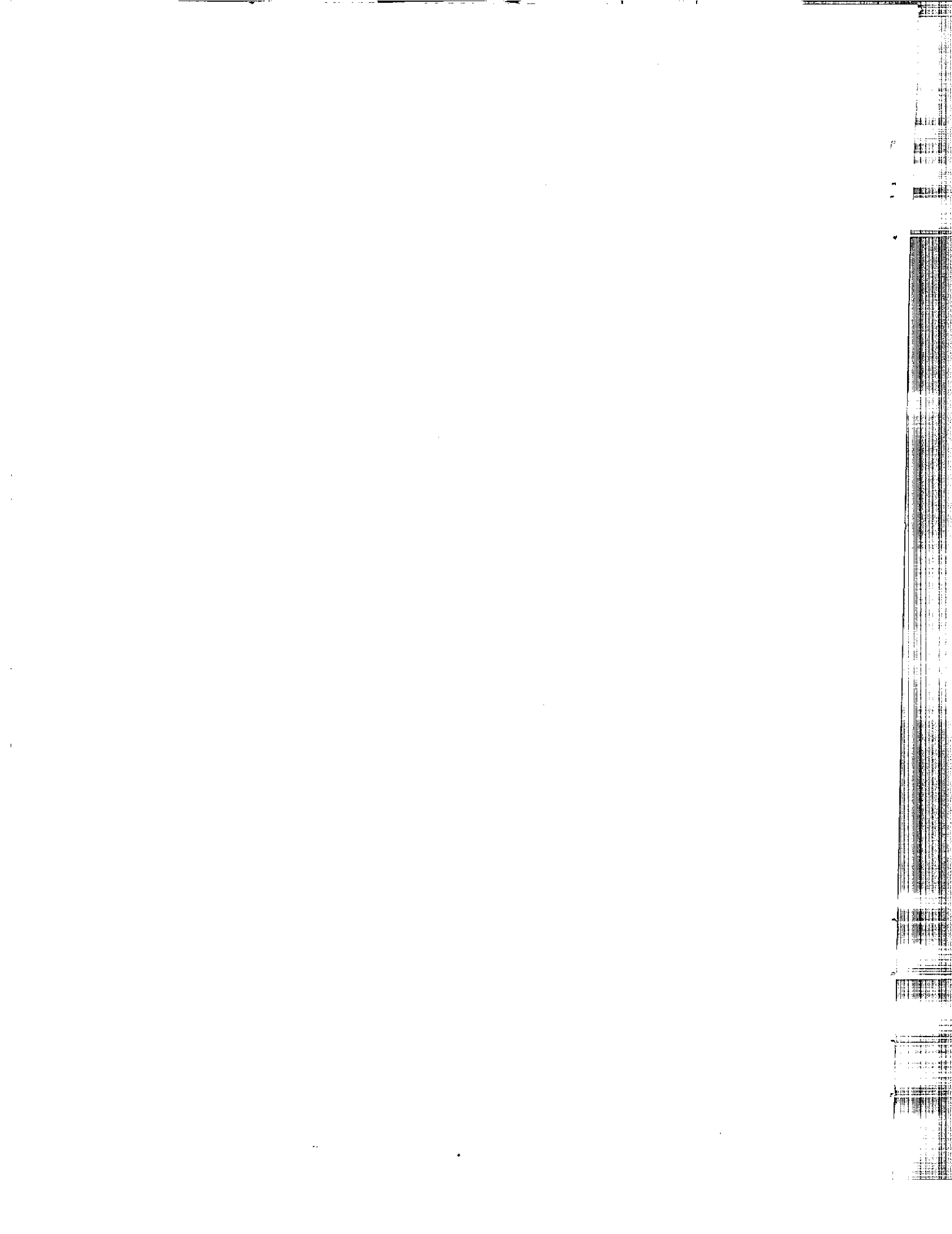
FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
VOCAL PRIMERO	ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL SEGUNDO	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL TERCERO	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL CUARTO	BR. FERNANDO WALDEMAR DE LEON CONTRERAS
VOCAL QUINTO	BR. PEDRO IGNACIO ESCALANTE PASTOR
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
EXAMINADOR	ING. JUDY MARLENE LONE
EXAMINADOR	ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
EXAMINADOR	ING. RONY OTONIEL CASTILLO GARCIA
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ



Guatemala 19 de Enero de 1996

Ingeniero  
José L. Herrera G.  
Coordinador del Area General  
Escuela Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC

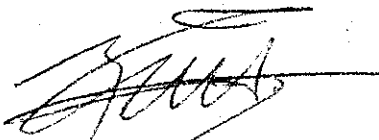
Señor Coordinador:

Me es grato dirigirme a usted, para informarle que he revisado el trabajo de tesis denominada: "REGULADORES DE VELOCIDAD ELECTRICOS-ELECTRONICOS CON CONTROL POSITIVO DE FLUJO Y CON DISIPACION DE CARGA, CASO P.C.H. LA CASTALIA", presentada por el estudiante MARCO ANTONIO JUAREZ GONZALEZ, previo a optar al título de Ingeniero Electricista.

El trabajo hace una importante aportación desde el punto de vista de la Ingeniería Eléctrica a la Comuna de San Marcos y en general a aquellos propietarios de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, al permitir visualizar y definir, a través del caso de La Castalia, las oportunidades que tienen los tipos de reguladores de velocidad tratados de ser utilizados en este tipo de centrales. En tal sentido me permito informarle que encuentro satisfactorio el trabajo realizado y lo remito a usted para los trámites respectivos de aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,



Ing. Miguel A. García  
Colegiado No. 1839







**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 25 de enero de 1,996

Señor Director  
Ing. Edgar F. Montúfar Urizar  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado: **Reguladores de velocidad eléctricos-electrónicos con control positivo de flujo y con disipación de carga, caso P.C.H. La Castalia**, desarrollado por el señor **Marco Antonio Juárez González**, previo a optar al título de Ingeniero Electricista, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Luis Herrera Gálvez  
Coordinador Area de Electrotecnia

JLHG/sdem.





**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Marco Antonio Juárez González, titulada: **Reguladores de velocidad eléctricos-electrónicos con control positivo de flujo o con disipación de carga, caso P.C.H. La Castalia**, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Edgar F. Montúfar Urizar  
Director

Guatemala, 9 de febrero de 1,996.







**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: Reguladores de velocidad eléctricos-electrónicos con control positivo de flujo o con disipación de carga, caso P.C.H. La Castalia, del estudiante Marco Antonio Juárez González, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck

Decano

Guatemala, 16 de febrero de 1,996.

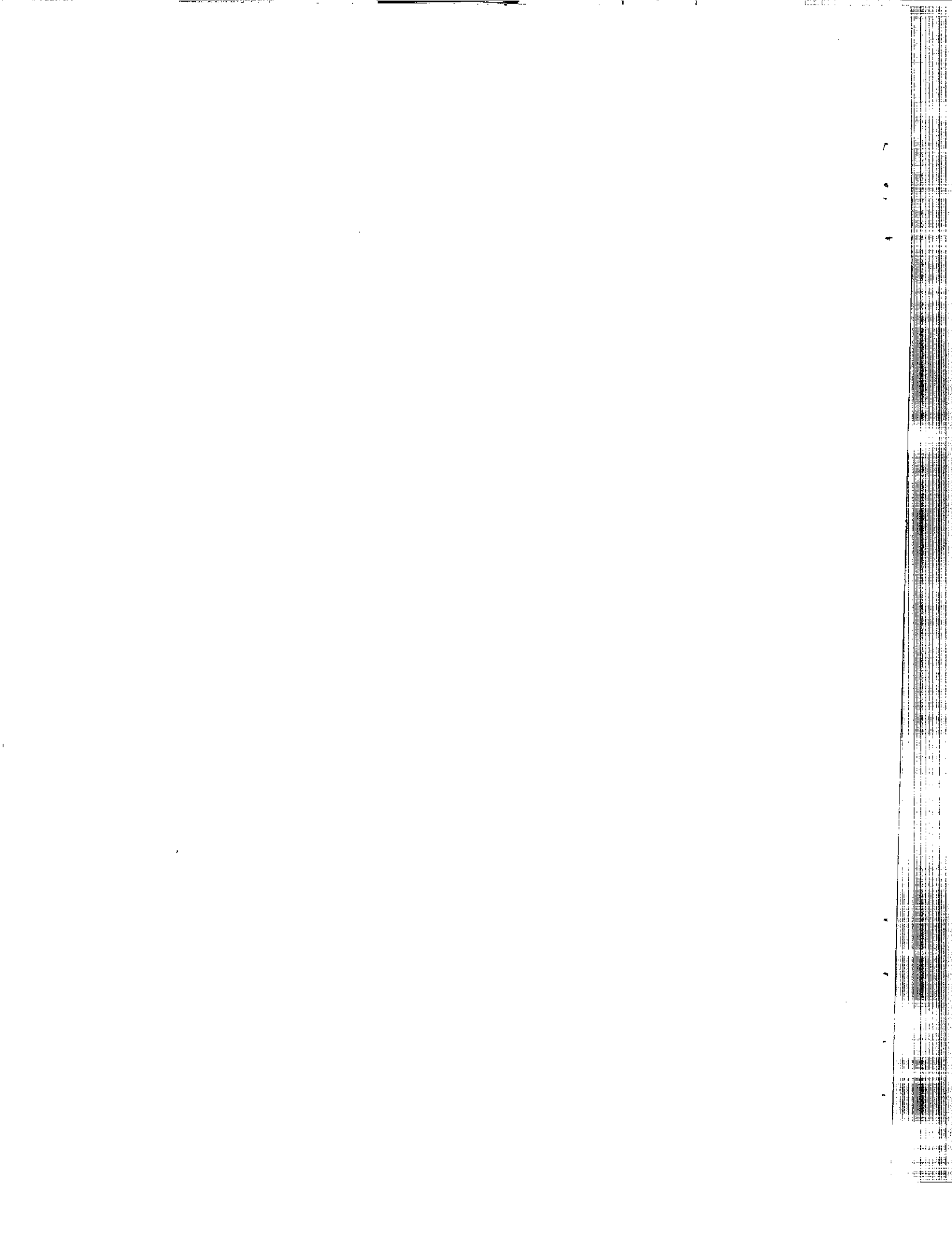


1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

## ACTO QUE DEDICO

- A DIOS  
Por guiarme hacia el camino del bien y permitirme alcanzar la meta deseada.
- A MIS PADRES  
Marco Antonio Juárez López y  
Dora Herminea González Pérez.  
  
Con amor por su esfuerzo y apoyo material y moral que me proporcionaron incondicionalmente, para ver hoy realizado uno de sus más grandes anhelos.
- A MIS HERMANOS  
Carlos Roberto, Dora Edmí y Marco Vinicio.  
  
Como un reconocimiento a sus consejos, ayuda moral y espiritual.
- A MI ESPOSA  
Flor de María Pérez Mikery.  
  
Con amor por su amplia comprensión.
- A MI HIJO  
Marco Antonio Juárez Pérez.  
  
Con amor para que este triunfo alcanzado, le sirva como estímulo para que en el futuro trate de superarse.
- A MIS CUÑADOS  
En especial a Luis Emilio, Zoila, Marta e Ileana.  
  
Gratitud sincera por sus sabios consejos y solidaridad.
- A MIS SUEGROS  
Manuel María Pérez Rodas y  
Amparo Mikery de Pérez  
  
Por su apoyo incondicional.
- A MIS SOBRINOS  
Como un ejemplo en la vida.
- A MIS AMIGOS  
En especial a Gerardo, Angel, Daniel, Sergio, Jorge y Rony.
- A TODA MI FAMILIA  
EN GENERAL  
Respetuosamente.

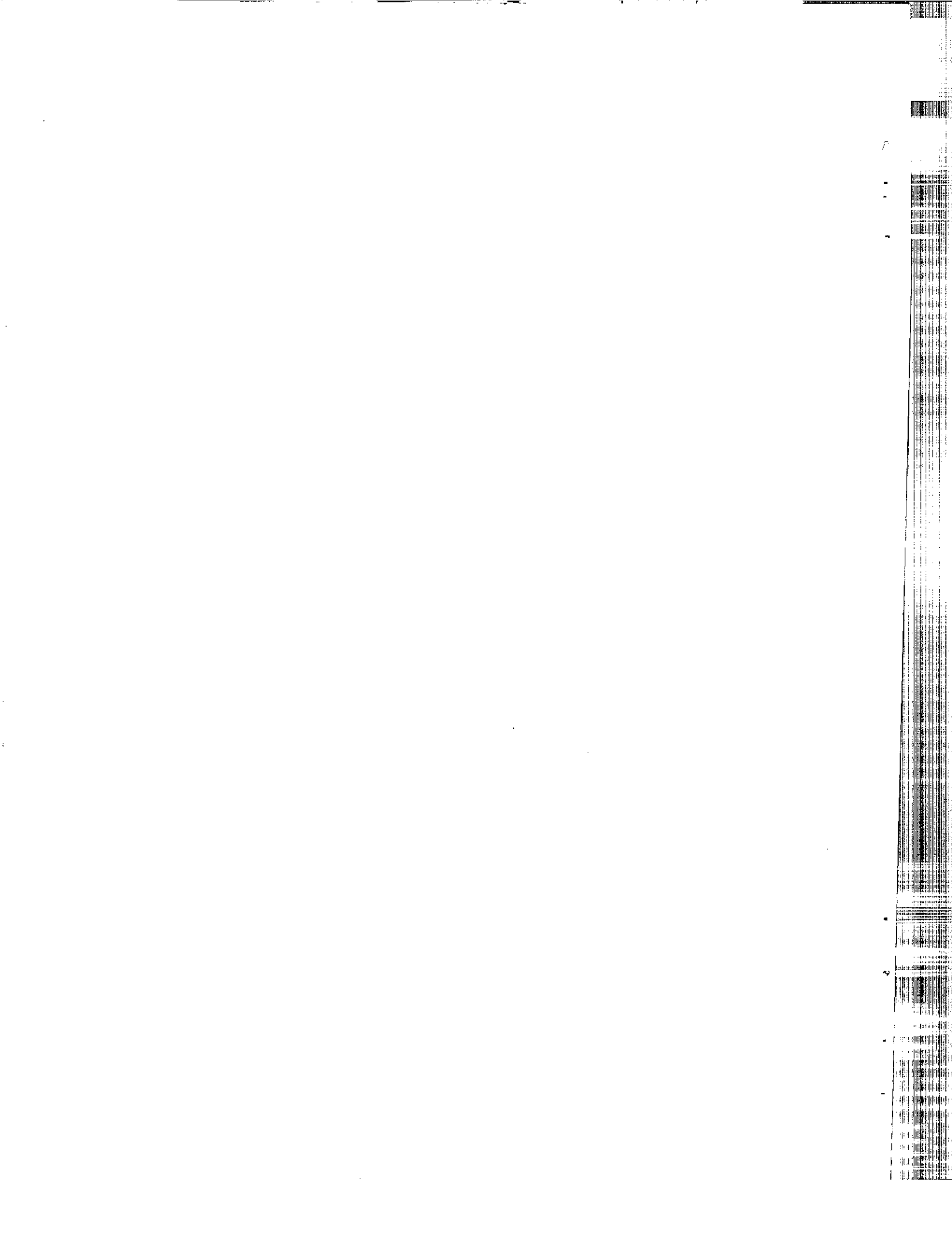
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA





## AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que de una u otra manera cooperaron para que la realización de esta tesis llegara a su culminación y en especial al Ing. Miguel Arturo Garcia de la Torre por su colaboración incondicional y profesional en el ramo.



## INDICE

Indice . . . . .	i
Introducción . . . . .	v

**CAPITULO I**  
**REGULADORES DE VELOCIDAD**

1. Fundamento de la acción electromagnética . . . . .	1
1.1 Diagrama de bloques del generador . . . . .	3
2. Regulador de velocidad Eléctrico-Electrónico con Control Positivo de Flujo . . . . .	4
2.1 Generalidades . . . . .	4
2.2 Funcionamiento . . . . .	4
2.3 Descripción general . . . . .	5
2.3.1 Ubicación . . . . .	5
2.3.2 Diagrama de bloques . . . . .	5
2.3.3 Componentes fundamentales . . . . .	9
2.3.3.1 Parte electrónica . . . . .	9
2.3.3.1.1 Acciones de control . . . . .	9
2.3.3.1.1.1 Acción de control proporcional . . . . .	9
2.3.3.1.1.2 Acción de control integral . . . . .	11
2.3.3.1.1.3 Acción de control derivativo . . . . .	11
2.3.3.1.1.4 Acción de control PID . . . . .	11
2.3.3.1.2 Elementos por bloque del regulador . . . . .	12
2.3.3.1.2.1 Velocidad de referencia . . . . .	12
2.3.3.1.2.2 Sensor de velocidad de la turbina . . . . .	14
2.3.3.1.2.3 Circuito comparador . . . . .	14
2.3.3.1.2.4 Circuito PID . . . . .	15
2.3.3.1.2.5 Bloque de seguridad . . . . .	15
2.3.3.1.2.6 Filtro . . . . .	18
2.3.3.1.2.7 Amplificación de potencia . . . . .	18
2.3.3.1.2.8 Servomotor . . . . .	18
2.3.3.1.2.9 Transductor de desplazamiento . . . . .	20
2.3.3.1.2.10 Señal de control manual . . . . .	21
2.3.3.1.2.11 Osciladores . . . . .	23
2.3.3.1.2.12 Indicador de velocidad de la turbina . . . . .	23
2.3.3.1.2.13 Fuente reguladora de tensión . . . . .	23
2.3.3.2 Parte eléctrica . . . . .	23
2.3.3.2.1 Selección del servomotor eléctrico . . . . .	24
2.3.3.3 Parte mecánica . . . . .	24
2.3.3.3.1 Servomotor de fuerza . . . . .	24
2.3.3.3.2 Servomotor piloto . . . . .	24
2.3.4 Tipos de reguladores . . . . .	25

2.3.4.1	Esquema funcional de un regulador eléctrico-electrónico-hidráulico . . . . .	25
2.3.4.2	Esquema funcional de un reglador que da las formas de control Feedback y Feed-Forward . . . . .	27
2.3.4.3	Esquema funcional de un regulador de tipo realimentado con acción de control PID . . . . .	27
2.3.4.4	Esquema funcional de un regulador de tipo realimentado con acción de control proporcional integral . . . . .	29
2.3.5	Exactitud y calidad de regulación . . . . .	29
2.3.6	Desarrollo del regulador . . . . .	30
2.3.7	Mantenimiento . . . . .	30
2.3.8	Vida útil . . . . .	30
2.3.9	Costo . . . . .	30
3.	Regulador de velocidad eléctrico-electrónico con control de disipación de carga . . . . .	32
3.1	Generalidades . . . . .	32
3.2	Funcionamiento . . . . .	32
3.3	Descripción . . . . .	33
3.3.1	Ubicación . . . . .	33
3.3.2	Diagrama general . . . . .	33
3.3.3	Descripción funcional . . . . .	35
3.3.3.1	Descripción en detalle por etapa . . . . .	37
3.3.3.1.1	Sincronización a la red . . . . .	37
3.3.3.1.2	Detector de frecuencia y error . . . . .	37
3.3.3.1.3	Detector y medidor de I de línea . . . . .	39
3.3.3.1.4	Circuito compensador de corriente IV . . . . .	39
3.3.3.1.5	Cricuito compensación PD o PID . . . . .	39
3.3.3.1.6	Circuito de gobierno de tiristores o triacs . . . . .	40
3.3.3.1.6.1	Corriente continua . . . . .	40
3.3.3.1.6.2	Corriente alterna . . . . .	40
3.3.3.1.6.3	Disparo por impulso único . . . . .	42
3.3.3.1.6.4	Disparo por trenes de onda o impulsos . . . . .	42
3.3.3.1.7	Circuito modulador y optoacoplador . . . . .	42
3.3.3.1.8	Circuito de potencia . . . . .	42
3.3.3.1.9	Circuito de seguridad: sobre-frecuencia . . . . .	43
3.3.3.1.10	Circuito de seguridad: sobrecorriente . . . . .	43
3.3.3.1.11	Fuente de alimentación a los circuitos . . . . .	43
3.3.4	Componentes fundamentales . . . . .	43
3.3.5	Condiciones de regulación . . . . .	45
3.3.6	Tipos de reguladores . . . . .	45
3.3.6.1	R.D.C. con circuitos de control de una sola carga lineal acoplada a las tres fases . . . . .	46
3.3.6.2	R.D.C. con circuitos de control de una carga lineal acoplada a una fase . . . . .	48
3.3.6.3	R.D.C. con circuitos de control escalonado de varias cargas fijas . . . . .	48
3.3.6.4	R.D.C. con circuitos de control de sistemas auxiliares de servicios . . . . .	48
3.3.7	Materiales resistivos como cargas auxiliares . . . . .	50

3.3.7.1	Resistencias metálicas por etapa	50
3.3.7.2	Las Cermets	51
3.3.7.3	Resistencia no metálicas	51
3.3.7.4	Forma de disposición de las resistencias	51
3.7.8	Análisis comparativo de los sistemas de R.D.C.	51
3.3.9	Costos	53
3.3.10	Exactitud y calidad de regulación	54
3.3.11	Mantenimiento	54
3.3.12	Vita útil	54
3.3.13	El funcionamiento y operación del R.D.C. en una P.C.H	54
3.3.14	Desconexión del sistema	55
4.	Desplazamiento de los reguladores de velocidad oleo-mecánicos por los eléctricos-electrónicos	55

## CAPITULO II

### CENTRAL HIDROELECTRICA LA CASTALA

1.	Características generales de la central	57
1.1	Generales	57
1.2	Función	57
1.3	Situación geográfica	58
1.4	Capacidad instalada	58
1.5	Generación actual	58
1.6	Año de inauguración	58
1.7	Información hidrológica	59
1.7.1	Principal afluente	59
1.7.2	Prensa	59
1.7.3	Desarenador	59
1.7.4	Canal de conducción	59
1.7.5	Embalse de Regulación	59
1.7.6	Tubería de presión	60
1.8	Turbina hidráulica	60
1.8.1	Turbina fransis	60
1.8.2	Turbina fransis caja espiral	61
1.9	Sistema eléctrico	61
1.9.1	Generador	61
1.9.2	Protecciones en la central	61
1.9.3	Subestación transformadora	62
1.9.4	Líneas de transmisión	62
1.10	Operación actual de la central	63
2	Sistema eléctrico que alimenta la Castalia	63
2.1	Area de estudio	63
2.2	Situación de la red	63
3	Componentes del sistema	64
3.1	Transformadores de distribución	64
3.2	Seccionadores	65
3.3	Conductores y estructuras	65
4	Demanda del circuito	65
4.1	Número de usuarios	66
4.2	Donaciones de servicio eléctrico	67
4.3	Alumbrado público	67

5	Flujo de carga del sistema y tipo de carga . . . . .	67
5.1	Flujo de carga . . . . .	68
5.1.1	Análisis del flujo de carga . . . . .	69
5.2	Inspección visual del área . . . . .	70
5.3	Definición de tipo de carga . . . . .	71
6	Sistema de regulación en la P.C.H. la Castalia . . . . .	72
6.1	Regulador oleo-mecánico . . . . .	72
6.2	Regulación actual . . . . .	73
6.3	Problemas a el proceso de regulación . . . . .	75
7	Ventajas y desventajas de la utilización de un sistema de regulación. . . . .	75
7.1	Ventajas . . . . .	75
7.2	Desventajas . . . . .	76

### CAPITULO III DEFINICION DE LA METODOLOGIA PARA LA SELECCION

1.	Generalidades . . . . .	77
2.	Parámetros que se van a evaluar . . . . .	77
3.	Análisis de parámetros . . . . .	78
4.	Evaluación: regulador de velocidad eléctrico-electrónico con control positivo de flujo . . . . .	81
5.	Evaluación: regulador de velocidad eléctrico-electrónico con control de disipación de carga . . . . .	82
6	Reguladores propuestos para la P.C.H. la Castalia . . . . .	83
	CONCLUSIONES . . . . .	90
	RECOMENDACIONES . . . . .	92

GLOSARIO  
BIBLIOGRAFIA  
ANEXOS

## INTRODUCCION

Las pequeñas centrales hidroeléctricas actualmente tienen como principal función servir a poblaciones rurales aisladas, de modo que una unidad abastece en forma total de electricidad a la red eléctrica del sitio y ésta regula sola la frecuencia de la red. Para esta forma de operación es necesario sólo el control de velocidad o de frecuencia de la central, por medio de un sistema de regulación.

El sistema de control de velocidad para el caso de un regulador eléctrico-electrónico con control positivo de flujo, trabaja como un sistema regulador, es decir, que aunque cambie momentáneamente la velocidad de la turbina, el sistema de control responde para que se mantenga la velocidad angular dentro de valores cercanos al valor nominal de trabajo.

En los últimos años, se ha ideado una forma de control indirecto de frecuencia, mediante el control de la carga de la red: es decir, que como un funcionamiento permanente hay una correspondencia (relación funcional) entre valores de la potencia eléctrica (que se intercambia entre el generador y la red) y valores de frecuencia, y si se mantiene constante la potencia, se logra mantener también la frecuencia. La forma de mantener constante la potencia y la frecuencia al valor nominal es mediante la inclusión en la red de un banco de resistencias en donde se disipará la potencia generada en exceso. De este modo, mediante un sistema de regulación apropiado que se le conoce como eléctrico-electrónico con disipación de carga y el banco de resistencias antes mencionado se logra controlar la frecuencia de la red.

Tanto el regulador con control positivo de flujo como el de disipación de carga son dos sistemas de regulación muy nuevos en su desarrollo, debido en su mayor parte a la evolución de los circuitos y elementos electrónicos que permiten obtener un sistema de control altamente sofisticado. En este sentido, las P.C.H. que no requieren mucha infraestructura y no necesariamente deberán estar interconectadas con otras centrales vecinas o a los sistemas interconectados de distribución, permiten un mayor campo de estandarización de sus características de operación.

En el presente estudio, se hace un análisis pormenorizado de los dos tipos de reguladores de velocidad que se han mencionado, para lo cual, se presenta un diagrama general de bloques del sistema, especificando las funciones que cumplen; además, se presentan los diferentes tipos de reguladores según su género, en relación al sistema de control que poseen.

Posteriormente se determina con base en un buen desempeño en la regulación, costo, mantenimiento, vida útil y rapidez de respuesta, si es o no factible el uso de un sistema de regulación para la P.C.H. la Castalia, propiedad de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, debido a que el proceso actual de regulación es manual, a consecuencia del deterioro que sufrió el regulador con que fue provista dicha central.



## CAPITULO I

### REGULADORES DE VELOCIDAD

#### 1) FUNDAMENTO DE LA ACCION ELECTROMECHANICA

Desde el punto de vista de análisis, es importante determinar las principales variables que intervienen en la regulación de la velocidad. La turbina es la máquina motriz, a la cual el rotor del generador está colocado, por lo tanto, tanto la turbina como el rotor del generador tienen la misma velocidad mecánica.

La velocidad normal "W" de los generadores síncronos viene determinada por la velocidad de la máquina motriz, o por la frecuencia en función al número de polos, siendo:

$$W = d\theta/dt = 120f/p \text{ (r.p.m.)} \quad (1.1)$$

donde:  $d\theta/dt$  = velocidad de rotación angular.

$f$  = frecuencia de la red en Hz.

$p$  = número de polos

El generador es el equipo que va a transformar la energía mecánica rotacional generada por la turbina a energía eléctrica. El diagrama elemental de un generador síncrono se muestra en la figura 1.1, en la cual se ven en forma simplificada sus dos partes constitutivas; el circuito del campo de excitación montado en el rotor y el circuito del campo de inducción en el estador.

El circuito equivalente para una fase del generador síncrono se muestra en la figura 1.2, donde nos permitirá describir separadamente los efectos físicos presentes en el funcionamiento del generador, así tenemos:

- a) La determinación del par resistente producida por la corriente a través del inducido, que se opone al giro del rotor, está expresado por la ley de Lenz, que dice:

"En todos los casos de inducción electromagnética, la tensión inducida tenderá a hacer circular en un circuito cerrado una corriente en un sentido tal, que lo ha engendrado".

Esta fuerza electromagnética ( $\mathcal{E}$ ) que se opone al torque generado por la turbina hidráulica, es a saber: un campo

magnético ( $\Psi$ ) dado por el devanado de la excitatriz, la longitud activa del conductor o espiras del devando del inducido ( $L$ ) y la intensidad de la corriente que circula por el conductor ( $I_a$ ). Por tanto, la fuerza electromagnética " $\mathcal{E}$ " o par resistente será igual a:

$$\mathcal{E} = K \Psi I_a \quad (1.2)$$

donde:  $K$  es una constante de relación número de espiras y unidades rotacionales.

- b) El torque generado " $T$ " por la turbina hidráulica por tanto deberá ser igual al par resistente producido por la corriente y el par motor de la máquina motriz, que será la suma de los momentos de inercia de la masa en movimiento, como son: turbina, rotor del generador, rotor de la excitatriz (si está acoplado al eje), etc. Resumiendo, el Torque Generado será igual a:

$$T = \mathcal{E} + J \frac{dW}{dt} + B W \quad (1.3)$$

despejando  $W$  y en transformada de Laplace:

$$W(\text{r.p.s.})(s) = (T - \mathcal{E}) / (Js + B) \quad (1.4)$$

donde:  $J$  = sumatoria de los momentos de inercia en  $\text{kg m}^2$

$B$  = rozamiento viscoso de las partes en movimiento.

$W$  = velocidad de giro en revoluciones por segundo.

### 1.1) DIAGRAMA DE BLOQUES DEL GENERADOR

Analizando el diagrama de bloques del generador (Tomándose en cuenta una sola fase), de la figura 1.3, se observa que existen dos variables de entradas directas, el voltaje o corriente de campo  $V_f$  ó  $I_f$ , y el torque mecánico  $T$ .

Las variables de salida controladas por la corriente de campo son: la potencia reactiva " $Q$ " y el voltaje en bornes " $V_p$ ", mientras que las controladas por el torque mecánico son: la potencia activa " $P$ " y la frecuencia " $f$ ".

Por lo tanto, para un sistema eléctrico de generación se tienen dos señales de entrada y cuatro de salida, y existe una interrelación entre estas variables, pero el grado de relación entre éstas es mayor en ciertos casos. Como se observa en las ecuaciones (1.1) a (1.4), el grado de relación entre el torque mecánico " $T$ " y la frecuencia " $f$ " del sistema es directo.

La velocidad mecánica de giro de la turbina puede ser regulada, y por ende la frecuencia (ecuación 1.1), mediante un regulador de velocidad, el cual equilibra el torque mecánico a variaciones de par resistivo.

El mecanismo de control de velocidad de giro de la turbina tiene la función de mantener en lo posible la frecuencia constante, mantiene su estabilidad y responde a variaciones de carga eléctrica.

## 2) REGULADORES DE VELOCIDAD ELECTRICO-ELECTRONICO CON CONTROL POSITIVO DE FLUJO

### 2.1) GENERALIDADES

Las pequeñas centrales hidroeléctricas permiten el abastecimiento autónomo de un lugar con energía eléctrica. En tales poblaciones, tanto la turbina como el regulador tienen que responder a exigencias muy elevadas, para mantener constante la velocidad del sistema ante las variaciones de carga. El sistema de control de velocidad responde para que mantenga la velocidad angular dentro de valores cercanos al valor nominal de trabajo.

Este regulador se define como un sistema de gobernación de velocidad en el cual la señal de control eléctrico es proporcional al error de velocidad o frecuencia y la compensación es procesada eléctricamente (señales continuas para controlador analógico o señales por pulsos para controlador digital) para ser amplificadas hidráulicamente.

### 2.2) FUNCIONAMIENTO

Inicialmente se detecta la frecuencia de la red eléctrica; esto es por medio de un frecuencímetro de precisión; esta información la recibe ya sea un transductor de detectores magnéticos, o bien, por convertidores de una señal de frecuencia a una señal de voltaje, colocados cerca del eje, para así transmitir esta señal al sistema de control que determina la posición del servo de compuertas y servo pilotos de preamplificación hidráulica. Por último, los elementos actuantes para el control de flujo de agua de la turbina, se accionan (debido a la información eléctrica recibida del sistema de control), por medio de transductores electromecánicos, es decir, servo válvulas que controlan el camino del fluido hidráulico.

## 2.3) DESCRIPCION GENERAL

### 2.3.1) UBICACION

La ubicación del sistema de regulación de velocidad por control positivo de flujo, dentro del sistema eléctrico de generación, es el mostrado en la figura 2.1 y figura 2.2.

### 2.3.2) DIAGRAMA DE BLOQUES

El diagrama de bloques del regulador de velocidad eléctrico-electrónico con control positivo de flujo es el mostrado en la figura 2.3, y es el diagrama básico que utilizan todos los reguladores. Los bloques funcionales que aparecen en la figura están asociados con tareas operacionales que deben ser cumplidas por las diferentes partes del sistema, así:

- a) El sistema de detección y conversión de señal que detecta la velocidad angular y la convierte en una señal de voltaje proporcional a ella.
- b) El convertor de posición a voltaje que capta la señal de posición "z" y la convierte en una señal de voltaje proporcional a ésta.
- c) El circuito comparador que resta las señales: voltaje de referencia que lleva la información de la velocidad angular deseada, menos las señales de voltaje que llevan información de la posición "z" y de la velocidad angular de la turbina respectivamente.
- d) El circuito proporcional integral derivativo que hace la veces de un ente decididor de la actuación de los servomecanismos sobre la posición "z", actuación que se basa en información compuesta en forma aditiva de tres partes: una proporcional al error (Acción proporcional), otra proporcional a la integral de error (Acción integral) y una tercera proporcional a la derivada del error (acción derivativa).
- e) El Servomecanismo eléctrico que sirve como un elemento convertor de la señal del voltaje generado por el circuito proporcional integral derivativo, en una señal de desplazamiento de alguna parte del servomecanismo hidráulico. Es decir, hacer de interface entre una parte del sistema de control que es puramente electrónica con otra parte del mismo que es de naturaleza mecánica.
- f) El bloque servo o servomecanismos hidráulicos como su nom-

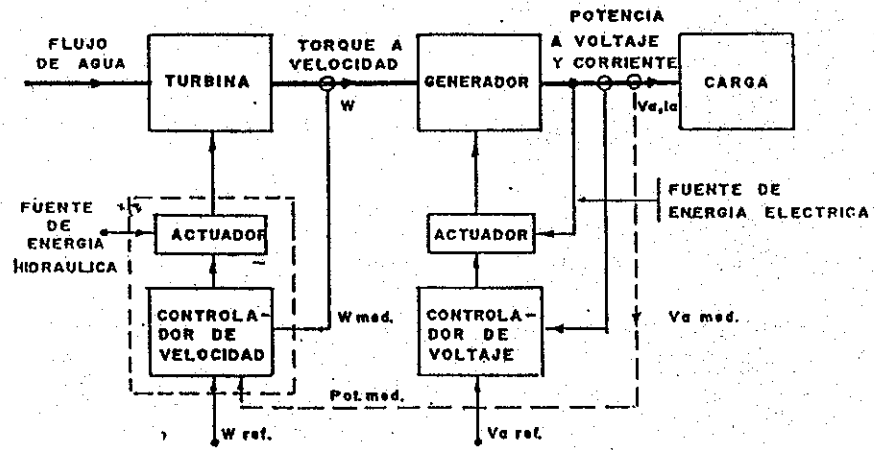
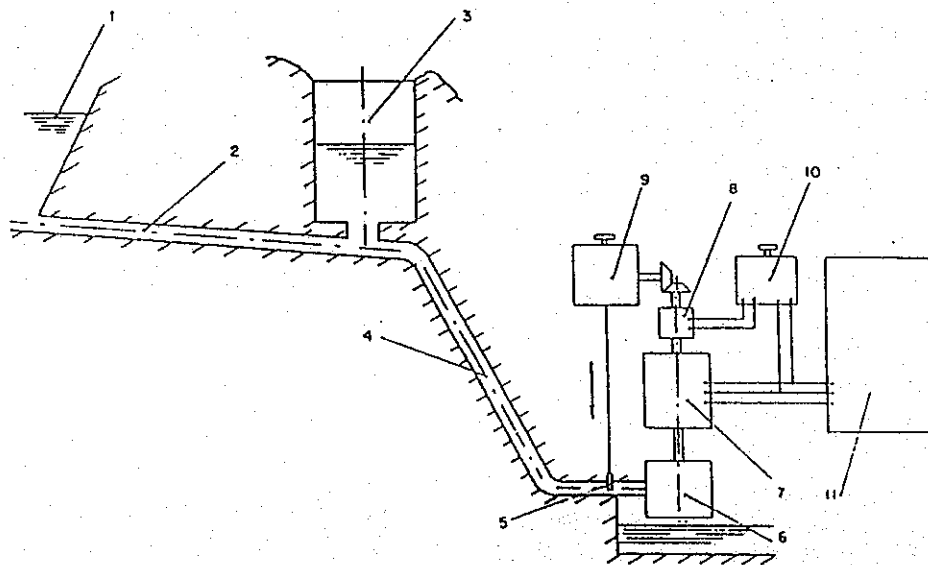


Figura 2.1 Sistema de Control de una Central Hidráulica de Generación Eléctrica.



- |                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Reservorio                 | 7. Generador eléctrico    |
| 2. Galería                    | 8. Excitatriz             |
| 3. Chimenea de equilibrio     | 9. Regulador de velocidad |
| 4. Tubería forzada            | 10. Regulador de tensión  |
| 5. Distribuidor de la turbina | 11. Red Eléctrica         |
| 6. Turbina hidráulica         |                           |

Figura 2.2 Una instalación hidroeléctrica típica (Sistema de control).

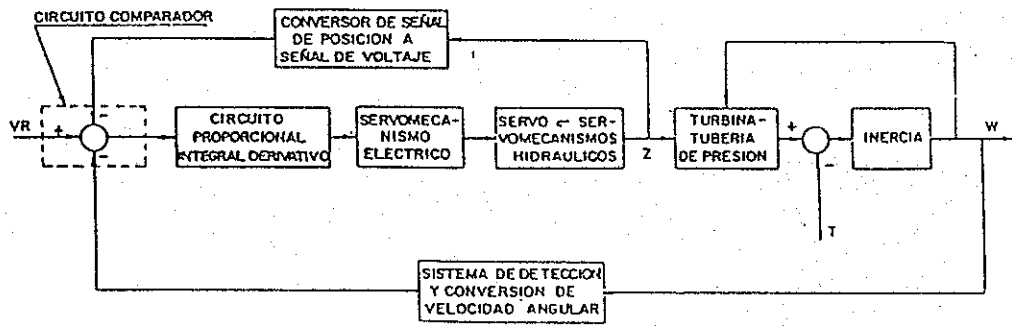
bre lo indica, se relaciona con actuadores hidráulicos que causan el desplazamiento "z". Dependiendo de la potencia de la unidad y por ende del torque necesario para mover el mecanismo de distribución de la turbina, pueden ser necesarios uno o dos actuadores hidráulicos. El primero de ellos actuaría como un preamplificador de fuerza.

- g) Los últimos bloques: sistema tubería de presión, inercia; corresponden funcionalmente a todo el sistema que genera la potencia mecánica en el eje de la turbina (tubería de presión, inercia compuerta de rodote de la turbina y de la del generador, etc.).

Además de los elementos indicados en los bloques funcionales de la figura 2.3, se necesitan ciertos dispositivos auxiliares para que el sistema pueda funcionar y son:

- a) Una fuente de potencia que consiste principalmente de un transformador, de un circuito rectificador y de un regulador de voltaje. La fuente alimenta de corriente continua a los circuitos antes mencionados y a los elementos conversor de señal de posición de voltaje, sistema de conversión y detección y servomecanismo eléctrico.
- b) Circuito hidráulico para los servomotores hidráulicos.
- c) Sistema de seguridad que actúa sobre la bomba del circuito hidráulico y sobre el circuito del servomecanismo eléctrico. Son necesarios, además, arreglos de interruptores que permiten pasar de una forma manual de operación a una forma automática.
- d) El elemento actuante que mueve los mecanismos para el control de flujo de agua a la turbina debido a la acción del control del gobernador, consiste del servomotor de fuerza hidráulico para accionar y depende de las turbinas a servomotores de:
- Servomotor de compuerta
  - Servomotor de reflector
  - Servomotor de aguja inyector
  - Servomotor de posición angular de hélice

Los elementos o bloques que conforman el sistema de control de este regulador son de una gran resolución y precisión debido a que su instrumentación es en gran parte electrónica.



VR: VOLTAJE DE REFERENCIA  
 Z : SEÑAL DE POSICION DEL MECANISMO DE DISTRIBUCION DE LA TURBINA  
 W: VELOCIDAD ANGULAR  
 T: TORQUE DE CARGA SOBRE EL EJE DE LA TURBINA

Figura 2.3 Bloques funcionales de un regulador de velocidad eléctrico - electrónico con control positivo de flujo.

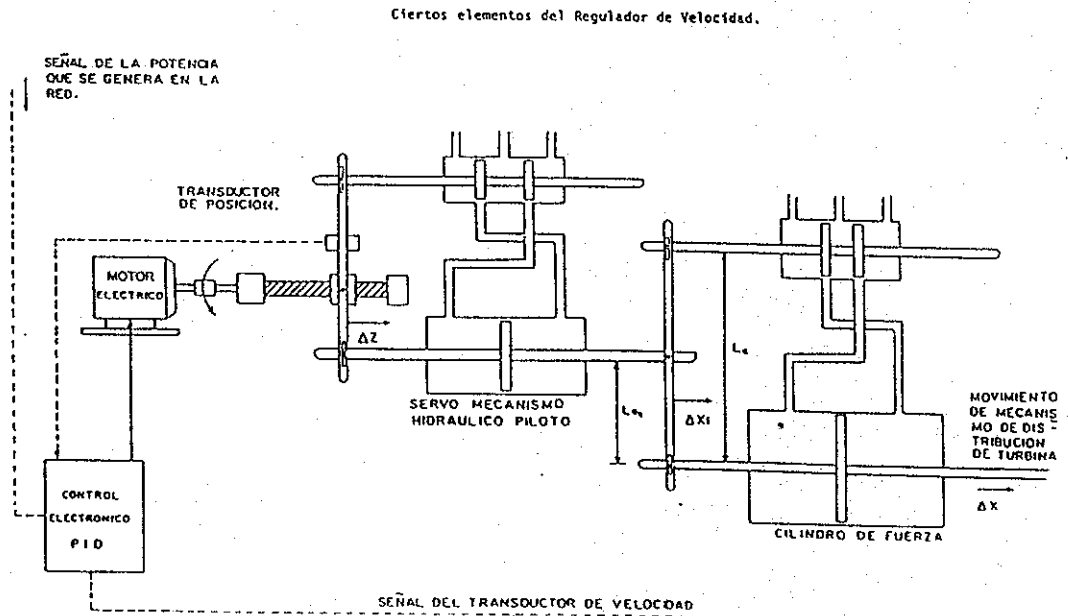


Figura 2.4

### 2.3.3) COMPONENTES FUNDAMENTALES

El regulador eléctrico-electrónico, con control positivo de flujo, está formado por 3 partes fundamentales, como se puede observar en la figura 2.4.

#### 2.3.3.1) PARTE ELECTRONICA

Esta parte, que es la más importante de todas, es puramente electrónica que casi en su totalidad es procesadora de información y no consume potencia; esta parte puede ser común para todos los reguladores de velocidad eléctrico-electrónicos, ya que sería independiente del tamaño de la P.C.H.; esta parte electrónica podría servir para los tipos mas comunes de turbinas usadas en las P.C.H., las cuales son: tipo Pelton, Michell-Banki o con menos frecuencia la tipo Fransis.

En la figura 2.5, se muestra un diagrama donde se indica la parte electrónica del regulador de velocidad y se ha delimitado con una línea punteada. En seguida, se hará una breve revisión de las principales acciones de control; es ésta parte la más importante del regulador, para despues pasar a definir los elementos de cada bloque.

#### 2.3.3.1.1) ACCIONES DE CONTROL

La diferencia entre los diferentes tipos de reguladores de velocidad radica en las acciones de control del circuito electrónico. Cada bloque de la acción de control usa ciertos circuitos que se usan en electrónica. Básicamente se usa el amplificador operacional, como circuito integrado, en diversas configuraciones para obtener los efectos deseados.

##### 2.3.3.1.1.1) ACCION DE CONTROL PROPORCIONAL

Para obtener la acción de control proporcional, se usa normalmente un circuito como el presentado en la figura 2.6. La señal manipulada es algebraicamente proporcional al error, el cual es la diferencia entre la señal controlada y valor deseado ( $V_d - V_c$ ).

Sus características son:



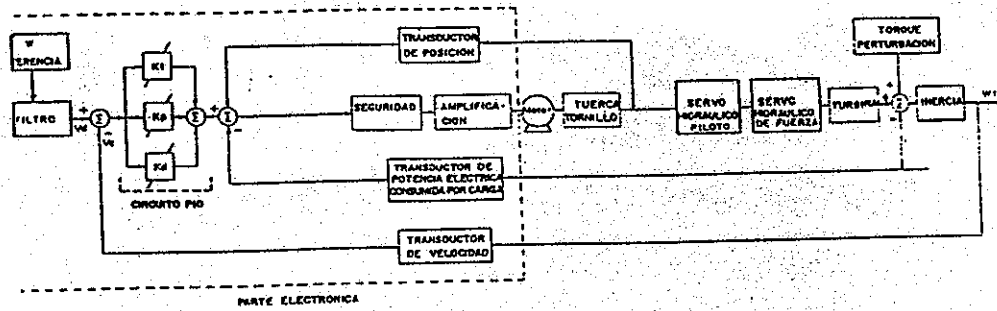
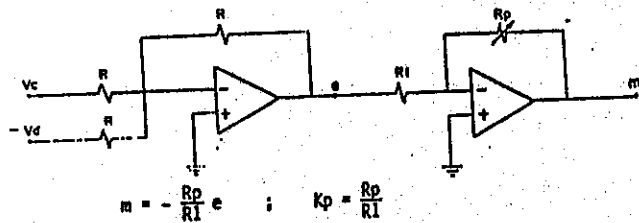
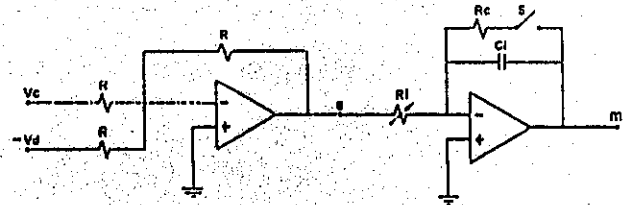


Figura 2.5 DIAGRAMA GENERAL DE BLOQUES CON REALIMENTACION DE POTENCIA DE CARGA



$$m = -\frac{R_p}{R_i} e \quad ; \quad K_p = \frac{R_p}{R_i}$$



$$m = -\frac{1}{R_i C_i} \int_0^t e(t) dt + V_{ci} \text{ en } t = t_0 \text{ es cero; } K_i = 1/(R_i C_i) \text{ (} R_i C_i \text{ variables)}$$

Figura 2.6 . Circuito para acción de control proporcional.

Figura 2.7 Circuito para acción de control integral.

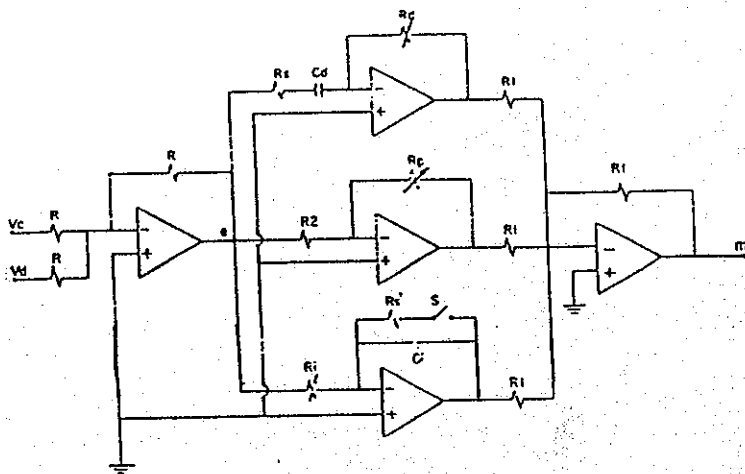
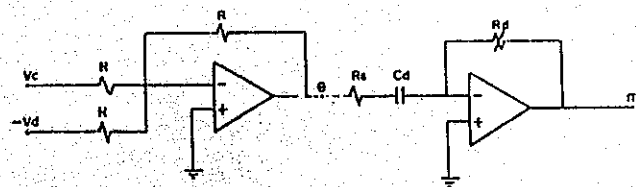


Figura 2.9 Circuito para acción de control PID de parámetros desacoplados.



$$m = -R_d C_d (de/dt) \quad ; \quad K_d = R_d C_d \text{ (} R_d C_d \text{ variables)}$$

Figura 2.8 Circuito para acción de control derivativo.

- Relación lineal continua
- Simple y común
- Respuesta rápida
- Estabilidad al proceso
- Desviación permanente (offset)

En general, la acción de control proporcional se consigue con un amplificador con ganancia ajustable; esta ganancia se le conoce como factor  $K_p$ . Se sabe que para mayor  $K_p$  se tiene:

- Menor offset
- Menor estabilidad; por esa razón el valor de  $K_p$  se elige por compromiso entre la estabilidad y el offset.

#### 2.3.3.1.1.2) ACCION DE CONTROL INTEGRAL

Esta acción se basa en la integración de la señal de error; cambia en forma proporcional a la integral del error. Sus características son las siguientes:

- Offset nulo
- Puede generar inestabilidad

Su configuración resulta también sencilla como se observa en el circuito de la figura 2.7.

#### 2.3.3.1.1.3) ACCIONES DE CONTROL DERIVATIVO

Presenta una relación lineal continua entre el error y la variable manipulada.

Sus características son:

- Rapidez en respuesta frente a transitorios
- Necesita estar acompañado de control proporcional
- Buena respuesta a altas frecuencias.

Esta acción resulta ser la que más problemas presenta, debido a que genera ruidos de alta frecuencia que pueden desestabilizar el sistema. Sin embargo, esto se puede solucionar mediante un filtro apropiado. El circuito normalmente usado es el presentado en la figura 2.8.

#### 2.3.3.1.1.4) ACCION DE CONTROL PID

Tiene la mezcla de todas las características anteriores,

por su acción de control proporcional, integral y derivativo. Conviene realizarlo con parámetros desacopladores puesto que permite la variación independiente de cada uno de los parámetros o constantes de control. La gran ventaja es que al tener las tres modalidades, la variable controlada resultante va a ser altamente controlada en tres aspectos fundamentales: rapidez de respuesta, estabilidad y offset nulo. Su circuito se observa en la figura 2.9.

Lo anterior justifica el hecho de que el tipo de acción de control a seleccionarse para cualquier regulador de velocidad sea justamente el PID.

#### 2.3.3.1.1.5) OTRAS FORMAS DE CONTROL

Existen otras dos formas de control en este regulador: tipo "Retroalimentado" (FEEDBACK) y tipo de "Alimentación directa" (FEED-FORWARD) de ganancia.

Se sabe que un arreglo en el que existan las dos formas de control mencionadas, da lugar a un buen desempeño del esquema de control en términos de velocidad, de respuesta y exactitud, que un arreglo donde haya sólo la forma feedback.

#### 2.3.3.1.2) ELEMENTOS POR BLOQUE DEL REGULADOR ELECTRICO-ELECTRONICO

En este punto, se presentan los elementos electrónicos con los que se implementa cada bloque.

##### 2.3.3.1.2.1) VELOCIDAD DE REFERENCIA

Eléctricamente es un voltaje deseado o de referencia, que permite fijar la velocidad de la turbina. Este voltaje debe ser igual al generado por el sensor de velocidad, y su etapa correspondiente (convertidor frecuencia - voltaje), cuando la velocidad de la turbina es igual a la deseada (velocidad nominal de la turbina). Cabe anotar que el voltaje dado por el sensor de velocidad depende del tipo y diseño de éste, el voltaje de referencia debe ser compatible con éste. Si se quiere diseñar un circuito estándar para el voltaje de referencia, éste debe ser de buena adaptabilidad a los diferentes sensores. Es importante indicar que el circuito para el voltaje de referencia debe ser preciso y estable. La figura 2.10 muestra el circuito para el voltaje de referencia.

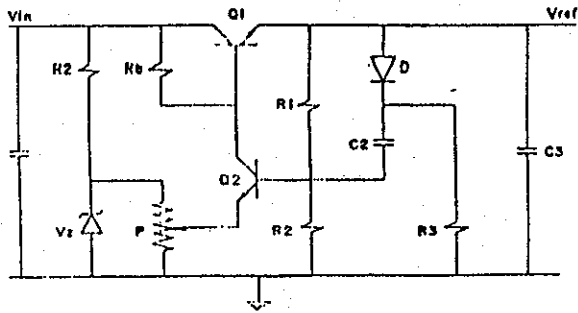


Figura 2.10 Circuito para el voltaje de referencia.

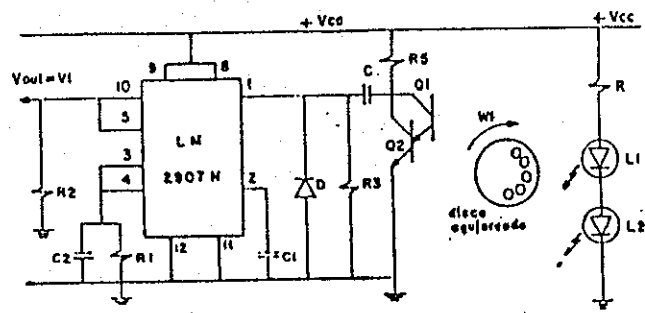


Figura 2.11 Circuito del sensor de velocidad

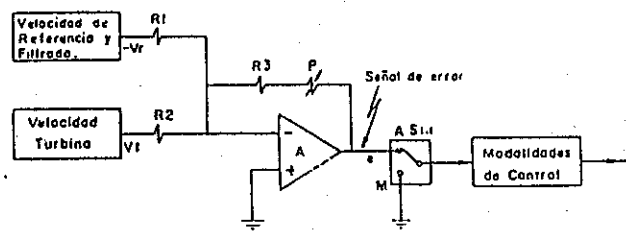


Figura 2.12 Circuito Comparador.

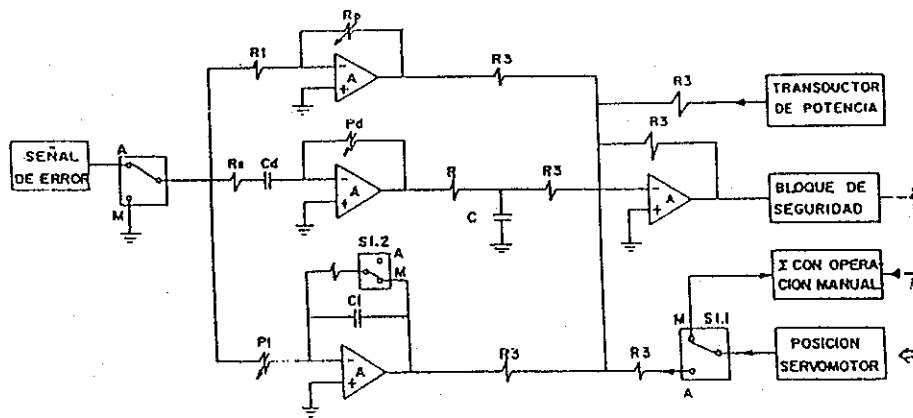


Figura 2.13 Circuito de la etapa de control.

### 2.3.3.1.2.2) SENSOR DE VELOCIDAD DE LA TURBINA

Existen varios métodos para sensar la velocidad de la turbina; el más adecuado es un tacómetro. De los posibles tipos de tacómetros, está un foto-tacómetro, el cual como todos los foto-tacómetros basan su funcionamiento en el efecto foto-eléctrico de los semiconductores. Para el foto-tacómetro, se escoge un foto-transistor sensible, tanto a la luz como al infrarojo. Iluminando la base del foto-transistor y cortando el haz de luz sucesivamente, se generan pulsos en el colector del transistor. Estos pulsos son transformados en un voltaje ( $V_t$ ). Una manera para satisfacer lo anterior es:

- a) Cortar el haz de luz mediante un disco agujereado, el cual está montado en el eje de la turbina.
- b) Filtrar los pulsos obtenidos.
- c) Introducir estos pulsos en un convertidor de frecuencia a voltaje (existen muchos circuitos integrados que permiten hacerlo), teniéndose finalmente el voltaje  $V_t$  que es lo que interesa.

El circuito que hace posible esto es el presentado en la figura 2.11. En dicha figura se especifica el circuito integrado que va a usarse, aunque existen otras opciones.

Q1 es básicamente el foto-transistor, el cual está conectado en par Darlington con Q2 para obtener mayor ganancia de corriente. Ambos Q1 y Q2 pueden venir en una sola pastilla. El disco puede ser de cualquier material; se han hecho pruebas satisfactorias usando plástico opaco. L2 es testigo de que L1 está funcionando y es éste el que transmite el haz de luz hacia Q1.

### 2.3.3.1.2.3) CIRCUITO COMPARADOR

Para obtener la señal de error, se restan la velocidad de referencia filtrada, (asociada con el voltaje  $V_r$ ) menos la velocidad de la turbina (asociada con el voltaje  $V_t$ ). Esto se hace mediante el circuito representado en la figura 2.12. El potenciómetro P permite variar la ganancia del amplificador operacional. Se recomienda que esta ganancia sea como máximo alrededor de la unidad.

#### 2.3.3.1.2.4) CIRCUITO PID

Este bloque es implementado por el circuito presentado en el apartado 2.3.3.1.1.4, y que se muestra ya interrelacionado en otras partes vecinas del sistema en la figura 2.13. Nótese que en la parte de la acción integral el capacitor  $C_i$  se descarga cuando el selector S1.2 (manual/automático) está en su posición manual. De este modo, se inicia el proceso automático con condiciones iniciales nulas en el integrador.

#### 2.3.3.1.2.5) BLOQUE DE SEGURIDAD

Esta etapa se implementa entre otras partes (que se describen más adelante), para limitar la acción del mecanismo de distribución de la turbina dentro de un rango aceptable de trabajo, y permitir que dicho mecanismo no se enclave ni en su posición extrema abierta ni en su posición extrema cerrada. También puede preverse esto en la construcción mecánica.

La ubicación del bloque de seguridad se observa en la figura 2.14. Este actúa anulando la acción del servomotor eléctrico. Para esto, lleva a cero la señal que entra el amplificador de potencia. Existe, sin embargo, la posibilidad de que retarde en el orden de seguridad, por lo cual es conveniente anular la acción de los servomecanismos hidráulicos. Para, ello es necesario apagar la bomba eléctrica de aceite que alimenta a esos servomecanismos. Es conveniente que el bloque de seguridad actúe simultáneamente sobre las dos partes anteriores mencionadas.

Para limitar la carrera del mecanismo de distribución de la turbina, se deben colocar topes de fin de carrera con acciones interruptivas, las cuales dan información al circuito de seguridad. El circuito utilizado es el que se observa en las figuras 2.15 y 2.16. El relé RC1 se activa cuando se acciona S1 ó S2, cerrando RC1.2 el cual activa RC2, cerrando RC2.1 que activa la alarma. A la vez RC1.1 se abre y apaga la bomba de aceite. Este estado permanece hasta pasar el regulador a operación manual y sacar del enclavamiento al mecanismo de distribución de la turbina, para lo cual se deberá también arrancar la bomba en forma manual usando b1 y b2.

Existen un tercer contacto de RC1, el RC1.3 que lleva a cero el voltaje procesado del control antes de que ingrese el amplificador de potencia que maneja el servomotor apagándolo. El circuito es el que se muestra en la figura 2.17.

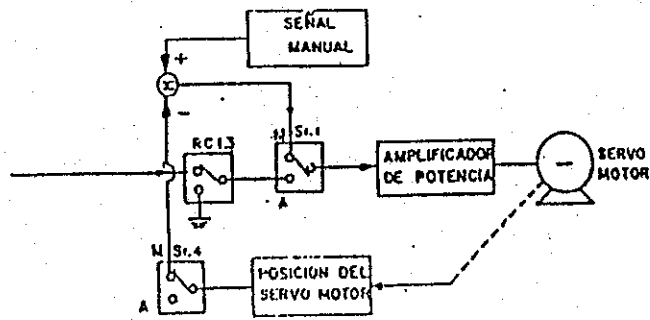


Figura 2.17 Parte del circuito de seguridad RC1.3 (es parte del sistema de seguridad). S1. selecciona manual/automático.

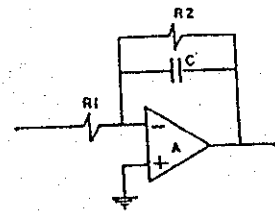


Figura 2.18 Circuito del filtro activo.

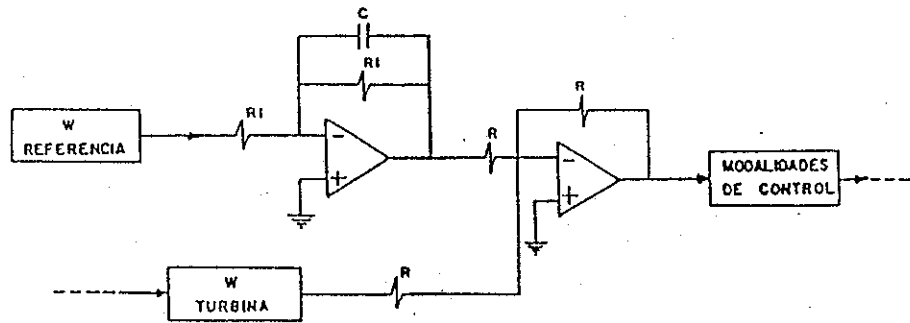


Figura 2.19 Circuito del filtro y realimentación de posición.

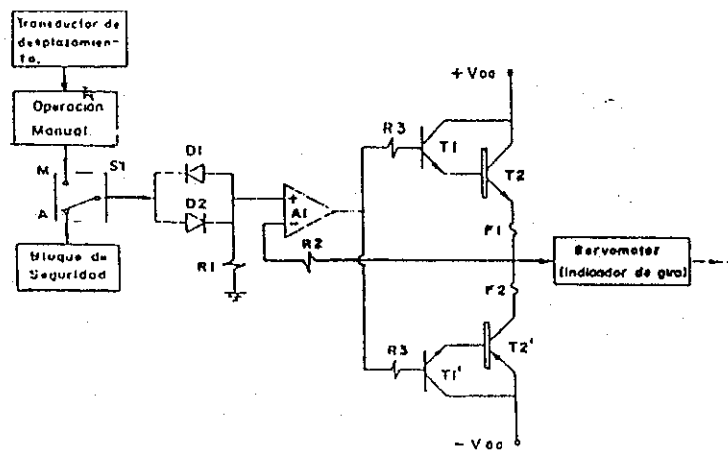
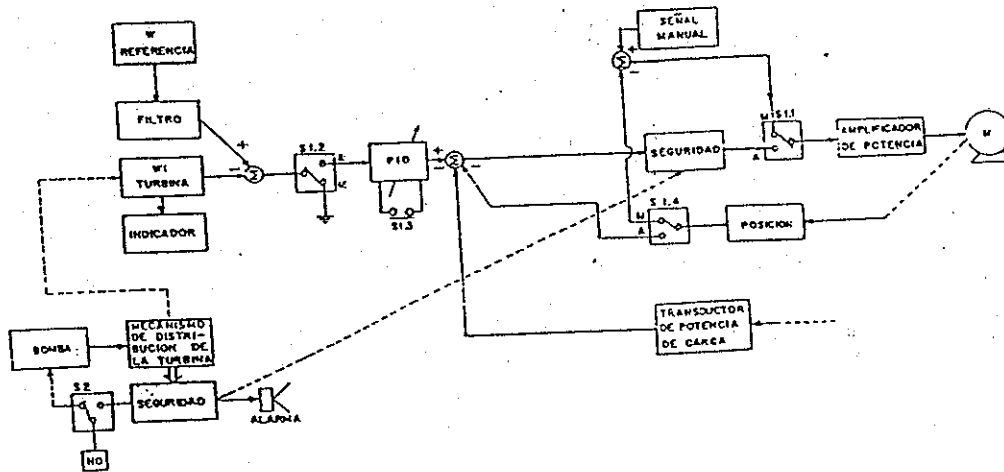
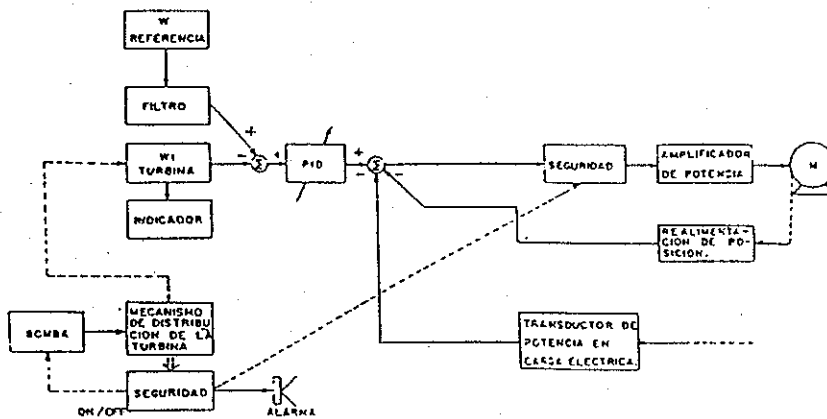


Figura 2.20 Circuito del amplificador de potencia.



Esquema donde se presenta la conexión entre los elementos del regulador Eléctrico - Electrónico, para operación manual.



Esquema donde se presenta la conexión entre los elementos del regulador Eléctrico - electrónico, para operación automática.

Figura 2.14

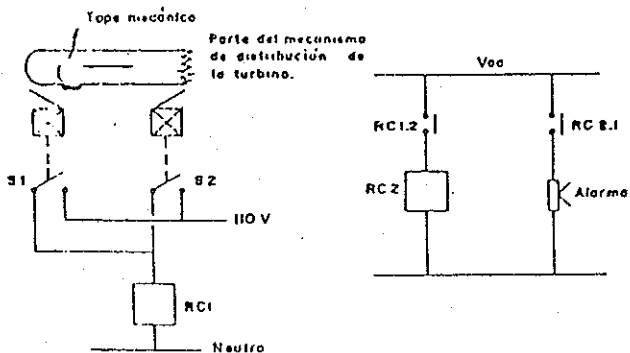


Figura 2.15 Circuito detector de fin de carrera.

Alarma.

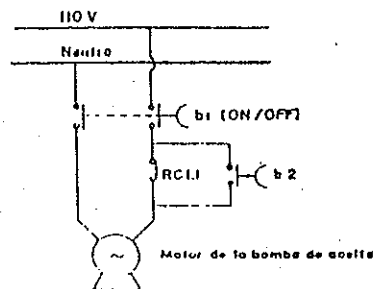


Figura 2.16 Circuito de desconexión de bomba. RC.1.1, es contacto NC relé RC.1.1.



### 2.3.3.1.2.6) FILTRO

Este tiene la función de introducir un retardo de tiempo suficientemente grande, como para prevenir un cierre brusco o apertura del mecanismo de distribución de la turbina. Puede implementarse de dos maneras, un filtro RC con resistencia y condensador o uno con filtro activo, que involucra otro amplificador operacional. Es necesario usar el filtro activo, para poder trabajar a frecuencia muy baja.

Este filtro es pasa bajo y la frecuencia de corte debe ser compatible con el retarde requerido. El filtro pasa bajo de primer orden es el presentado en la figura 2.18. La ganancia proporcional  $R2/R1$ , puede hacerse igual a uno, entonces  $R1 = R2$ , con lo que no se afecta a las anteriores ganancias. La salida del filtro se suma con la realimentación de la velocidad angular, y se obtiene así el circuito de la figura 2.19.

### 2.3.3.1.2.7) AMPLIFICACION DE POTENCIA

Para manejar el servomotor eléctrico (primer actuador), es necesario de una interface de potencia que amplifica la señal de voltaje proveniente del control (automático o manual). Esta amplificación de potencia, se consigue con transistores adecuados que puedan amajenar la corriente de consumo del servomotor eléctrico. Los transistores se conectan en configuración seguidor emisor complementario, como se indica en la figura 2.20.

La señal de voltaje ingresa por D1 y D2, que a través de R1 se polarizan rápidamente. El objetivo de los diodos D1 y D2 es crear una pequeña zona muerta dentro de lo cual pueda caer los pequeños ruidos, cuando el error debe ser cero (por lo tanto servomotor parado), podrían ser amplificados y mover el servomotor. El amplificador operacional A1 está conectado como seguidor de voltaje que exita a T1 y T2 con ondas positivas y T1' y T2' con negativas; R2 es la realimetación necesaria para A1.

Se incluyen también los fusibles F1 y F2 para casos de rotor bloqueado o corto circuito, en que la corriente podría subir a niveles peligrosos para T2, T2' y el servomotor.

### 2.3.3.1.2.8) SERVOMOTOR

Como se mencionó, el servomotor eléctrico es el primer actuador del sistema, su voltaje y el consumo nominal deter-

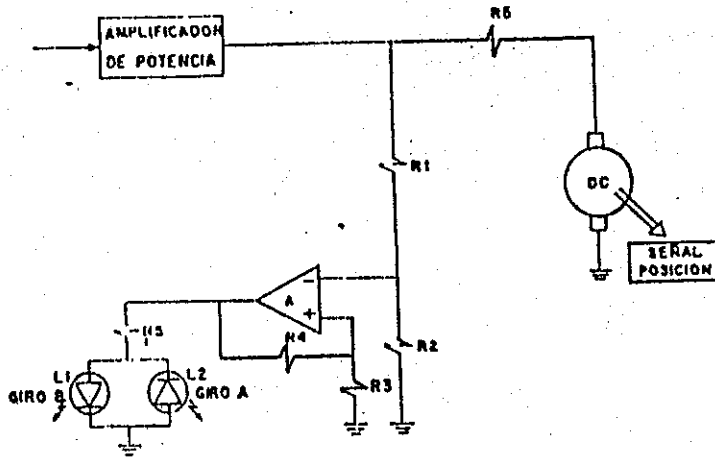


Figura 2.21 Circuito del servomotor, con indicación de giro.

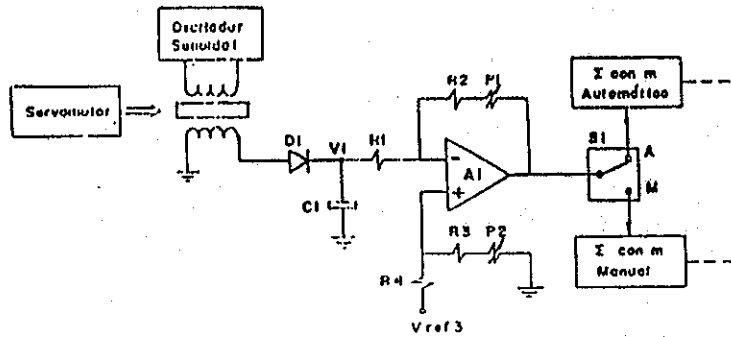


Figura 2.22 Circuito de la obtención de la señal de desplazamiento por método de transformador de núcleo variable.

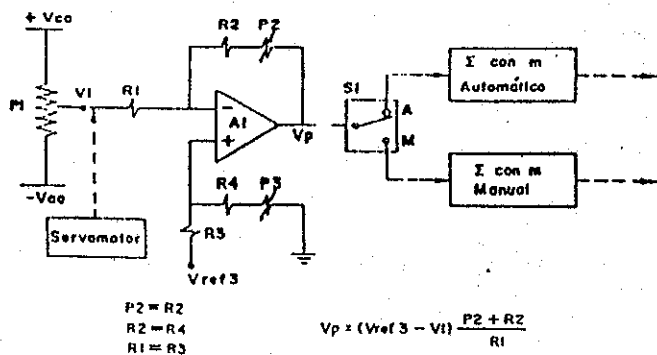


Figura 2.23 Circuito correspondiente a la señal de desplazamiento por método potenciómetrico.

minan el amplificador de potencia, así como la fuente de alimentación. El servomotor se recomienda, sea de corriente continua y de voltaje bajo (12-24 Volt), para evitar un voltaje excesivo en los acumuladores en el momento del arranque.

Es conveniente que de alguna manera se indique el sentido de giro del servomotor, en el pánel de control, para lo cual es necesario el circuito presentado en la figura 2.21. R5 que es de bajo valor (1 ohm), y sirve para absorber oscilaciones generadas cuando se interrumpe o invierte, en forma de escalón, la tensión aplicada al inducido del motor, debido a la fuerza contraelectromotriz. Las oscilaciones generadas, al realimentarse al circuito seguidor, podrían generar en algunos casos inestabilidad. También esta resistencia limita la corriente de arranque del servo, y aumenta su torque de arranque. En general, mejora las características de funcionamiento de esta etapa.

#### 2.3.3.1.2.9) TRANSDUCTOR DE DESPLAZAMIENTO

En la figura 2.5, se puede identificar en el sistema total la ubicación del transductor de desplazamiento. Al eje del servomotor eléctrico, está acoplado un tornillo el cual permite desplazar una tuerca en la que se pivota la palanca del servohidráulico piloto. Es justamente la posición de ese punto pivote lo que se realimenta para ser sumada (restada) con el voltaje resultante de las acciones de control PID o manual, (pasando por un circuito sumador) para ingresar al amplificador de potencia que maneja el servo. La razón de esta realimentación es convertir la acción integral del motorcito eléctrico en acción proporcional.

El transductor de desplazamiento puede ser de tipo potenciométrico, inductivo o de tipo piezo-eléctrico. Se recomienda que sea de tipo inductivo, pues trabaja satisfactoriamente en condiciones difíciles. Los transductores de tipo potenciométrico puede cambiar sus características fácilmente ante la presencia de polvo, agua, etc., aunque trabaja satisfactoriamente con mantenimiento continuo. El inconveniente del transductor de tipo piezo-eléctrico es su alto costo.

En las figuras 2.22 y 2.23, se presentan los circuitos correspondientes al sensor de tipo inductivo (transductor de núcleo variable) y al sensor potenciométrico.

En el caso del circuito de la figura 2.23, el potenciometro P1 genera un voltaje positivo o negativo, cuyo valor se puede modificar con base en el circuito restador (formado por A1) y luego, la señal pasa al selector manual/automático. Al moverse la tuerca en el tornillo, se mueve también la pata central de P1.

En el caso de la figura 2.22, se usa un transformador de núcleo variable, el cual cambia la tensión efectiva del secundario al variar la posición del núcleo. Mediante A1, se resta de un valor diferencial ( $V_{ref3}$ ) que representa el punto de equilibrio y pasando por el selector de M/A se suma con la señal de voltaje automático o manual. En este caso, las resistencias P1, P2, R1 y P2, R4 y R3 deben tener la misma relación de ganancia.

### 2.3.3.1.2.10) SEÑAL DE CONTROL MANUAL

La necesidad del control manual aparece cuando se arranca por primera vez la turbina o cuando se ha activado el sistema de seguridad. En ambos casos, se busca manualmente la velocidad nominal de la turbina (o cercana) pasando luego al modo con control automático.

El control manual se realiza básicamente mediante la suma de dos señales, la señal de posición y la manual (con macro y micro ganancia); esta señal manual se la obtiene con un par de potenciómetros montados a 90 grados y sus ejes acoplados a una palanca.

En las figuras 2.24 y 2.25, se presenta un bosquejo del montaje de los potenciómetros P1 y P2. Cuando la palanca se mueve sobre el eje Y o X, aparece un voltaje negativo o positivo en la toma central. En sentido Y positivo o (negativo), actúa sólo P1 y aparece un voltaje positivo (negativo) en su toma central; en sentido X positivo (negativo), sólo se actúa P2 y aparece un voltaje positivo (negativo) en su toma central. En cambio en el primer cuadrante, aparece un voltaje positivo en P1 y negativo en P2; en el cuarto cuadrante ambos son negativos; en el segundo, P1 y P2 son positivos, y en el tercero, P1 es negativo y P2 es positivo.

El comportamiento anterior permite obtener altos voltajes en los cuadrante II y IV y el resultante de la diferencia entre P1 y P2, en los cuadrantes I y III y como resultante la suma en el amplificador A1. En el mismo amplificador operacional, se suma la señal de posición realimentada, y permite posicionar el servomotor adecuadamente. Como se observa en el circuito de la figura 2.24, la señal de salida de A1 va al selector de control M/A, pasando luego al amplificador de potencia.

Los diodos D1 a D4 permiten generar una brecha de no funcionamiento en el caso de que la palanca no esté correctamente posicionada en el centro.

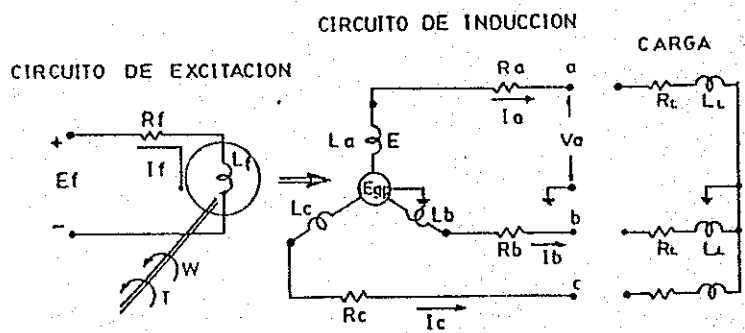


Figura 1.1 Circuito trifásico equivalente a un alternador síncrono

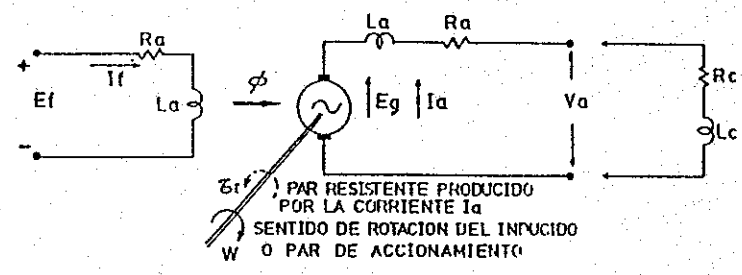


Figura 1.2 Circuito equivalente de una máquina síncrona.

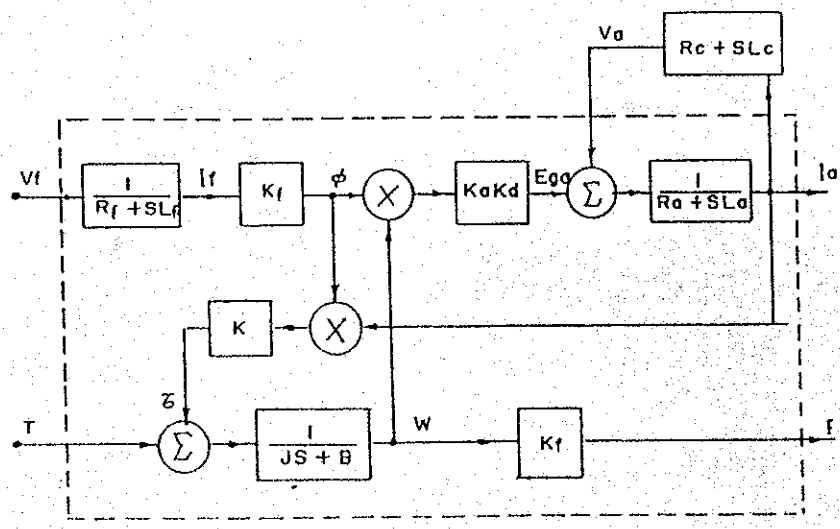


Figura 1.3 Diagrama esquemático y en bloques de un generador síncrono A.C.

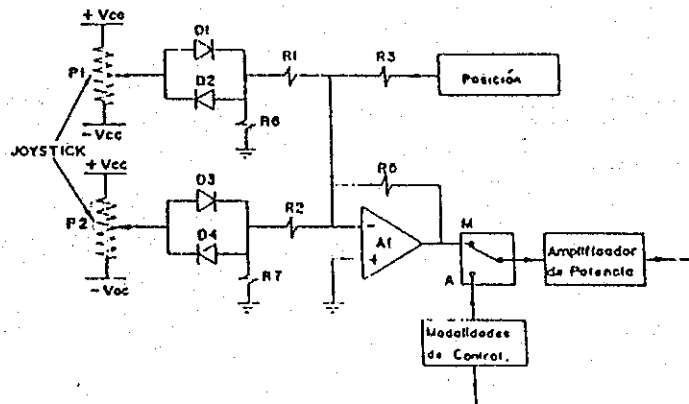


Figura 2.24 Circuito para control manual mediante joystick (P1 y P2)

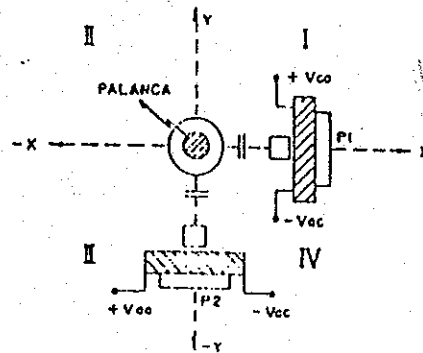


Figura 2.25 Montaje de P1 y P2.

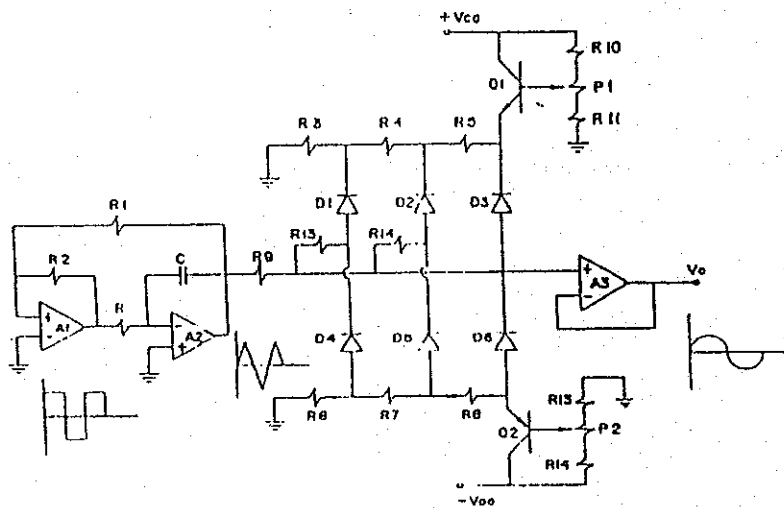


Figura 2.26 Circuito del Oscilador Senoidal.

### 2.3.3.1.2.11) OSCILADORES

Cuando se usa como sensor de desplazamiento, el transformador de núcleo variable, es necesario alimentar el primario del transformador con una señal alterna que pueda ser cuadrada, triangular o senoidal. Por razones de minimización de armónicas, se escoge la onda senoidal. Es necesario que la onda sea lo más estable posible, tanto en frecuencia como en amplitud, para lo cual debe existir un desacoplamiento de impedancia entre el transformador o el generador de onda. Este efecto se alcanza con el circuito de la figura 2.26, cuya frecuencia fundamental permanece estable debido a que ésta se genera en la etapa anterior que genera la onda senoidal (primero se forma ondas cuadradas y triangulares).

La frecuencia fundamental es fijada por A1 y A2, y por tanto es independiente de la carga. A3 permite el desacoplamiento de impedancia, muy favorable en este caso, pues el transformador es de núcleo variable.

### 2.3.3.1.2.12) INDICADOR DE VELOCIDAD DE LA TURBINA

De alguna manera, conviene conocer la velocidad a la que está girando la turbina. Puede hacerse mediante un indicador con display o con LED's cuyo encendido indique cierto rango de velocidad. El más sencillo (y también más barato) es mediante el uso de un solo LED, que indica que la velocidad está dentro de un rango aceptable; el principio de funcionamiento es digital.

### 2.3.3.1.2.13) FUENTES REGULADAS DE TENSION

Todos los circuitos anteriores requieren ser alimentados con voltaje DC. Por la existencia de los amplificadores operacionales, aparece la necesidad de disponer de voltaje tanto positivo como negativo; ambos deben ser muy precisos, lo que implica regulación de voltaje.

### 2.3.3.2) PARTE ELECTRICA

La segunda parte del regulador de velocidad que se considera es la parte eléctrica, la cual está constituida por el motor eléctrico. En cierto modo, su tamaño depende de la potencia de la P.C.H., pero es factible que sea universal para casi todos las P.C.H.,

### 2.3.3.2.1) SELECCION DEL SERVOMOTOR ELECTRICO

Para la selección del servomotor eléctrico, deben tomarse en cuenta los siguientes criterios:

- a) El servomotor debe ser de corriente continua, que pueda vencer el torque estático y pueda acelerar fácilmente.
- b) Que permita a todo el subsistema compuesto del motor CD, amplificador, transductor de posición, tuerca-tornillo, etc., tener una característica dinámica de modo de poder representar su función de transferencia como una de primer orden.

### 2.3.3.3) PARTE MECANICA

La tercera parte del regulador es la parte de fuerza constituida por los servomotores hidráulicos piloto y de fuerza. Esta parte si es altamente dependiente de la potencia del grupo turbina-generador, de modo que no puede ser único para todo el conjunto de P.C.H..

#### 2.3.3.3.1) SERVOMOTOR DE FUERZA

El servomotor de fuerza es un sistema de distribución formado por una válvula de control de aceite de cuatro vías que gobierna los desplazamientos de un cilindro hidráulico de doble efecto, los cuales están montados en una sola unidad.

Es en esta parte donde se dan las siguientes situaciones:

- accionamiento de los mecanismos del control de agua de la turbina,
- desplazamientos de cierre y abertura de los dispositivos de control de agua de la turbina,
- relación de brazos de palanca del mecanismo que conecta el vástago del servomotor al dispositivo de control de agua de la turbina.

#### 2.3.3.3.2) SERVOMOTOR PILOTO

Por medio de los deflectores variables de la turbina; aquí es donde se modula el chorro de agua que le pega.



### 2.3.4) TIPOS DE REGULADORES

Los diferentes tipos de reguladores de velocidad eléctrico-electrónicos con control positivo de flujo se diferencian por su esquema de control, el cual está constituido por el esquema básico, que es el lazo realimentado con acción de control proporcional integral, y por elementos en exceso.

Todos los esquemas de control de los diferentes reguladores tienen los elementos del esquema básico como son:

- a) Servo o servomotores hidráulicos junto con su circuito hidráulico.
- b) Servo eléctrico.
- c) Circuito electrónico básico (comparador, captador de velocidad, fuentes de potencia, etc.)
- d) Sistemas de protección, alarmas y arreglo de interruptores para cambio de operación manual o automática.

A continuación, se presentan las diferentes posibilidades de esquemas para un regulador de velocidad eléctrico-electrónico con control positivo de flujo.

#### 2.3.4.1) ESQUEMA FUNCIONAL DE UN REGULADOR ELECTRICO-ELECTRONICO-HIDRAULICO

En la figura 2.27, se presenta un esquema de control, en el que se hace uso de elementos de los reguladores Oleo-Mecánicos, con fines de mejorar el desempeño del sistema, es decir, se trata de un sistema con algunos componentes de tipo mecánico. La característica fundamental de este esquema es que se le puede concepcionar como un arreglo en el que intervienen las formas de control feedback y feed-forward. La forma feed-forward de ganancia se consigue mediante la toma de señal de potencia que actúa sobre el arreglo hidráulico compuesto de servo o servomecanismo hidráulicos y el Dashpot. La forma feedback se consigue con la realimentación de velocidad y está dotada de acciones de control proporcional derivativa.

Este tipo de esquema tiene una óptima respuesta, exactitud y calidad en la regulación. Además, tiene buenas posibilidades de desarrollo del regulador o de algunas de sus partes. La facilidad de mantenimiento por personal no especializado es muy buena y su vida útil es grande.

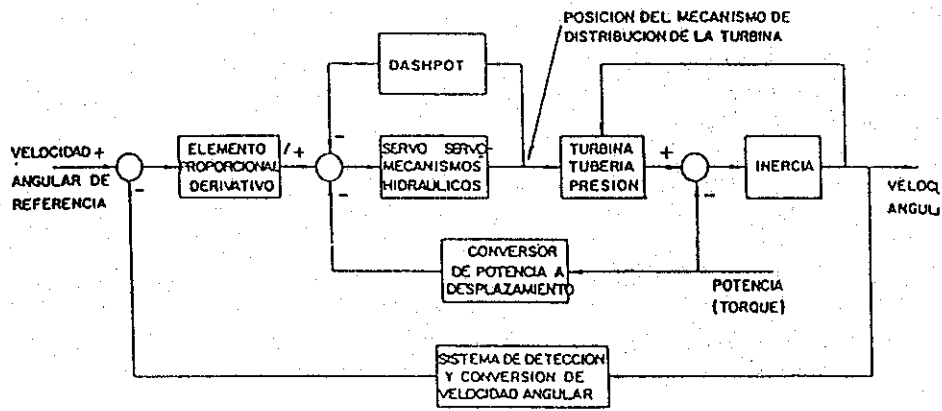


Figura 2.27 Bloques funcionales de un regulador de velocidad eléctrico - electrónico - hidráulico con control positivo de flujo.

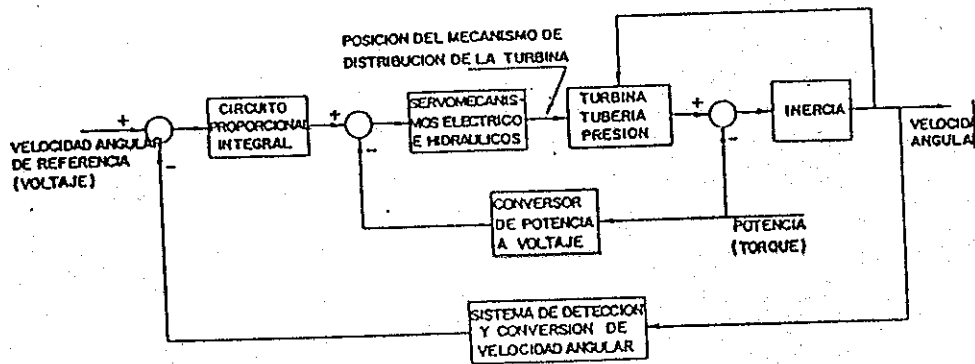


Figura 2.28 Bloques funcionales de un regulador de velocidad eléctrico - electrónico con control positivo de flujo, que da lugar a las formas de control "Feedback" y "Feedforward de ganancia".

Los elementos en exceso con relación al esquema básico son: un transductor de corriente y circuito derivador.

#### 2.3.4.2) ESQUEMA FUNCIONAL DE UN REGULADOR QUE DA LUGAR A LAS FORMAS DE CONTROL FEEDBACK Y FEED-FORWARD

Un arreglo que da lugar a dos formas de control, la feedback y la feed-forward de ganancia (con la consiguiente ventaja en el aspecto técnico) es el presentado en la figura 2.28. Este sistema se diferencia del anterior por no utilizar componentes de tipo mecánico, para mejorar su desempeño. La acción de control con el lazo feedback es de tipo proporcional integral, lográndose con la realimentación de la velocidad. La forma feedforward se consigue mediante la toma de señal de potencia que actúa sobre el arreglo hidráulico compuesto de servo o servomecanismos hidráulicos.

Dada la facilidad de implementación de este arreglo; usando tecnología eléctrica-electrónica, se presenta ésta como la opción más representativa dentro del aspecto técnico.

Este tipo de esquema tiene una óptima repuesta, exactitud y calidad en la regulación. Además, tiene buenas posibilidades de desarrollo del regulador o de algunas de sus partes. La facilidad de mantenimiento por personal no especializado es muy buena y su vida útil es grande.

Los elementos en exceso con relación al esquema básico son: un transductor de corriente y circuito integral.

#### 2.3.4.3) ESQUEMA FUNCIONAL DE UN REGULADOR DE TIPO REALIMENTADO CON ACCION DE CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVA

Como alternativa en la que se disminuiría ciertos componentes en el arreglo de control de los dos tipos mencionados anteriormente (por carecer de la forma de control feedforward); en la figura 2.29, se presenta un esquema en el que existe una sola forma de control, la forma feedback, con acciones de control proporcional integral derivativa; se consigue ésta con la realimentación de la velocidad.

Este tipo de esquema tiene una adecuada repuesta, exactitud y calidad en la regulación. Además, tiene buenas posibilidades de desarrollo del regulador o de algunas de sus partes. La facilidad de mantenimiento por personal no especializado es eceptable y su vida útil es grande.

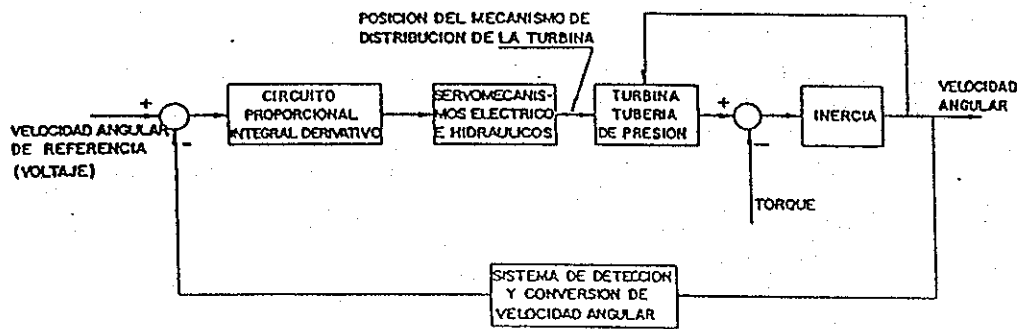


Figura 2.29 Bloques funcionales de un regulador de velocidad eléctrico - electrónico con control positivo de flujo tipo realimentado con acción de control "Proporcional Integral Derivativa".

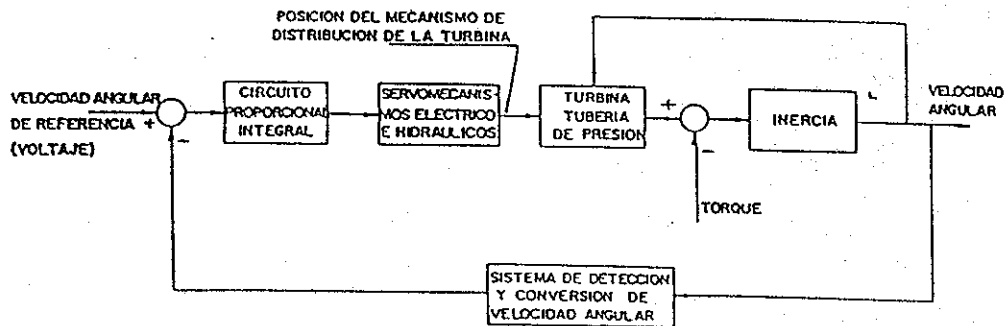


Figura 2.30 Bloques funcionales de un regulador de velocidad eléctrico - electrónico con control positivo de flujo tipo realimentado con acción de control "Proporcional Integral".

Los elementos en exceso con relación al esquema básico son: un circuito integral derivador con base en un amplificador operacional y de un transductor de posición.

#### 2.3.4.4) ESQUEMA FUNCIONAL DE UN REGULADOR DE TIPO REALIMENTADO CON ACCION DE CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL

En la figura 2.30, se presenta la alternativa anterior pero con acción de control proporcional integral, es decir, una alternativa en la que se disminuirán ciertos componentes en el arreglo de control, por poseer solamente la forma de control feedback (se consigue ésta por medio de la realimentación de la velocidad).

Este tipo de esquema tiene una adecuada repuesta, exactitud y calidad en la regulación. Además tiene amplias posibilidades de desarrollo del regulador o de algunas de sus partes. La facilidad de mantenimiento por personal no especializado es aceptable y su vida útil es considerable.

Los elementos en exceso con relación al esquema básico son: un circuito integral y de un transductor de posición (puede ser un potenciómetro).

#### 2.3.5) EXACTITUD Y CALIDAD DE REGULACION

La exactitud y calidad de regulación de la velocidad en un P.C.H., se basa en la teoría de los sistemas de control, en la que se dan criterios para establecer la calidad de regulación, por ejemplo, dentro de los lazos realimentador, para un sistema de control, cuya función de transferencia del sistema controlador no sea muy simple (como es el caso del control de velocidad de turbinas), se sabe que una acción de control proporcional integral derivativo (PID) es más efectiva que una de equipo proporcional integral (PI), para disminuir los sobretiros de la respuesta. En el caso de la introducción del control en cascada, con la realimentación de la posición de mecanismo de distribución de la turbina (filas 3 y 4 del cuadro No. 2.1) de un trabajo de la referencia, se sabe que dicha realimentación ayuda a disminuir los sobretiros de la respuesta transitoria (con el consiguiente beneficio de la regulación), para el caso de tiempo de arranque de aguas bajas. Sin embargo, el arreglo para esas condiciones da lugar a un pequeño error de estado estacionario con relación a los casos de la primera y segunda filas del cuadro No. 2.1.

### 2.3.6) DESARROLLO DEL REGULADOR

Con relación a las posibilidades del desarrollo del regulador o de alguna de sus partes, se debe indicar que se podría realizar la construcción de los servomecanismos hidráulicos de los elementos del circuito hidráulico. Asimismo se debe indicar que se puede reconstruir la parte electrónica del regulador en caso de falla, pues esta parte está construida con circuitos integrados, condensadores, resistencias, etc., que son accesibles de obtener en el mercado.

### 2.3.7) MANTENIMIENTO

La facilidad de mantenimiento depende del tipo de mantenimiento que debe tener el regulador de velocidad. Considerando el bajo costo relativo del regulador de velocidad frente al de la P.C.H. y la continuidad de servicio de la P.C.H., el tipo de mantenimiento exige unidades completas de reposición preferiblemente mediante sistemas dúplex o en forma de conjuntos de repuestos preensamblados. Si a este factor se suma el hecho de disponer de un manual de calibración y reparación de los reguladores, así como bancos de pruebas de los mismos en sitios estratégicamente localizados en la región, se puede calibrar con facilidad, por personal no especializado con muy buenos resultados, como se indica en el cuadro No. 2.1, para todos los tipos de reguladores.

### 2.3.8) VIDA UTIL

La vida útil del regulador parte de un buen diseño electrónico y mecánico, así como de un buen proceso de fabricación, mantenimiento y operación; de donde se puede calificar a la vida útil como grande. Desde el punto de vista constructivo los diferentes tipos de reguladores de velocidad eléctrico-electrónico con control positivo de flujo no presentan mayores diferencias en los que se refiere a la vida útil.

### 2.3.9) COSTO

En esta forma, todos los esquemas de regulación tendrán un costo básico más el costo de los elementos en exceso con relación al esquema básico y el costo de la instalación de estos elementos. Si se analizan estos últimos costos se verá que son irrelevantes frente al costo básico.

CRITERIOS PARA LA SELECCION DE LOS REGULADORES DE VELOCIDAD ELECTRICO-ELECTRONICOS CON CONTROL POSITIVO DE FLUJO

Tipo de reguladores electrónico con control positivo de flujo.	Exactitud y calidad de regulación.	Posibilidades de desarrollo del regulador o de algunas de sus partes en la región.	Facilidad de mantenimiento por personal no especializado.	Vida útil
Lazo cerrado con acción de control PI*.	Regular	Buenas	Muy buena.	Grande
Lazo realimentado con acción de control PID*.	Buena	Buenas	Muy buena	Grande
Control en cascada con circuito PI (realimentación de la posición del MDT**).	Buena	Buenas	Muy buena	Grande
Control en cascada con circuito PID***	Muy buena	Buenas	Muy buena	Grande
Lazo realimentado con acción de control "PI" o "PID" combinado con Feed forward de ganancia.	Optima	Buenas	Muy buena	Grande

\* - Proporcional integral.  
 \*\* - Mecanismo de distribución de la turbina.  
 \*\*\* - Proporcional integral derivativa.

### 3) REGULADORES DE VELOCIDAD ELECTRICO-ELECTRONICOS CON CONTROL DE DISIPACION DE CARGA

#### 3.1) GENERALIDADES

Otra forma de mantener constante la potencia y en su valor nominal es mediante la inclusión en la red de un banco de resistencias o cargas de servicios auxiliares, en donde se disipa la potencia generada en exceso por el generador con relación a la potencia nominal. De este modo, mediante un sistema de regulación apropiado que se le conoce como control eléctrico-electrónico con disipación de carga y el banco de resistencias y servicios auxiliares antes mencionados, se logra controlar indirectamente la frecuencia de la red. En este caso, el control no actúa sobre el mecanismo de distribución de la turbina, sino que actúa sobre el banco de resistencias o cargas de servicios auxiliares, es decir, sobre la parte eléctrica de la P.C.H..

Siendo un sistema de regulación muy nuevo en su desarrollo debido en su mayor parte a la evolución de los circuitos y elementos electrónicos, permite obtener un sistema de control, tanto de la frecuencia como del voltaje en el sistema de generación puramente sólido; entendiéndose como sólido, que no requiera en gran parte de dispositivos mecánicos, mecánicos-hidráulicos, o electro-hidráulicos, que requieren de servicios adicionales, como son: bombas hidráulicas, generadores eléctricos auxiliares, etc., además de un continuo mantenimiento y una operación cuidadosa. Este sistema reemplaza por tanto todo el sistema de servomotor de control de velocidad de giro de la turbina, que utiliza el regulador de control positivo de flujo.

#### 3.2) FUNCIONAMIENTO

Al existir variaciones en la carga de la red a la cual la P.C.H. esta sirviendo; el regulador actúa de la siguiente manera: detecta el valor de la frecuencia (ya sea con un frecuencímetro o un tacómetro), la cual es amplificada y convertida en una señal eléctrica continua o de pulsos con referencia al tiempo y su magnitud es proporcional a la magnitud de la variable frecuencia ( $f$ ). Seguidamente, se compara la variable ( $f$ ) que se va a controlar con un valor deseado. Si existe desviación se ejerce automáticamente una acción de corrección; señal que la recibe un actuador en forma de pulsos desplazados que activan tiristores o triac (relés electrónicos) que modifican la corriente y el voltaje que se envían a las cargas auxiliares. Se ha llegado a casos en los cuales



estos relés electrónicos sacan de servicio al banco de resistencias o cargas de servicios auxiliares; cuando la demanda de energía por parte de la red es muy grande, se restablece al sistema cuando dicha demanda haya terminado.

Por lo tanto, la regulación electrónica de carga consiste en mantener prácticamente constante la carga vista por el generador; de esta manera, la potencia demandada es constante, es decir, en los bornes de generador se mantiene constante la carga.

### 3.3) DESCRIPCION GENERAL

#### 3.3.1) UBICACION

La ubicación general del sistema de regulación de velocidad por control de disipación de carga dentro del sistema eléctrico de generación es el mostrado en la figura 3.1.

#### 3.3.2) DIAGRAMA GENERAL

Un diagrama de bloques que resume las opciones de conexión de la carga auxiliar se muestra en la figura 3.2, el cual consta de los siguientes bloques:

- a) Un detector de frecuencia o tacómetro, que se podría definir como un aparato, en el cual la magnitud de frecuencia aplicada es convertida en una señal eléctrica continua o de pulsos con referencia al tiempo, y es proporcional a la magnitud de la variable frecuencia.
- b) Controlador, cuya función es comparar la variable que se va a controlar con un valor deseado, y ejerce automáticamente una acción de corrección de acuerdo con la desviación.
- c) Actuador o circuito amplificador de potencia, que recibe la señal del control en forma de pulsos desplazados que activan relés electrónicos, que modifican la corriente y voltaje que se envía a las cargas auxiliares.
- d) Carga auxiliar es el conjunto de arreglos, resistencias preferentemente, que consumen el exceso de energía generada para mantener la potencia constante del consumo al generador.

Con el diagrama de bloques mencionado, se tendrá un

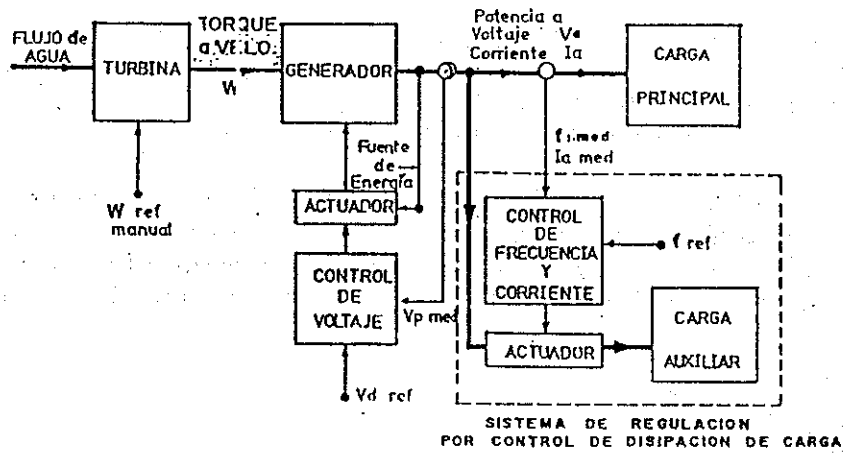


Figura 3.1 Sistema de Control de una Central Hidráulica de Generación Eléctrica

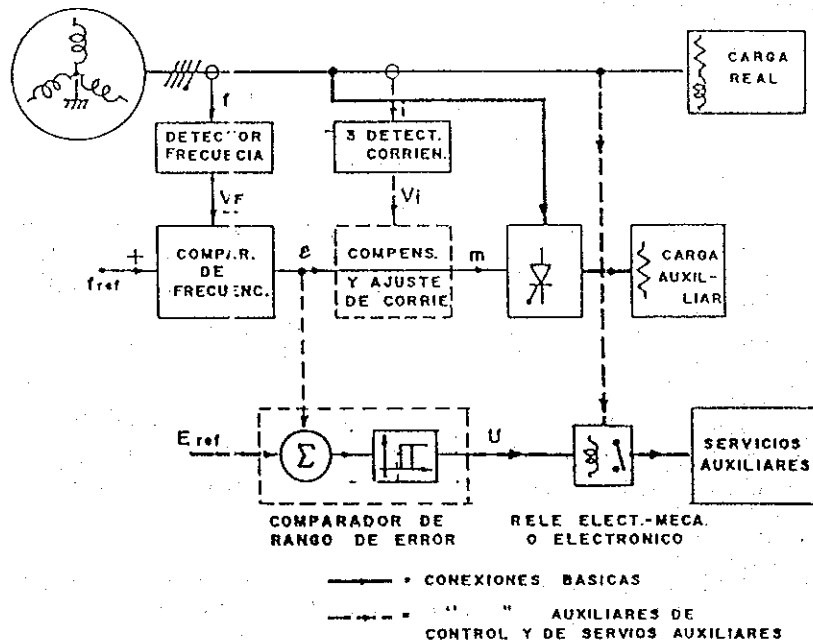


Figura 3.2 Diagrama de Bloques (R.D.C.)

regulador básico, que permite el control de una sola carga auxiliar acoplada a las tres fases, y por lo tanto la potencia que va a disiparse caerá en una sola carga auxiliar en casos extremos.

Si se deseara tener cargas auxiliares por fase, es necesario añadir un compensador, por medio de la detección de corriente a la carga principal. Este tipo de compensador se implementa entre fase y neutro; su utilización involucra 3 reguladores de carga, donde el control de frecuencia sigue siendo el mismo, pero el compensador o ajuste de corriente deberá ser independiente para las tres fases, así como el actuador.

Otro de los aditamentos opcionales que aprovecharía la potencia generada y no consumida en intervalos de tiempo por el consumidor, es la de acoplar servicios auxiliares, como son: bombeo de agua, molinos de granos, calentadores de agua, etc.. Servicios importantes pero que pueden operar en las horas de menor consumo. La figura 3.3 muestra una ilustración topográfica, de lo que podría ser un sistema de generación eléctrica para P.C.H., como la distribución al consumidor y servicios auxiliares que se podría implementar.

El equipamiento del sistema de servicios auxiliares consiste, según el diagrama de bloques (figura 3.2), de un:

- 1) Comparador de nivel de error de la salida del controlador, dentro de un rango de histéresis que active un contactor.
- 2) Un contactor que puede ser de una o de tres vías, que conecte a la red de línea, los motores o equipos requeridos para dotar del servicio auxiliar.

### 3.3.3) DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

Tomando en consideración las características normales de una pequeña central hidroeléctrica, el diseño tiene que reducir el costo del regulador de velocidad de carga para las micro centrales, por lo que se desarrollan tableros de control con las siguientes características.

- a) Módulos estándar para centrales monofásicas y trifásicas hasta 400 kVA de 230/130 Voltios y 60 Hz.
- b) Control automático de carga en vez de control de flujo de agua. De esta manera, no se requiere el regulador de velocidad que actúa sobre la válvula aguja, que modula el chorro de agua si la turbina es Pelton o los deflectores variables en las turbinas Francis.

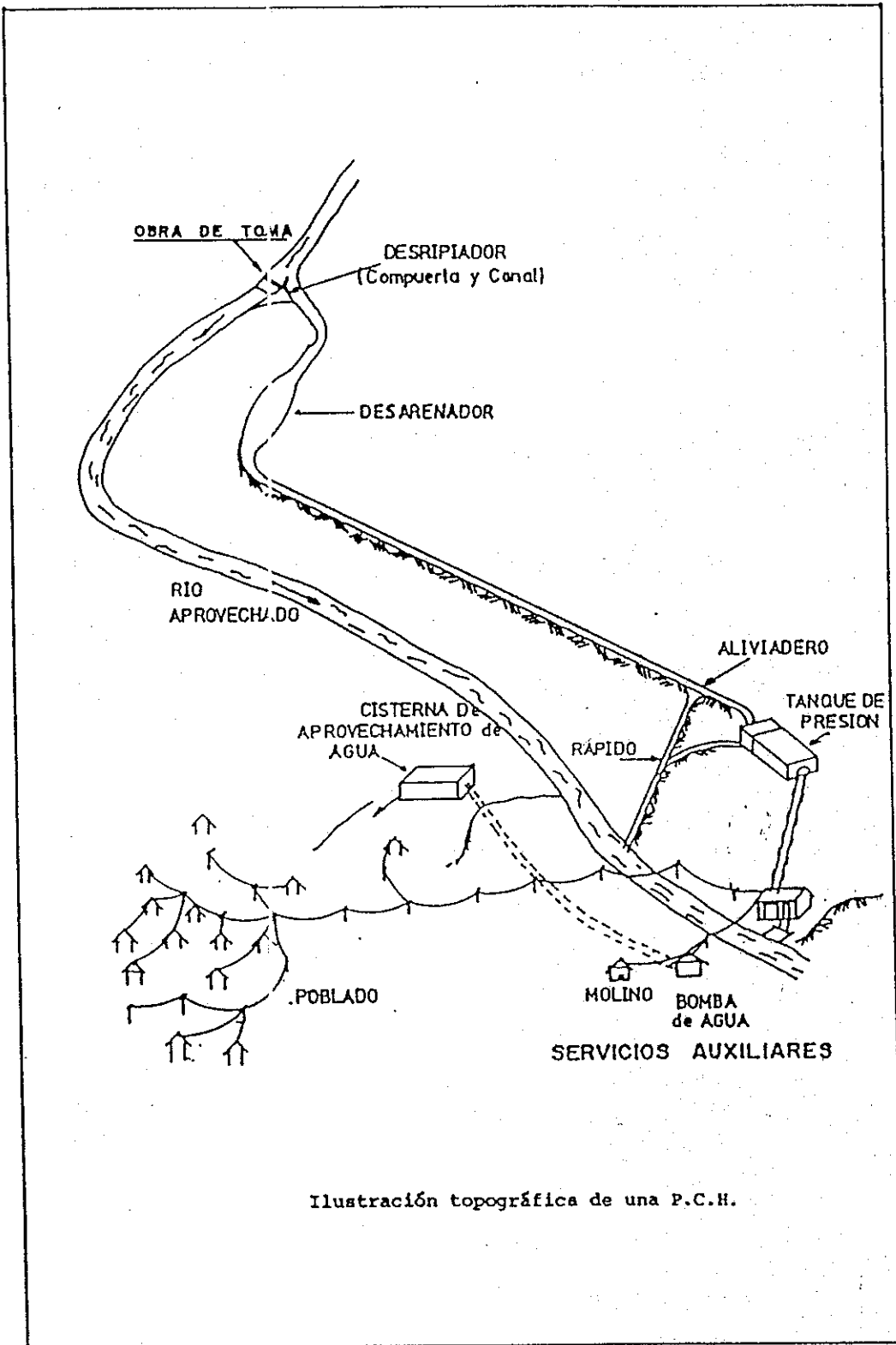


Figura 3.3

- c) Conseguir un menor mantenimiento preventivo y evitar el operador permanente.
- d) El tablero es inmune a la tolerancia de los componentes, a variaciones de temperatura, a variaciones de tensiones o frecuencias y con elementos ampliamente sobredimensionados.

Con estas características, el módulo de control envía pulsos de disparo a los tiristores o triacs en el módulo de potencia. El ángulo de disparo para los tiristores o triacs determinan la potencia disipada en la carga auxiliar. Esta potencia se regula de tal forma de mantener la frecuencia esencialmente constante, y además de la realimentación del error de frecuencia hay una realimentación de la corriente entregada a la carga principal, lo que permite mejorar la respuesta transiente de cada fase y del sistema en general.

### 3.3.3.1) DESCRIPCION EN DETALLE POR ETAPAS

La figura 3.4 da el diagrama de bloques que a continuación se describe.

#### 3.3.3.1.1) SINCRONIZACION A LA RED

Puesto que se requiere dispara tiristores o triacs, es conveniente que el ángulo de disparo esté sincronizado a la frecuencia de la red (60 Hz) y de la fase que se va a conectar.

La manera de conseguir el sincronismo es el método propuesto en el diagrama general. También se puede usar el dispositivo UJT ó el PUT que además de sincronizar a la red, permite obtener una rampa variable que genera el ángulo de disparo. El circuito que muestra la figura 3.5 es el adecuado para tal función.

#### 3.3.3.1.2) DETECTOR DE FRECUENCIA Y ERROR

Existen varias formas de detectar la frecuencia; básicamente conviene tener una señal de voltaje que represente la frecuencia, que es un convertidor frecuencia-voltaje DC. Este convertidor puede realizarse de varias formas, sin embargo, hay que tomar en cuenta que en determinadas circunstancias, puede existir la necesidad de sensar la frecuencia no de la red, sino del giro del generador o turbina (para el caso de conexión en paralelo de generadores), luego este bloque debe

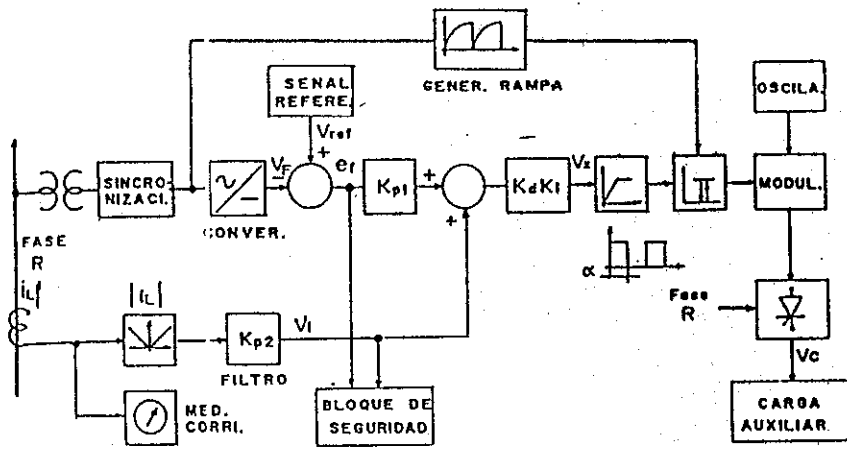


Figura 3.4 Diagrama de bloques de circuitos

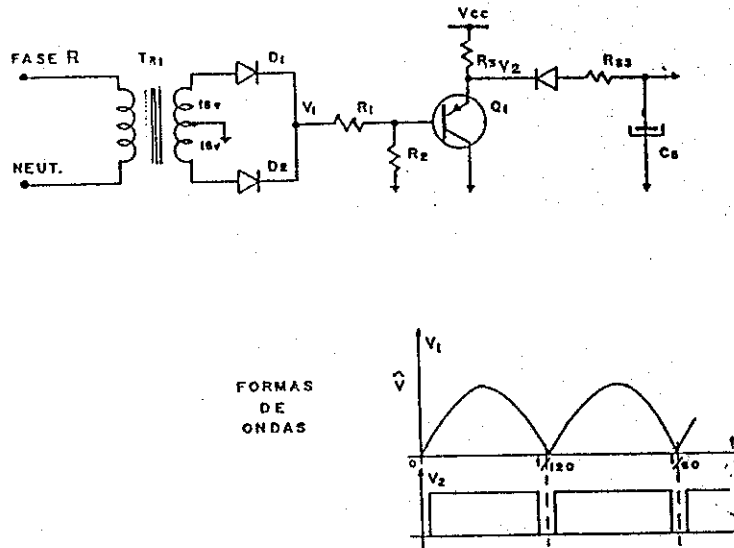


Figura 3.5 Circuito y señales de sincronización a la red.

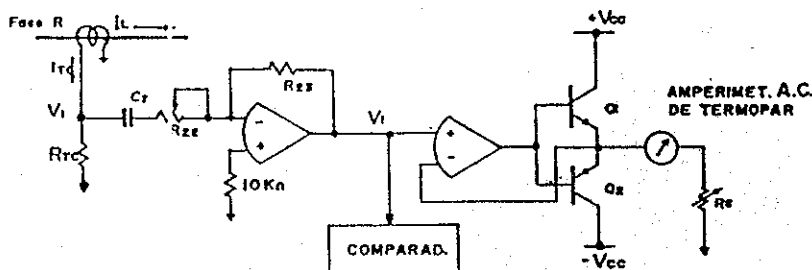


Figura 3.6 Circuito detector y medidor de corriente de línea.

ser flexible a cambio de sensor o convertidor y trabajar con señales de fácil acoplamiento a nuevos sistemas.

Para suplir estos requerimientos, es conveniente usar un solo circuito integrado (C.I.), expresamente fabricado para la conversión frecuencia-voltaje, o pulsos de giro a voltaje continuo y se escoge el LM 2907 N cuyas características se encuentran descritas en el anexo 1. Este C.I. es fabricado para aplicaciones industriales y tiene muchas aplicaciones, entre ellas la tacométrica, de manera sencilla y con pocos elementos extras.

El circuito tacométrico o detector de frecuencia y comparador será único para todas las fases, por lo que se requiere de un solo módulo.

### 3.3.3.1.3) DETECTOR Y MEDIDOR DE CORRIENTE DE LINEA

Por razones de desacoplamiento de la red, se usa un transformador de corriente (CT) para sensar la corriente de línea de la carga principal.

Se puede conectar un medidor de corriente (amperímetro) y obtener una indicación de la corriente rms de línea.

Para lograr estos dos objetivos, sin que la detección sea alterada por desconexión del medidor, se utiliza el circuito transmisor que se conecta al CT. Esto se logra con el circuito que se muestra en la figura 3.6.

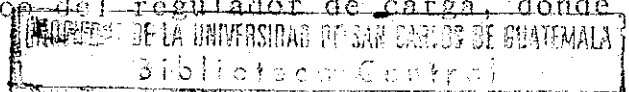
### 3.3.3.1.4) CIRCUITO COMPENSADOR DE CORRIENTE VI

Al trabajar en los circuitos de control con señales continuas, deberá convertirse la señal alterna  $V_i$  del circuito detector de corriente a señal de voltaje continuo  $V_i$  proporcional al estado de corriente de la línea. El circuito de la figura 3.7 es el indicado para tal operación, en el se obtiene el módulo de información y un rectificador de seguimiento de picos.

### 3.3.3.1.5) CIRCUITOS DE COMPENSACION P.D. O P.I.D.

El circuito de compensación se realiza con el fin de mejorar especificaciones de funcionamiento como son: exactitud, estabilidad relativa o velocidad de respuesta.

Para el caso específico del regulador de carga, donde



los circuitos de control son enteramente electrónicos, y por lo tanto su rapidez de respuesta es una de las grandes ventajas, conviene tener elementos de ajuste en los siguientes casos:

- a) Compensador proporcional-derivador P.D. que permite ajustar la estabilidad relativa y velocidad de respuesta.
- b) Compensador proporcional integral derivado (P.I.D.), el cual permite un mejor ajuste de funcionamiento, al incidir en la estabilidad relativa, velocidad de respuesta y corregir el error estacionario de la frecuencia.

### 3.3.3.1.6) CIRCUITOS DE GOBIERNO DE TIRISTORES O TRIACS

Siendo el sistema utilizado para disparar los relés electrónicos, la aplicación de una señal en la puerta (Gate), se distinguen cuatro modalidades de disparo, según la forma de la señal:

- a) Corriente continua
- b) Corriente alterna
- c) Por impulso único
- d) Por trenes de ondas o impulsos

#### 3.3.3.1.6.1) CORRIENTE CONTINUA

El montaje de la figura 3.8.a representa un circuito clásico de disparo. Se traza la recta del circuito de disparo, la cual corta la característica de puerta en la región marcada "zona preferente de cebado", lo más cerca posible de la curva de la potencia de pico máximo admisible (figura 3.8.b).

#### 3.3.3.1.6.2) CORRIENTE ALTERNA

Para el cebado en C.A., el circuito básico pasa a ser el de la figura 3.9. En este caso:

- La excursión inversa de la tensión de puerta es permanente e inferior al valor máximo admisible, lo que explica la utilización del diodo de protección D.
- La potencia de ataque máximo de pico puede aumentarse con



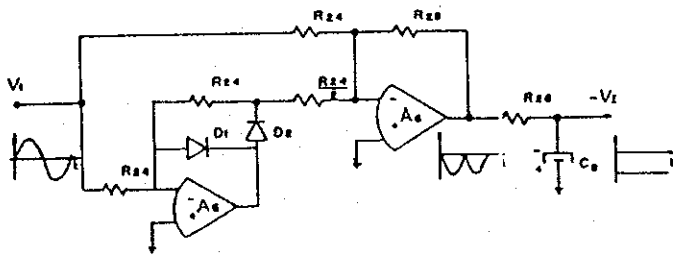


Figura 3.7 Circuito de compensación de corriente  $V_1$ .

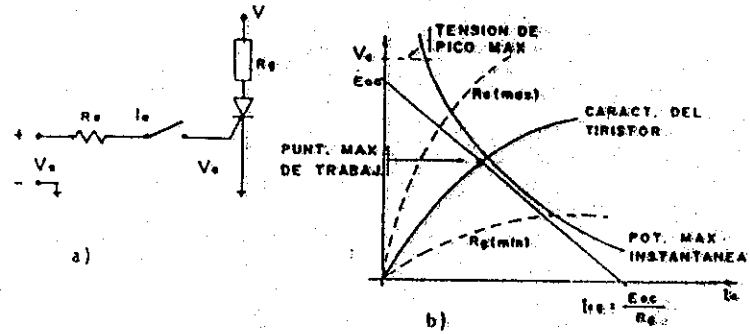


Figura 3.8 Circuito de cebado en C.C. (a). Determinación del punto de funcionamiento del tiristor en el cebado en C.C. (b).

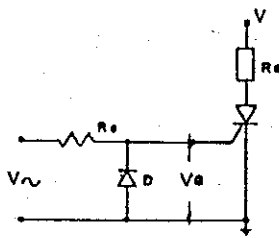


Figura 3.9 Circuito de cebado en C.A.

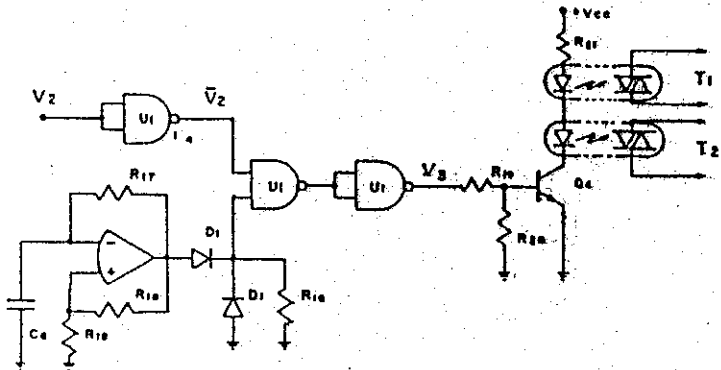
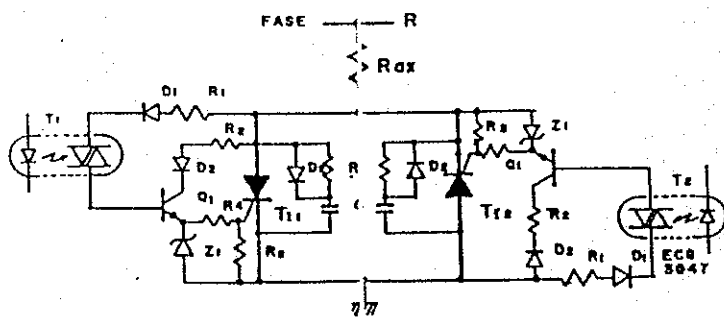
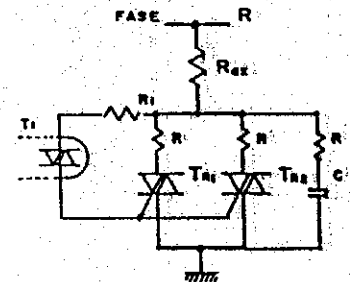


Figura 3.10 Circuito Oscilador, Modulador y Optoacoplador de los tiristores.



Circuito de Potencia con tiristores.



Circuito de potencia con triacs.

Figura 3.11

la condición de no sobrepasar la potencia media de puerta.

### 3.3.3.1.6.3) DISPARO POR IMPULSO UNICO

Los impulsos es de una o varias decenas de microsegundos de duración; según el tiristor, se puede considerar como un circuito en C.C. El cebado por impulsos permite una potencia de pico superior a la potencia media de puerta admisible y la tolerancia es más amplia en el circuito de disparo. Además, es mínimo el retardo entre la señal de puerta y la subida de la corriente de ánodo, con lo que se cuenta con una sincronización muy precisa.

### 3.3.3.1.6.4) DISPARO POR TRENES DE ONDA O IMPULSOS

En el funcionamiento en C.A. con cargas principalmente inductivas y un triac (o dos tiristores montados en antiparalelo), la corriente en el elemento inductivo persiste algún tiempo después de la vuelta a cero de la primera semi-onda de tensión en la que se produce el cebado, por lo que resulta un rectificador de corriente que puede deteriorar los circuitos conectados en la rama. Para combatir este problema se evitan trenes de impulsos repetitivos hasta el término de cada semi-onda, esto presenta la ventaja de consumir poca energía, en valor medio del circuito de mando. Este caso es el que se implementa para el disparo de los tiristores o triacs.

### 3.3.3.1.7) CIRCUITO MODULADOR Y OPTOACOPLADOR

La figura 3.10 muestra el circuito modulador. La señal V3 ingresa a un amplificador de corriente que activa dos led de fototriac's, éstos colocan los pulsos de disparo a la etapa de potencia. Los fototriac's tienen la función de aislar la tierra de los circuitos de control con la etapa de potencia.

### 3.3.3.1.8) CIRCUITO DE POTENCIA

Este circuito está compuesto por la etapa de disparo, tiristores (o triac's) y la carga auxiliar, como se indica en la figura 3.11. El circuito de potencia es el actuador que controla la corriente de carga al sistema auxiliar.

El circuito de potencia puede tener dos posibilidades: con tiristores contrapuestos, o con triacs (en paralelo si la

capacidad de corriente no es suficiente). (Ver tabla I del anexo 1).

### 3.3.3.1.9) CIRCUITO DE SEGURIDAD: SOBRE-FRECUENCIA

Quando el valor de la frecuencia se sale del valor real, es necesario desconectar la carga real (al consumidor), y proteger los equipos caseros del consumidor hasta que sea nuevamente ajustada la frecuencia suministrada por la turbina con la intervención del operador, al ser informado por medio de una alarma visual y sonora. La carga auxiliar será la que consuma toda la energía generada sin que sufran los circuitos electrónicos de control de la carga auxiliar ningún daño.

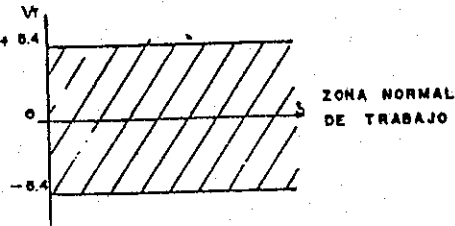
Por lo tanto, se genera una señal que indique que la frecuencia ha salido de los rangos pre-establecidos, y evitar al circuito correspondiente de desconexión. El circuito de la figura 3.12 cumple con tal función.

### 3.3.3.1.10) CIRCUITO DE SEGURIDAD: SOBRECORRIENTE

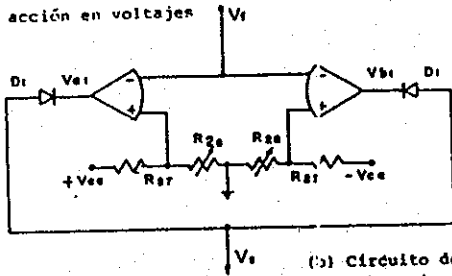
Se presenta también la necesidad de proteger al generador de sobrecarga, para lo cual se estima que en caso de existir una sub-demanda de energía, se desconecte todo el sistema (para que no trabaje a pérdida), ó para los casos de sobre-demanda a valor nominal o corto circuitos en la línea. Con lo cual se desconecta primero al consumidor, y de persistir el daño, como segundo paso, la alimentación de la excitación del campo del generador. El circuito de la figura 3.13 cumple con tal función.

### 3.3.3.1.11) FUENTE DE ALIMENTACION A LOS CIRCUITOS

Revisando todos los diseños de los circuitos para el regulador de velocidad como de protección, se encuentra totalmente desacoplados de la línea de fuerza tanto de las fases o neutro, por la utilización de transformadores desacoplados, así como la interconexión con los actuadores (tiristores, alarmas, etc) por medio de optoacopladores o relés que activan las alarmas o contactores, por lo que se dispone de una sola fuente para todos los circuitos mencionados. El circuito de la figura 3.14 muestra una alimentación de voltaje de D.C.

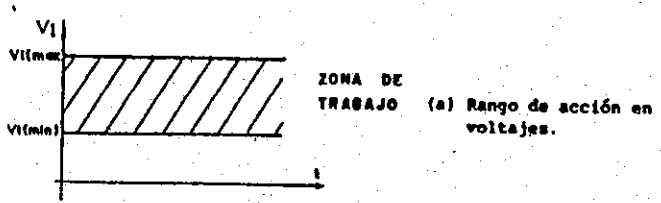


(a) Rangos de acción en voltajes



(b) Circuito detector de sobre nivel.

Figura 3.12 Circuito detector de baja y sobre frecuencias y relé actuador.



(b) Circuito detector

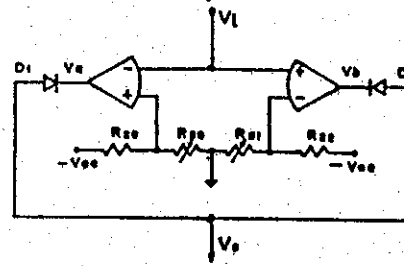


Figura 3.13 Circuito detector de sub y sobre potencia, y relé actuador.

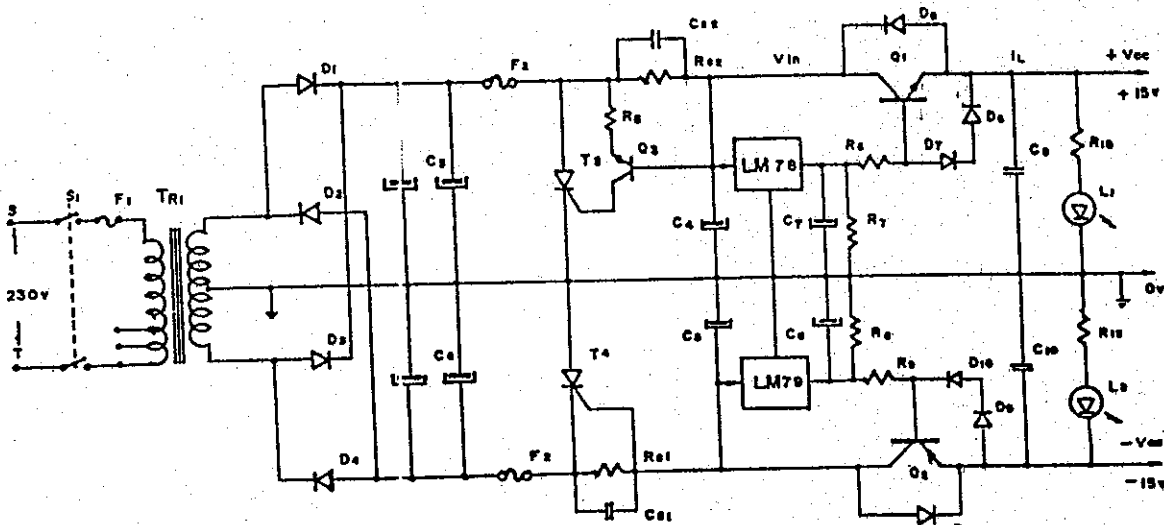


Figura 3.14 Fuente de Alimentación Continua.

### 3.3.4) COMPONENTES FUNDAMENTALES DEL REGULADOR

Es importante conocer que este tipo de regulador de velocidad está compuesto por tres partes fundamentales:

- a) La primera es la parte de detección de las variables y procesamiento de información, con un consumo de energía mínimo y está concebido para ser común para todos los reguladores de velocidad estandarizados, ya que es independiente del tamaño o potencia de la P.C.H., y con la posibilidad de adaptación de un regulador sin compensación de corriente.
- b) La segunda parte es el circuito de potencia o de disparo de los relés electrónicos (tiristores o triacs), que dependerá su dimensionamiento de la potencia del generador entregado. La estandarización de las placas impresas, donde se monta los elementos periféricos del tiristor podrá servir para la mayoría de las P.C.H. y los tiristores o triacs, necesariamente están ubicados aparte con los disipadores, lo que hace que sea altamente dependiente de la potencia.
- c) La tercera parte son los paneles de resistores de carga auxiliar, que también son estandarizados en su construcción de acuerdo con la potencia generada de la central.

### 3.3.5) CONDICIONES DE REGULACION

La regulación electrónica de carga requiere de las siguientes condiciones:

- a) Se garantiza un Torque constante al generador entregado por la turbina, lo que involucra un flujo constante de agua.
- b) Requiere de cargas auxiliares destinadas a consumir la potencia no utilizada por la carga principal que se entrega al consumidor.
- c) La carga auxiliar total debe tener la capacidad de consumir toda la potencia generada, o dentro de ciertos rangos.

### 3.3.6) TIPOS DE REGULADORES

Los reguladores de velocidad eléctrico-electrónicos con disipación de carga auxiliar (R.D.C.) que actualmente se están desarrollando, utilizan técnicas analógicas, digitales e

híbridos o computarizados.

La diferencia que existe entre todos los tipos de R.D.C. es la forma en que alimentan a las cargas auxiliares. La alimentación a éstas puede ser obtenida de diferentes formas por los elementos electrónicos de potencia existentes, así se tienen; relés electrónicos de controles fijos, o los relés electrónicos controlados que permiten la regulación del paso de la corriente. Estos elementos cada vez mejoran sus características por el impulso de la tecnología en semiconductores y se obtienen en el mercado, diodos, triacs o tiritores de mayor potencia.

La elección de los circuitos de potencia o actuadores que alimentarán a las cargas, dependerán de múltiples factores como son:

- Naturaleza y necesidad de la carga,
- Potencia a suministrar,
- Especificaciones de los dispositivos rectificadores disponibles,
- Grado de protección requerida y control,
- Rendimiento, y
- Costo.

A continuación se muestran varios circuitos de potencia controlados que pueden ser implementados para los R.D.C..

### 3.3.6.1) R.D.C. CON CIRCUITOS DE CONTROL DE UNA SOLA CARGA LINEAL ACOPLADA A LAS TRES FASES

En este circuito, la carga está alimentada por medio de circuitos de rectificación trifásica, controlado por medio de interruptores electrónicos (tiristores), como se muestra en la figura 3.15, que permiten la circulación de la corriente regulada unidireccional por medio de un disparo sincronizado a la línea o fase correspondiente proveniente de un controlador.

Siendo el objetivo primordial consumir carga, se pueden utilizar interruptores electrónicos que permiten la circulación de corriente controlada bidireccional (triac o la asociación en antiparalelo de dos tiristores) como lo indica la figura 3.16.

Como circuito de potencia que utiliza varios relés estáticos, permite realizar funciones multicontacto sincronizando con la línea alterna la señal de mando o pulsos de control. Pueden realizarse circuitos en serie, como lo muestra la figura 3.17, o en paralelo, según la figura 3.18.

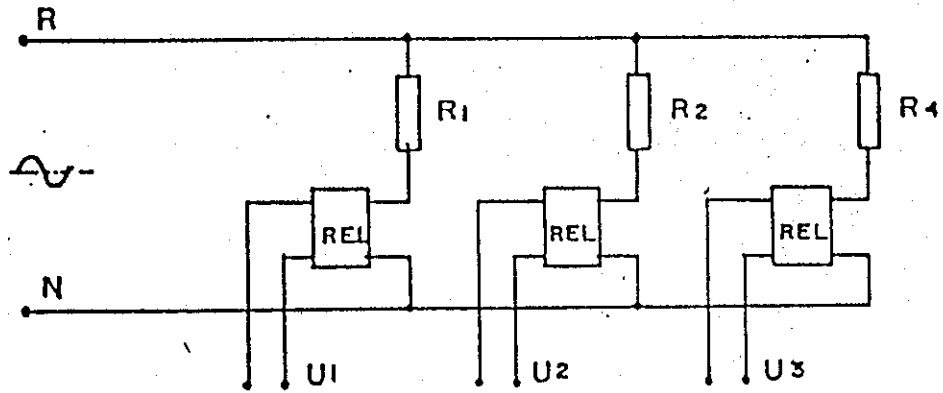


Figura 3.20 Circuito de conmutación de resistores fijos.

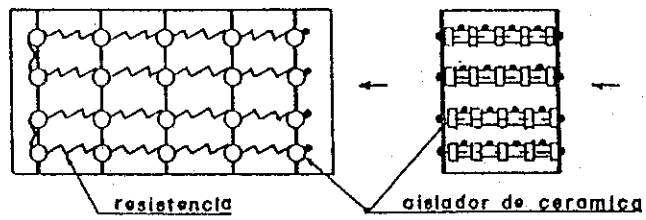


Figura 3.21 Batería de paneles resistivos.

### 3.3.6.2) R.D.C. CON CIRCUITOS DE CONTROL DE UNA CARGA LINEAL, ACOPLADA A UNA FASE

La diferencia de los circuitos de potencia enunciados anteriormente con los circuitos de control de una carga acoplada a fase-neutro, radica en que ahora serán tres circuitos separados por fase y donde la señal de control de disparo dependerá del controlador de frecuencia común o master que es compensado o ajustado por la corriente de su línea que va a la carga principal.

La figura 3.19 resume los circuitos de potencia controlada a la carga de una fase.

### 3.3.6.3) R.D.C. CON CIRCUITO DE CONTROL ESCALONADO DE VARIAS CARGAS FIJAS

Los circuitos de potencia o actuadores necesarios para la conexión de la carga auxiliar a la línea, depende del número de resistores que se pueden conectar en paralelo entre ellas con base en las combinaciones posibles.

Este tipo de carga puede ser conectada bajo la modalidad de una sola carga a las tres fases o una carga por fase, que depende del control que va a implementarse. La relación del valor resistivo más conveniente será 2, 4, 8, etc. con lo que se dispone de 1, 3, 7, 15, etc. pasos de regulación, que se conectan a la(s) línea(s) mediante relés mecánicos o relés electrónicos a disparo fijo.

La secuencia de conexión de las resistencias para conseguir que la carga auxiliar consuma el potencial requerido, dependerá de un convertidor análogo digital que relacione la señal de error detectado, a una combinación binaria para activar los resistores correspondientes.

Un circuito en bloques de la forma de conexión se muestra en la figura 3.20 por una fase. Para la conexión de los resistores en las tres fases, serán tres circuitos similares al indicado en la figura 3.20.

### 3.3.6.4) R.D.C. CON CONTROL SE SISTEMAS AUXILIARES DE SERVICIOS

Estos servicios auxiliares deben tener la capacidad de consumir toda la potencia generada dentro de ciertos rangos. Estos servicios puede ser: bombas de agua, molinos, calentadores de agua, etc..



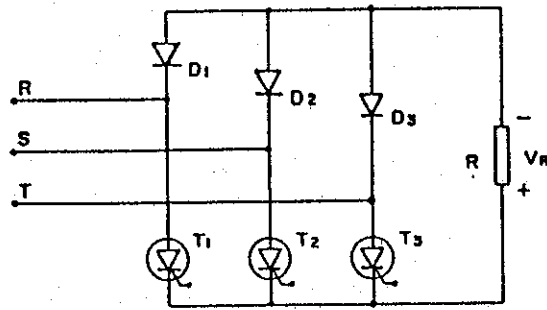


Figura 3.15 Rectificador trifásico Controlado Onda Completa.

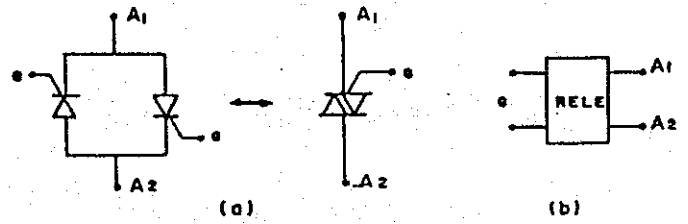


Figura 3.16 (a) Analogía de un triac a la asociación en antiparalelo de dos tiristores. (b) Diagrama bloque del relé de estado sólido.

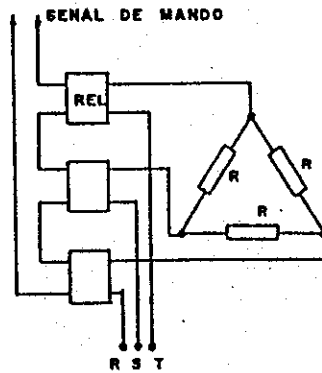


Figura 3.17

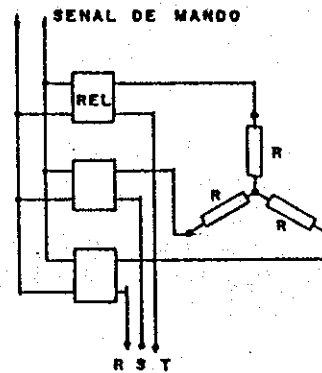


Figura 3.18

Circuito multicontacto para una señal de mando a control.

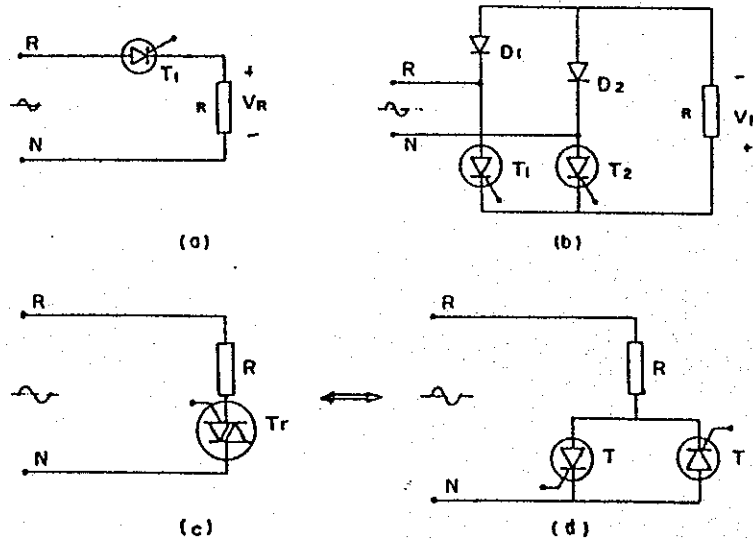


Figura 3.19 Circuitos de potencia:

- (a) Rectificador de media onda
- (b) Rectificador de onda completa
- (c) Circuito bidireccional con triac.
- (d) Circuito bidireccional con tiristores

### 3.3.7) MATERIALES RESISTIVOS COMO CARGAS AUXILIARES

Como cargas auxiliares, convendría que sean utilizados materiales resistivos, que son empleados comúnmente para hornos industriales, elementos de calefacción, reostatos, etc.. Hay muchas categorías de materiales para resistencias, casi tantas como de aleaciones, y se pueden pudiendo clasificar en tres grandes grupos:

- Resistencias metálicas,
- CERMET, y
- Resistencias no metálicas.

#### 3.3.7.1) RESISTENCIAS METALICAS

Generalmente las más utilizadas son: las aleaciones níquel-cromo, que tienen una elevada resistividad eléctrica, con coeficiente de temperatura baja y una gran resistencia a la oxidación y a las variaciones producidas por altas temperaturas.

Las aleaciones de acero-cromo-níquel como por ejemplo, los que contienen 17 a 20% de cromo, 7 a 10% de níquel, y pequeñas proporciones de carbono y manganeso se utilizan cuando se desea mucha precisión a elevadas temperaturas y resistente a la corrosión.

Las aleaciones de níquel y hierro son de baja resistividad y poca resistencia a la oxidación, y conviene que trabajen a bajas temperaturas, pero son mucho más baratos que las de cromo-níquel; podrían emplearse como cargas resistivas calculadas para que produzcan temperaturas moderadamente elevadas.

Las aleaciones de cobre y níquel, por sus características son mayormente utilizadas en instrumentación.

El alambre de hierro y de fundición se emplean también como resistencia, pero es menos resistente a la oxidación aun siendo galvanizado y su coeficiente de resistividad es bajo.

#### 3.3.7.2) LAS CERMETS

El término CERMET es una contracción de la expresión cerámica-metal. Los materiales que constituyen las resistencias son compuestos de metales y de metaloides que se presentan en forma de cerámica hecha a altas temperaturas.

Podrían ser convenientes como cargas auxiliares, pero no se encuentra en el mercado fácilmente.

### 3.3.7.3) RESISTENCIAS NO METALICAS

Podría clasificarse con base en la concentración de carbono; así se obtiene: grafito-emorfo, grafito-sintético y carburo de silicio. Se pueden encontrar en el mercado en forma de barras, tubos, espigas, etc..

Pueden soportar elevados rangos de temperatura; son resistentes a las agresiones químicas y son de alta durabilidad.

### 3.3.7.4) FORMA DE DISPOSICION DE LAS RESISTENCIAS

Su instalación requiere de un estudio detallado, tanto por la colocación o soporte mecánicos, conexiones eléctricas y suficiente aireación.

La colocación mecánica, principalmete para resistencias de alambre cuya maleabilidad es alta a elevadas temperaturas, convendría que sean en forma de páneces, donde las resistencias en forma de espiral se encuentran en forma de filas, para la separación de los páneces deberá tomarse en cuenta la transmisión de radiación con el fin de no alterar demasiado el coeficiente de resistividad de las resistencias y de enrollarse en formas de espiras debe exigirse arreglos anti-inductivos. La figura 3.21 ilustra una idea de su colocación.

Otro de los métodos para enrollar el alambre resistivo es en barras de cerámica, lo que permite un mejor soporte y menor deformación del alambre, lo que determina que sus características eléctricas varíen en un mayor tiempo de uso.

Todas estas formas de colocación son para el medio ambiente, por lo que es importante que tengan suficiente aireación, protección de los elementos contra choques de gases, vapores o atmósferas especiales y arreglos anti-inductivos.

### 3.3.8) ANALISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE R.D.C.

Un análisis comparativo de los sistemas de regulación de velocidad con disipación de carga, se resume en la tabla 3.1, que permite definir con un criterio más acertado del sistema de regulación adecuado.

Tabla 3.1

Cuadro comparativo de los sistemas de regulación de Frecuencia con disipación de carga.

REGULADOR CON RESPECTO	CONTINUA DE UNA CARGA		POR PASOS DE CARGAS FIJAS		OBSERVACIONES
	A LAS TRES FASES	POR FASES	A LAS TRES FASES	POR FASES	
<b>A LOS BLOQUES DEL REGULADOR</b>					
- DETECTOR DE FRECUENCIA	1	1	1	1	- Conviene tomar la señal de dos fases
- COMPARADOR	1	1	1	1	
- DETECTOR DE CORRIENTE	-	3	-	3	- Por cada fase
- COMPENSADOR DE CORRIENTE	-	3	-	3	- Por cada fase
- CIRCUITO DE POTENCIA	1	3	1 x N	3 x N	- Dependerá del circuito adoptado.
- CARGA AUXILIAR	1	3	1 x N	3 x N	- N = número de resistencias
<b>A LAS VARIABLES INVOLUCRADAS</b>					
- CORRECCION DE FRECUENCIA POR VARIACION DE CARGA REAL	LENTA por constante mecánica del generador	INMEDIATA por compensación de corriente	LENTA constante mecánica	INMEDIATA por compensación de corriente	
- CORRECCION DE FRECUENCIA POR VARIACION DE TORQUE MECANICO	INMEDIATO	INMEDIATO	INMEDIATA	INMEDIATO	- * con error estacionario por cargas fijas conectadas.
- DESBALANCE DE FASES	NO CORRIGE	CORRIGE	NO CORRIGE	CORRIGE aproximadamente	- * y afecta a la frecuencia y voltaje
- TRANSITORIOS GENERADOS	MEDIO	BAJO	ALTO	ALTO	
<b>A COSTOS</b>					
- DETECTOR DE FRECUENCIA	IGUAL	IGUAL	IGUAL más un convertidor A/D	IGUAL más un convertidor A/D	
- COMPARADOR	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	
- DETECTOR DE CORRIENTE	0	3 Detectores	0	3 Detectores 3 Convertidores A/D	
- CIRCUITO DE POTENCIA	ALTO 3 diodos y 3 tiristores o 3 triacs de Potencia total	MEDIO 6 diodos y 6 tiristores o 3 triacs de 1/3 Potencia T.	ALTO 6 tiristores x N ó 3 triacs x N de Potencia, Ver Tabla 5.	MUY ALTO 6 tiristores x 3 x N ó 3 triacs x 3 x N de Potencia, Ver Tabla 5.	- El costo de los relés electrónicos predomina a todo
- CARGA AUXILIAR	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	- Resistencias en paralelo para la misma potencia - Se diferencian por la forma de conexión.

El circuito opcional que consiste de un sistema auxiliar de servicios no se toma en cuenta para la comparación, al poder acoplarse a cualquier tipo de sistemas mencionados, por cuanto involucra solamente la toma de la señal de error del controlador y la alimentación controlada al servicio auxiliar será la toma de la línea de distribución al consumidor.

Del análisis comparativo de los cuatro sistemas de regulación indicados en la tabla 3.1, se resume que los sistemas continuos de regulación de carga son más convenientes que los reguladores escalonados de carga, por su menor equipamiento, y mejor control de las variables que intervienen principalmente para la frecuencia, así como una disminución de los transitorios presentados en la red.

De los 2 reguladores continuos, el R.D.C., por fase, es el más completo, porque involucra una mejor regulación de la frecuencia con un equilibrio de corriente entregado por el generador. Indirectamente puede existir una estabilización de la tensión y un ajuste de potencia que el generador entrega, debido a variaciones del torque hidráulico, lo cual se debe a factores de operación que se dan en la turbina; por ejemplo: una disminución del caudal de agua requerido.

El regulador continuo de disipación de carga por fase involucra añadir tres compensadores de corriente y tres amplificadores de potencia; son estos tres equipos similares en su diseño, pero operan con información y sincronismo de su fase y la potencia de diseño de los amplificadores o actuadores, que será a  $1/3$  de la potencia máxima total requerida.

### 3.3.9) COSTO

Los tres circuitos semejantes de amplificación de potencia como las correspondientes cargas resistivas, aparentemente indicaría un aumento de costo del sistema de regulación, pero por su diseño como construcción este costo no es elevado y puede ser menor, principalmente por los relés electrónicos (tiristores o triac utilizados) a emplearse al requerir elementos de  $1/3$  de la potencia total entregada por el generador, factor que abarata los costos considerablemente en elementos de menor potencia, y son factibles de conseguir en el mercado. Asimismo la disipación del calor generado por los radiadores que soportan estos semiconductores, es hacia el ambiente, por lo que facilitan la adquisición y construcción de las resistencias de carga.

### 3.3.10) EXACTITUD Y CALIDAD DE REGULACION

Siendo un sistema de regulación muy nuevo, la exactitud y calidad en la regulación es debido, en su mayor parte, a la evolución de los circuitos y elementos electrónicos, que se basan en tecnología analógica, digital e híbridos, así como en tecnología en semiconductores.

### 3.3.11) MANTENIMIENTO

Este tipo de sistema de regulación no requiere un continuo mantenimiento. En caso de efectuarlo, el tipo de mantenimiento exige unidades completas de reposición preferiblemente mediante el conjunto de repuestos preensamblados que son factibles de obtener en el mercado.

### 3.3.12) VIDA UTIL

La vida útil de este tipo de sistema de regulación parte de un buen diseño electrónico y eléctrico, así como de un buen proceso de fabricación, de mantenimiento y operación; por eso se considera como alta la vida útil de este regulador.

### 3.3.13) FUNCIONAMIENTO Y OPERACION DEL R.D.C. EN UNA P.C.II.

- a) Poner en marcha la central: se hace abriendo la válvula de admisión de agua hasta alcanzar un voltaje y frecuencia normal de funcionamiento del generador que se encuentra en vacío.
- b) Fijar la frecuencia referencial del regulador ( 60 ) y conectar la fuente de alimentación continua a los circuitos electrónicos del regulador.
- c) Conectar las cargas auxiliares, verificar la carga máxima del generador mirando el vatímetro, y se abren más la válvula de admisión hasta alcanzar el torque mecánico necesario para obtener la potencia máxima de generación o la frecuencia fija y ajustando la excitación, hasta alcanzar el voltaje normal de trabajo.

Luego de verificar que las condiciones de operación son normales, se procede a:

- d) La conexión de la carga real o principal, y sólo queda la

operación del regulador automatizado. Verificar los indicadores de corriente por fase a la línea que confirmarán el uso de la energía en el poblado y de observar las indicaciones diferentes; comprobar el funcionamiento del regulador y la compensación de corriente, y observar en los indicadores de corriente del generador que se encuentre en la máxima carga.

El regulador vigilará permanentemente que las condiciones de operación sean las adecuadas, y se procede a la desconexión de la carga principal ante cualquier condición de falla de la frecuencia, o desconexión total del sistema, si existe exceso de carga. A reconexión de la carga principal o del sistema, se requiere volver a seguir a la secuencia indicada anteriormente.

### 3.3.14) DESCONEXION DEL SISTEMA

- a) Desconexión de la carga principal.
- b) Desconexión de la carga auxiliar y desconexión de la fuente continua de alimentación al equipo.
- c) Inmediatamente el cierre de la válvula de admisión del agua, antes de que la turbina y generador se envalen.

### 4) DESPLAZAMIENTO DE LOS REGULADORES DE VELOCIDAD OLEO-MECANICOS POR LOS ELECTRICO-ELECTRONICOS

El regulador de velocidad oleo - mecánico ha sido usado desde el siglo pasado hasta la presente fecha con buenos resultados. Con el advenimiento de la electrónica en las centrales de generación, se ha ido cambiando el regulador oleo-mecánico por un eléctrico - electrónico. Las razones principales son:

- a) Si bien es cierto la construcción de un regulador oleo-mecánico involucra una avanzada tecnología en su construcción mecánica, no satisface las necesidades de hoy; esto se debe a que no se puede comparar una señal mecánica de medición con una electrónica. Algunos de sus mecanismos forman parte de lo que se podría considerar como el cerebro del lazo de control, el cual debe enviar información (contenida en señales de tipo mecánico como desplazamientos) que procesa al resto del sistema.
- b) La tecnología electrónica permite fácilmente conseguir precisión desde el punto de vista constructivo y además

conseguir fácilmente acciones de control modernas, que dan lugar a lazos de control procesados como son las acciones de control Proporcional Integral Derivativa, con la consiguiente ventaja en la regulación de velocidad.

- c) Si alguna vez las pequeñas centrales llegan a funcionar en forma interconectada, y si se hace uso de los reguladores eléctrico - electrónicos con control positivo de flujo y con disipación de carga, estos sistemas pueden ser fácilmente incorporados a esta forma de funcionamiento.
- d) En términos de costo, los reguladores de velocidad oleo-mecánicos pueden tener un precio más bajo que los reguladores eléctrico-electrónicos. Sin embargo en los reguladores oleo-mecánicos, resulta difícil construir los mecanismo de precisión que forman parte de lo que se podría considerar el cerebro del lazo de control. En cambio, la tecnología electrónica permite fácilmente conseguir precisión desde el punto de vista constructivo y además conseguir fácilmente acciones de control modernas, que dan lugar a lazos de control precisos, como son las acciones de control proporcional integral derivativa. Si se considera esto, los reguladores eléctrico-electrónicos son más fáciles de construir.



## CAPITULO II

## CENTRAL HIDROELECTRICA LA CASTALIA

## 1) CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CENTRAL

## 1.1) GENERALIDADES

En el presente capítulo, se analiza el estado actual de la P.C.H. la Castalia, la red de distribución del área, así como el sistema de regulación que actualmente posee dicha central, del cual se deriva la mala regulación de la frecuencia.

La P.C.H. Castalia se encuentra ubicada en el departamento occidental de San Marcos, en el municipio de San Marcos, a 250 km de la Capital de la República. Esta central es propiedad de la Empresa Eléctrica Municipal.

La P.C.H. Castalia ha sido de vital importancia para la ayuda económica de la ciudad cabecera del departamento de San Marcos. Las condiciones actuales de la central han sido críticas debido al envejecimiento de la misma. Inversiones que se están realizando actualmente pretenden mejorar la operación de la misma, con el fin de lograr que su forma de operación sea más eficiente.

Actualmente la EEMSM ha logrado sincronizar la central al Sistema Nacional Interconectado. Por lo antes expuesto, para los fines y análisis de este trabajo de tesis, se asumirá que la P.C.H. la Castalia se encuentra aislada.

## 1.2) FUNCION

La función primordial de la P.C.H. la Castalia, es servir como fuente parcial de abastecimiento a la ciudad cabecera del departamento de San Marcos, en donde la mayor demanda de energía se deriva de usuarios del tipo comercial y residencial.

Debido a que la capacidad de generación no cubre la demanda actual de la ciudad, la red de distribución está dividida en dos circuitos, uno alimentado por el INDE y el otro por la Castalia.

### 1.3) SITUACION GEOGRAFICA

La P.C.H. Castalia se ubica en la finca del mismo nombre sobre el rio Palatzá a 260 Km de la ciudad de Guatemala, y a 7.2 Km de la ciudad de San Marcos. Las coordenadas geográficas son: latitud norte 15 grados, 55 min, 9 seg, latitud oeste 91 grados, 45 min, 23 seg y una altura de 1,860 msnm.

### 1.4) CAPACIDAD INSTALADA

Está instalada una unidad de 335 kVA, con un factor de potencia de 0.8 y un voltaje de 240 voltios.

### 1.5) GENERACION ACTUAL

De acuerdo con los datos recabados en la EEMSM, la generación de la Castalia para máxima y mínima generación registrada durante los años 1993, 1994 y 1995 son los siguientes:

#### a) 1993:

Máxima potencia 220.12 kW  
Mínima potencia 62.01 kW

#### b) 1994:

Máxima potencia 211.10 kW  
Mínima potencia 59.46 kW

#### c) 1995, y lo que va del año:

Máxima y mínima potencia 150.00 kW; la central se encuentra sincronizada por lo que la generación es constante.

Se mencionó con anterioridad que, para los fines de este estudio; se ha asumido que la central se encuentra aislada, razón por la cual los datos recabados para los años 1993 y 1994 servirán como base en la realización de esta tesis.

### 1.6) AÑO DE INAGURACION

En marzo del año de 1,958, se inició el funcionamiento de la Hidroeléctrica Municipal la Castalia.

## 1.7) INFORMACION HIDROLOGICA

### 1.7.1) PRINCIPAL AFLUENTE

El río Palatzá es el único afluente que sirve como fuente de energía hidráulica para la central Castalia, y no existe en ésta un embalse de regulación anual.

### 1.7.2) PRESA

La presa es de concreto armado, cimentada sobre afloramiento basáltico; tiene 27 mts de corona y una altura de 7 mts, y el nivel de limpia de la compuerta se encuentra a 2.5 mts de altura. Su capacidad de embalse se encuentra muy reducida por azotamiento de arena y rocas. La presa tiene una sola compuerta en el fondo. La compuerta presenta fugas por mal sello debido a la deformación de la compuerta.

La compuerta está hecha de madera con un marco de metal inoxidable. Las medidas de ésta son: 1.756 mts x 1.4 mts y un espesor de 5/8".

### 1.7.3) DESARENADOR

Tiene dimensiones aproximadas de 30 mts x 3 mts x 4 mts, posee tres compuertas: dos en el fondo para su vaciado y una de control de nivel del canal. Las dos compuertas de vaciado son de metal, así como sus marcos; éstas no sellan y presentan alta fuga por deformación de los marcos. La de control del canal es de madera.

### 1.7.4) CANAL DE CONDUCCION

Tiene medidas aproximadas como sigue: 576 mts de longitud, 1.2 mts de ancho, 1.2 mts de profundidad en la entrada y 1.7 mts a la salida. Debido a derrumbes de los cerros, el canal es inaccesible en la mayor parte de su longitud.

### 1.7.5) EMBALSE DE REGULACION

El embalse de regulación tiene medidas aproximadas de 17 mts de largo, 8 mts de la corona al fondo y 4 mts de ancho. La compuerta de salida a la tubería de presión se encuentra a

3 mts del fondo, el nivel de rebalse es de 0.4 mts debajo de la corona.

Existe una reja que comunica el tanque a la cámara de entrega a la tubería.

#### 1.7.6) TUBERIA DE PRESION

Consta de 32 secciones de tubería de 5.1 mts de largo. La sección horizontal que conecta a la turbina es de 1.05 mts y tiene 21" de diámetro de entrada y 14" de salida. La siguiente sección (No. 1) es un codo de 21" de diámetro con una pendiente de 35 grados a la tubería; hasta la sección 21, que se encuentra soportada por dos bloques de anclaje en los que la pendiente cambia a 15 grados. En la sección No. 16, la tubería cambia de diámetro, a 26". La caída de agua es de 68 mts aproximadamente a partir de la entrada a la tubería, más una cabeza de agua máxima de 5 mts. El caudal de agua estimado para la potencia máxima (335 kVA) es de 0.6 mts<sup>3</sup>/seg.

#### 1.8) TURBINA HIDRAULICA

La finalidad de la turbina es transformar la energía cinética de un volumen de agua en energía mecánica rotacional. La central cuenta con una turbina del tipo FRANCIS ESPIRAL de eje horizontal, con un número de 10 paletas. La turbina opera a 1,200 rpm, y tiene una potencia de 335 kVA.

La turbina de tipo Francis Espiral de eje horizontal tiene una tubería de 14" de diámetro en la entrada y la salida. El sistema hidráulico en general se encuentra en mal estado. El sistema automático de control de velocidad no funciona. La regulación de frecuencia es realizada manualmente por el operador de turno.

El período de mantenimiento que se le da a la turbina es semanal, y consiste únicamente en engrasarla.

#### 1.8.1) TURBINA FRANCIS

Las turbinas Francis son consideradas turbinas de reacción, y son utilizadas en el aprovechamiento en caídas abajo de 10 m; se utiliza en este caso la turbina Francis de Caja Abierta, y en caídas encima de 10 m, Francis Espiral.

Las pequeñas unidades son generalmente provistas con un eje de posición horizontal, que facilitan su instalación y un

mantenimiento correspondiente del generador. Por otro lado, está el eje de posición vertical que presenta la ventaja de poder colocar el generador encima del nivel máximo de agua utilizando un arreglo de turbina Francis de Caja Abierta.

### 1.8.2) TURBINA FRANCIS CAJA ESPIRAL

Para caídas encima de los 10 m, es recomendable que la turbina Francis posea una caja espiral normalmente hecha en chapas de acero soldadas. Habitualmente las Turbinas Francis espiral para P.C.H. tienen un eje de posición horizontal, debido a las facilidades de instalación y mantenimiento.

La variación de potencia suministrada por la turbina es obtenido a través de la abertura y deflexión (cierre) de las paletas distribuidoras, ligadas a través de un anel de regulación y de hastas apropiadas a el actuador del Sistema de Regulación.

El rotor de la turbina Francis es una pieza única y robusta. El aspecto y disposición de una turbina de este tipo se muestra en la figura 1 del Anexo 1, y son las letras las que indican las dimensiones básicas de la misma.

## 1.9) SISTEMA ELECTRICO

### 1.9.1) GENERADOR

El generador es del tipo de polos salientes, marca Siemens, voltaje nominal 240 V, potencia nominal 335 kVA, corriente nominal 810 Amp, factor de potencia igual a 0.8, 60 Hz de frecuencia y 1,200 rpm.

### 1.9.2) PROTECCION EN LA CENTRAL

Inicialmente la P.C.H. Castalia se protegía contra sobrecargas y cortos circuitos por medio de un disyuntor, el cual se encuentra actualmente fuera de servicio.

Actualmente se protege la central por medio de cortacircuitos porta fusibles de 7.16 kV y un seccionador de apertura horizontal con operación tripolar, instalados en la subestación para protegerla de cortos circuitos y sobrecargas; la protección contra descargas atmosféricas se hace por medio de

pararrayos de óxido de zinc de 13.8 kV. Esto significa que el generador, el banco de transformadores de la subestación y las líneas de transmisión no tienen protección propia, de donde al existir fallas en cualquiera de estas partes la central tiene que salir de servicio.

El sistema de tierras es a base de cuatro electrodos que se encuentran sumergidos en la subestación.

### 1.9.3) SUBESTACION TRANSFORMADORA

La subestación transformadora se compone de un banco de transformadores monofásicos con voltaje de 240 V/13.8 kV, 100 kVA, convencionales de polaridad positiva; conectados así: primario Estrella Aterrizada y secundario Delta.

El patio de transformación cuenta con protección para toda la central contra descargas atmosféricas, corrientes de corto circuito y protección contra sobrecargas.

La subestación está construida con rieles de ferrocarril y con cruceros de madera. Los aisladores son de pin, y no existen aisladores de tensión para la salida de la línea de transmisión ni en las estructuras de ángulo de la línea.

El mantenimiento que se le da a la subestación es únicamente al banco de transformación, el cual consiste en mantener a nivel el aceite de los transformadores.

### 1.9.4) LINEAS DE TRANSMISION

La finalidad de las líneas de transmisión es conducir la energía eléctrica desde su punto de generación hasta el lugar donde se va a consumir.

La línea de transmisión tiene un voltaje nominal de 13.8 kV, y una longitud de aproximadamente de 7.2 km; está construida con estructuras hechas de un riel de ferrocarril y un crucero de madera.

El conductor de fase es un hilo sólido de cobre calibre 8 AWG, que se encuentra envejecido y con varios empalmes. La línea no tiene hilo de guarda y puesta a tierra.

### 1.10) OPERACION ACTUAL

La capacidad actual de la Castalia se ha reducido por

limitaciones impuestas por la turbina que se encuentra dañada. En tal condición, la cantidad de energía que se está dejando de utilizar en la planta es de aproximadamente 44.44%, por no tener la unidad la capacidad de generar los 270 kW de diseño.

Dado que el embalse se encuentra en mal estado y no tiene la capacidad adecuada de almacenaje, en invierno se tira agua en grandes cantidades.

La regulación de voltaje y frecuencia llega a casos extremos en horas de fuertes variaciones de carga, dado el caso de que en la hora pico, se registran hasta de 55 Hz y una regulación de voltaje mayor al 15%.

## 2) SISTEMA ELECTRICO QUE ALIMENTA LA CASTALIA

### 2.1) AREA DE ESTUDIO

El área servida por la Castalia comprende parte de la cabecera departamental de San Marcos conformada por los cantones: Santo Domingo, San Ramón y San Francisco; así mismo, las aldeas: Las Lagunas y el Recreo.

El presente estudio trata principalmente de definir las cargas que se encuentran instaladas en la red servida por la Castalia, y definir el tipo de carga que se encuentra instalada en los bornes del generador.

No se debe de olvidar que todo los análisis efectuados en este trabajo de tesis, son hechos asumiendo que la P.C.H. La Castalia se encuentra aislada, para lo cual sirve así al circuito antes mencionado.

En la figura 1 del Anexo 2, se presenta el mapa geográfico de la cabecera de San Marcos, donde se identifica el área en estudio.

### 2.2) SITUACION DE LA RED

En lo que respecta a la red que sirve la castalia, se observan los problemas que a continuación se detallan:

- Mala calidad de servicio,
- Caídas de voltaje en varios puntos de la red,

- Caídas de voltaje en varios puntos de la red,
- Mala regulación de voltaje,
- Mala regulación de frecuencia,
- Varios empalmes en cables de acometida,
- Postes de madera en condiciones críticas,
- Aglomeración de conductores en varios sectores, incluso en postes de madera,
- Conductores inadecuados en el sistema de distribución primaria (13.8 kV), usándose conductores de cobre No. 8 AWG para las fases y No. 10 AWG para el neutro,
- Falta de medidores adecuados para alta demanda y consumidores trifásicos.

### 3) COMPONENTES DEL SISTEMA

Se describen a continuación los elementos que conforman parte de la red de distribución primaria, del circuito que la P.C.H alimenta.

#### 3.1) TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

La red de distribución primaria posee 2 bancos de transformación trifásicos, que están conformados por transformadores monofásicos y 17 transformadores monofásicos que se encuentran ubicados en determinados puntos (en la figura 2 del Anexo 2 se observa la ubicación exacta de éstos); en el cuadro No. 3, se detallan por su capacidad.

CAPACIDAD kVA	CANTIDAD
10	2
15	9
25	2
37.5	4
50	6
TOTAL	23

CUADRO No.3



La capacidad instalada es de 655 kVA, equivalente a 556.75 kW a un factor de potencia 0.85.

De los 23 transformadores que se encuentran instalados, 16 son convencionales y 7 son autoprotegidos.

Tres (3) transformadores de 50 kVA forman parte de un banco trifásico, que alimentan una bomba de agua de 50 Hp a 440 V.

### 3.2) SECCIONADORES

La red de distribución posee tres (3) seccionadores trifásicos, que cumplen la finalidad de interconectar este circuito con el circuito del INDE, así también desconectar determinados sectores, con el fin de efectuar trabajos de mantenimiento. En la figura 3 del Anexo 2 se aprecia la ubicación de los seccionadores.

### 3.3) CONDUCTORES Y ESTRUCTURAS

Durante los últimos tres (3) años, las autoridades administrativas de la EEMSM han adoptado las normas de la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (EEGSA), por lo que las condiciones de los conductores y estructuras del circuito han variado.

En varios puntos del circuito primario, se encuentran conductores de cobre AWG No. 8 desnudo para líneas vivas y 10 para el conductor neutro, para líneas trifásicas y monofásicas. Asimismo, conductores de aluminio ACSR RAVEN calibre 1/0 para líneas trifásicas y monofásicas. En el Anexo 3, se encuentran las características de los conductores de cobre y de aluminio.

El circuito posee un 35 % de postes de madera, los cuales se encuentran en un estado crítico de operación; el 65 % restante son postes de concreto y se encuentran en estado óptimo de servicio. En el Anexo 4, se muestra la estructura que se utiliza en este circuito.

### 4) DEMANDA DEL CIRCUITO

En este apartado, se detalla la cantidad de usuarios que posee el área de estudio, y sumado a éstos el alumbrado público y ciertas donaciones que realiza la Municipalidad de San Marcos a ciertas instituciones, que conforman los elemen-

tos que hacen posible la carga del sistema.

#### 4.1) NUMERO DE USUARIOS

En el cuadro No. 3, se detalla el número de usuarios según la tarifa que poseen:

DESCRIPCION	No. USUARIOS	% USURAIOS
RESIDENCIAL	926	85.03
COMERCIAL	143	13.13
INDUSTRIAL	10	0.92
GOBIERNO	3	0.27
DIVERSOS	6	0.55
MUNICIPAL	1	0.10
TOTAL	1089	100.00

\*

CUADRO No. 3

\* La Municipalidad de San Marcos realiza bombeo de agua potable, a través de un Motor de 50 Hp.

En el cuadro No. 4, se detalla la distribución de los usuarios por consumo. Estos datos fueron extraídos de los registros estadísticos que posee la EEMSM, correspondientes al mes de Enero de 1995, y fueron corroborados por medio de una inspección directa a la dirección de cada usuario.

kWh	RESIDENCIAL	COMERCIAL	INDUSTRIAL	GOBIERNO	DIVERSOS
0 - 25	400	45	2	2	3
26 - 50	250	37	4	1	2
51 - 75	127	20	2	0	1
76 - 100	75	14	0	0	0
101 - 125	43	10	0	0	0
126 - 150	17	8	0	0	0
151 - 175	8	4	0	0	0
176 - 200	3	0	0	0	0
201 - 225	0	2	0	0	0
226 - 250	2	1	1	0	0
251 - 275	0	1	0	0	0
276 - 300	0	1	0	0	0
301 - 325	1	0	1	0	0
TOTAL	926	143	10	3	6

CUADRO No. 4

#### 4.2) DONACIONES DE SERVICIO ELECTRICO

La Municipalidad de San Marcos, a través de la EEMSM, efectúa en el transcurso de cada mes, donaciones de energía; esto significa que la empresa tiene que disponer de cierta demanda, para que cubra estos eventos sin obtener remuneración alguna. En el mes de estudio (enero de 1995), Se realizaron las siguientes donaciones:

- Gobierno 4 con un consumo de 215 kWh.
- Aldeas 4 con un consumo de 102 kWh.
- Municipales 3 con un consumo de 787 kWh.

#### 4.3) ALUMBRADO PUBLICO

El circuito cuenta con 184 luminarias; éstas tienen un funcionamiento de 12 horas (6:00 PM - 6:00 AM). La carga que representan éstas es de 34.48 kW. En el cuadro No. 5, se detallan los tipos que se encuentran instalados, la potencia y cantidad:

DESCRIPCION	KW	No. LUMINARIAS
MIXTA	160	48
CUARZO	1000	4
COBRA SAP	150	9
CANASTA SBP	100	1
COBRA VM	175	36
CANASTA VM	175	86
TOTAL		184

CUADRO No. 5

#### 5) FLUJO DE CARGA DEL SISTEMA Y TIPO DE CARGA

El diseño de un sistema de regulación necesita ciertos datos relacionados con la instalación de la P.C.H., siendo éstos:

##### a) Datos de la instalación hidráulica:

- Caida neta;
- Caudal nominal;
- Características de la tubería forzada;

Material (módulo de elasticidad),  
 Diámetro interior,  
 Espesor,  
 Longitud.

b) Datos del grupo hidráulico:

- Potencia nominal,
- Velocidad nominal,
- Producto de inercia.

c) Otros datos:

- Tipo de Carga,
- Producto de inercia del volante.

Los valores de los datos anteriores, que son fundamentales para proporcionárselos al fabricante, se deducen del estudio hidrológico y del grupo hidráulico, a excepción del tipo de carga.

Para definir el tipo de carga del sistema, fue necesario aplicar la metodología siguiente:

### 5.1) FLUJO DE CARGA

Para este estudio, se corrió un flujo de Carga del circuito primario, para los años 1993 y 1994, en condiciones de máxima potencia. La razón por la cual se corrió para este caso específico, es que en estas condiciones la central registra las perturbaciones más críticas de inestabilidad (regulación de voltaje y frecuencia mala).

La finalidad de correr el flujo de carga es para determinar las condiciones de operación del sistema, así como el valor de la demanda de potencia activa y reactiva que exige la red.

La metodología utilizada para determinar todos los valores necesarios para realizar el flujo de carga fue la siguiente:

a) Determinar la potencia suministrada por la fuente para los años 1993 y 1994:

La medición se realiza en la central por medio de un contador de consumo de energía con demandómetro incorporado; las lecturas no son muy confiables, debido a que estos aparatos de medición se encuentran afectados; la lectura se realiza por consumo y demanda máxima en forma diaria y mensual.

La potencia requerida en condiciones de demanda máxima para el año 1993 fue de 220.12 kW, y para el año 1994 fue de 211.10 kW

b) Determinar las cargas

En los registros de la EEMSM, se encuentran los datos estadísticos del consumo de energía de los usuarios, para lo cual se seleccionaron para los años 1993 y 1994 los meses de mayor demanda. A cada nodo, transformadores en este caso, se le asignó la carga de cada usuario, así también, la carga que representa el alumbrado público.

La energía requerida en condiciones de demanda máxima para el año 1993, fue de 88,230.00 kWh, y para el años 1994, de 76,922.00 kWh. Con esta información, se determinó el factor de carga del sistema, utilizando la expresión:

$$FC = \text{Energía en kWh} / (\text{Potencia Max. en kW} * \text{Tiempo})$$

en donde:

Energía en kWh: la energía total consumida por el sistema;  
Potencia Max : la potencia requerida y  
Tiempo : el tiempo transcurrido durante un mes.

Fue FC para el año 1993 de 0.57 y para 1994 de 0.51.

c) Obtener y verificar la topografía de la red: en una inspección visual y con la colaboración del personal de la EEMSM, se recolectó la información siguiente, donde se incluyen todos los componentes de la red:

- tipos de conductor;
- tipos y capacidades de los transformadores;
- número de fases por ramal,
- tipos de estructuras utilizadas;
- longitud de ramales;
- voltaje de operación;
- ubicación de cargas.

En el anexo 2 figura 2, puede observarse el diagrama unifilar del sistema; así también, en los anexos 3 y 4, se muestran las características de los conductores y de las estructuras.

### 5.1.1) ANALISIS DEL FLUJO DE CARGA

Para los propósitos de este estudio, la finalidad de correr el flujo de carga es para determinar las condiciones de operación del sistema, principalmente para determinar el valor de la demanda de Potencia Activa y Reactiva que exige la

red.

El resumen de las condiciones para las cuales se plantearon los flujos de carga, para los años 1993 y 1994, se muestran en los cuadros No. 6 y No. 7:

DESCRIPCION: 1993	VALOR
Potencia activa suministrada por la fuente	220.12 kW
Potencia reactiva suministrada por la fuente	128.49 kVAR
Demanda de potencia activa	212.76 kW
Demanda de potencia reactiva	131.86 kVAR
Pérdida de potencia activa	7.36 kW
Pérdida de potencia reactiva	1.71 kVAR
Longitud conductor cobre 8 AWG	9.08 km
Longitud conductor ACSR 1/0	3.42 km

CUADRO No. 6

DESCRIPCION: 1994	VALOR
Potencia activa suministrada por la fuente	211.10 kW
Potencia reactiva suministrada por la fuente	123.00 kVAR
Demanda de potencia activa	203.91 kW
Demanda de potencia reactiva	121.39 kVAR
Pérdida de potencia activa	7.19 kW
Pérdida de potencia reactiva	1.61 kVAR
Longitud conductor cobre 8 AWG	9.08 km
Longitud conductor ACSR 1/0	3.42 km

CUADRO No. 7

Los anteriores resultados han sido corroborados mediante los registros estadísticos del alimentador; en este caso la Castalia, por lo que tienen validez.

El reporte del flujo de carga, para cada caso analizado, se encuentra en el anexo No. 5.

## 5.2) INSPECCION VISUAL EN EL AREA

Con la finalidad de determinar el tipo de equipo eléctrico y electrónico instalado en la red; se aplicó una encuesta a los usuarios y una inspección visual en el área. Los datos obtenidos sirvieron como base para definir, posteriormente, el tipo de carga que éstos representan.

En el Cuadro No. 8, se detalla el equipo industrial y comercial existente en la red, el cual es usado en los talleres mecánicos, molinos, fábricas de block, carpinterías y bombeo de agua:

CANTIDAD	DESCRIPCION	POTENCIA HP
7	Soldaduras Eléctricas	1
7	Compresores	1
6	Motores	1
6	Motores	5
3	Motores	3
2	Motores	1.5
1	Motores	50

CUADRO No. 8

Además del equipo anterior, hay que agregar los electrodomésticos utilizados por los usuarios en las residencias y la forma con que se iluminan éstos recintos. En el cuadro No. 9, se detalla el porcentaje de utilización, según los datos obtenidos en la encuesta efectuada a 100 usuarios:

DESCRIPCION	%
ILUMINACION INCANDESCENTE	84.85
ILUMINACION MIXTA (INCANDESCENTE Y FLUORESCENTE)	15.15
RADIOGRABADORAS Y COMPONENTES	37.87
TELEVISORES	86.36
PLANCHAS DE ROPA	78.78
REFRIGERADORAS	68.18
LICUADORAS	56.06
CALENTADORES DE AGUA	21.21
RASURADORAS	13.78
BATIDORAS	11.62
SECADORAS DE PELO	9.06
LAVADORAS	8.16
OTROS: COMPUTADORAS, EXTRACROES, HORNOS, TOSTADORES, ETC.	2.46

CUADRO No. 9

### 5.3) DEFINICION DEL TIPO DE CARGA

Antes de definir el tipo de carga, es necesario enfati-

zar los siguientes comentarios:

- Se sabe que la red no posee bancos de capacitores,
- La impedancia de los transformadores es aproximadamente inductiva,
- La impedancia de las líneas es aproximadamente inductiva,
- La impedancia que representa al alumbrado público es aproximadamente inductiva.

Con base en los datos representados en los cuadros 8 y 9 del apartado 5.2, y teniendo en cuenta los anteriores comentarios, se puede asegurar que de los valores obtenidos en los flujos de carga para la potencia suministrada por la fuente, la potencia reactiva es netamente INDUCTIVA, y de la potencia activa resistiva.

Lo anterior significa que la carga instalada en la red hace que la onda de corriente en los bornes del generador de la Castalia, se retrase respecto a la onda de voltaje, lo cual es representativo de una carga INDUCTIVA.

## 6) SISTEMA DE REGULACION EN LA P.C.H. LA CASTALIA

En este apartado, se define el sistema de regulación que antiguamente poseía la P.C.H. la Castalia al iniciar sus operaciones, posteriormente se describe la forma actual de regulación, así como los problemas que se encuentran al efectuar la regulación por procedimientos manuales.

Debido a que la regulación es manual y no responde a los estándares establecidos, se considera como poco confiable; esto significa que está exenta de respuesta rápida, calidad, eficiencia y exactitud, razón por la cual se registran valores de frecuencia demasiados críticos.

### 6.1) REGULADOR OLEO-MECANICO

Este sistema fue suministrado con la unidad generadora; tenía por finalidad de mantener la rotación y por lo tanto la frecuencia dentro de límites permisibles, en función de la variación de la demanda de la red eléctrica.

El regulador de velocidad que utilizava la P.C.H. la Castalia es de tipo Oleo-Mecánico. La marca es "JMVOIH, GMBH HEIDEMBEIM BRENZ". Este está construido por un servomecanismo accionado por óleo-presurizado, comandado por un péndulo centrífugo. El péndulo que detecta cualquier variación de velocidad (rotación) de la unidad generadora, causada por la variación de carga de la red, el cual pone en funcio-



namiento el servo-mecanismo de accionamiento del distribuidor de la turbina. El distribuidor regula el flujo de agua a través de la turbina, y se controla de este modo la variación de potencia de la misma, de acuerdo con la variación de carga de la unidad.

El trabajo necesario para mover el distribuidor de la turbina, de la posición de cierre hasta la abertura máxima, bajo caídas máximas, es llamado trabajo de regulación de la turbina, y es medido en kg.m.

Este regulador se define como un sistema de gobernación de velocidad en el cual la señal de control en posición es proporcional al error de velocidad. Las señales de estabilización y compensaciones auxiliares son desarrolladas mecánicamente, y actúan sobre las paletas de la turbina.

Los elementos o bloques que conforman este sistema de regulación se componen de:

- a) El detector de velocidad o péndulo centrífugo acoplado al eje: directamente por bandas, o por un motor asíncrono con pequeños deslizamientos (0.1 a 0.2%); utiliza el principio de masas giratorias y resortes como lo muestra la figura 2.1.
- b) El mecanismo de control consta de: mecanismos de varillaje, servomotores, etc., que relacionan el desplazamiento del péndulo con la posición referencial de velocidad (comparador) para identificar un error en posición, que a su vez controla el sentido del aceite al servomotor de control de la posición angular de las paletas de la turbina.

El elemento actuante que mueve los mecanismos para el control de la posición angular de las paletas de la turbina, debido a la acción del control del gobernador que consiste de un servomotor de fuerza.

## 6.2) REGULACION ACTUAL DE LA CENTRAL

Debido a que el regulador Oleo-Mecánico se encuentra averiado, la regulación se lleva a cabo por medio de un operador de turno; se elimina de esta forma toda posibilidad de servicio automático.

Cuando los requerimientos de energía determine una pronta restauración de la frecuencia, el operador de turno puede elegir entre dos métodos manuales para lograr tal objetivo:

- a) Manjibrar el mecanismo de varillaje, que hace variar la posición angular de las paletas distribuidores de agua de

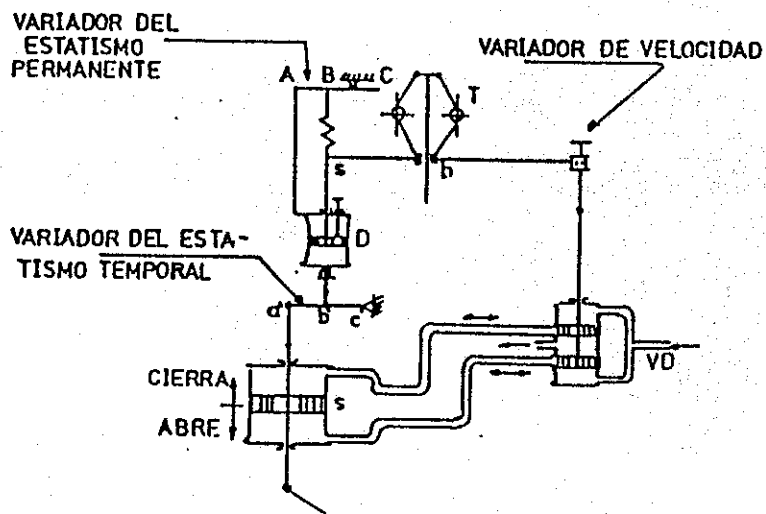


Figura 2.1 Esquema de un Regulador Oleo-mecánico.

la turbina. Este es el que se utiliza diariamente...

- b) Maniobrar la válvula de la tubería de presión, estando las paletas distribuidoras en una posición angular determinada. Este método se utiliza cuando las paletas distribuidoras no responden al esfuerzo hecho por el operador y se requiere una estabilización inmediata.

### 6.3) PROBLEMAS EN LA REGULACION

Debido a que no intervienen elementos eléctricos y electrónico, la respuesta de regulación es lenta y no precisa. A continuación, se describen los problemas que día a día agobian al personal en turno de la casa de máquinas de la central, por carecer de un sistema automático de regulación:

- a) Uno de los problemas más serios es la falta de precisión de los instrumentos de medición. El frecuencímetro por tener un tiempo de utilidad considerable se encuentran en mal estado.

El operador realiza la operación observando constantemente el instrumento, sin embargo, no sabe si es o no exacta la lectura, por lo tanto, no se puede garantizar 60 Hz.

- b) Debido a que no existe un sistema de alarma que indique variación de frecuencia, cuando el operador de turno no se encuentra en la sala de máquinas; la probabilidad de restablecer de inmediato el valor de la frecuencia es pequeña.
- c) La falta de un mantenimiento específico del regulador y tomando cuenta el año de fabricación del mismo, el mecanismo de varillaje se encuentra en mal estado, por lo que en determinados casos se requiere un mayor esfuerzo para maniobrarlo, de lo cual resulta una respuesta lenta.

### 7) VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACION DE UN SISTEMA DE REGULACION

En este apartado, se establecen las ventajas y desventajas que se obtienen al utilizar un Sistema de Regulador independientemente, si es con control positivo de flujo ó con dissipación de carga.

### 7.1) VENTAJAS

- a) Regular la frecuencia en un sistema aislado o interconectado, con un estatismo adecuado, el cual es ajustado manualmente desde el pánel frontal del regulador,
- b) Regulación de la frecuencia con suficiente estabilidad y toma de carga en red interconectada,
- c) Operar la central, en parte de manera automática sin necesidad de personal de operación, se lograría modernizar en cierto grado la instalación.
- d) Reducir los trabajos y costos de mantenimiento a un mínimo, y simplificar fuertemente la detección de averías mediante una amplia documentación,
- e) La tecnología electrónica permite fácilmente conseguir precisión y resolución, desde el punto de vista de respuesta rápida ante una variación de carga.
- f) Desde el punto de vista de construcción, los reguladores eléctricos-electrónicos poseen un alto control de calidad en su fabricación, así como un alto nivel de diseño; esto significa que se puede calificar como óptimos en su operación y se garantiza una vida útil considerable, por lo que no se haría una mala inversión al adquirir uno.
- g) Por lo altos controles ecológicos, la central no presentaría problemas de este tipo, ya que estos reguladores no presentan ningun problema de contaminación.
- h) La modularidad de la central, por tener éstos dimensiones pequeñas.

### 7.2) DESVENTAJAS

Las necesidades de explotación actuales y el desarrollo de la tecnología más eficientes permitirían la adaptación de un regulador de frecuencia y mejorar las características operativas de la central, lo que conduce a una explotación más económica y fiable de la energía.

Con base en el comentario anterior, un sistema de regulación eléctrico-electrónico, jams podria traerle desventajas a la unidad generadora, si ésta fuera provista de uno.

## CAPITULO III

## DEFINICION DE LA METODOLOGIA PARA LA SELECCION

## 1) GENERALIDADES

A continuación, se hace un análisis de las características de los parámetros, con base en los cuales se puede realizar la selección de un regulador eléctrico-electrónico con control positivo de flujo o con disipación de carga.

Por parámetros, se entiende el hecho de definir un conjunto de características propias de los dos sistemas de regulación (disipación de carga y control positivo de flujo), con la finalidad de evaluarlos y elegir el que mejor se adapta a la P.C.H. la Castalia.

De los criterios expuestos en el capítulo I, y considerando las características que cumplen cada controlador, la selección del sistema de control es usualmente un compromiso entre la calidad de control que se desea. De este modo en el presente trabajo de tesis, se adoptó que todas las consideraciones que se hagan serán asumiendo un regulador con un control PID, para tener así un compensador de mejor flexibilidad en el control del proceso. Además, este esquema permite la facilidad de adaptación para el funcionamiento interconectado en caso de necesitarlo.

En el capítulo II, se indicó que para los fines de este estudio la central, se ha considerado aislada del sistema nacional interconectado. Además, en este capítulo se asumirá que las condiciones de la misma son buenas por lo que la selección del sistema de regulación es independiente del estado actual de la central.

## 2) PARAMETROS A EVALUAR

Como posibles características o parámetros fundamentales, con base en los cuales se realiza la selección, se pueden mencionar las siguientes:

- a) variación promedio de la carga útil,
- b) exactitud de la regulación,
- c) estabilidad en la regulación,

- d) respuesta en la regulación,
- e) vida útil,
- f) seguridad de la instalación,
- g) construcción, y
- h) mantenimiento.

### 3) ANALISIS DE PARAMETROS

#### REGULADOR DE VELOCIDAD ELECTRICO-ELECTRONICO CON CONTROL POSITIVO DE FLUJO:

##### a) VARIACION PROMEDIO DE LA CARGA UTIL

Recordemos que la P.C.H. la Castalia posee una potencia nominal pequeña, así durante las primeras horas de la noche muchas viviendas y locales comerciales simultáneamente requieren de energía, y esto da lugar a grandes variaciones de la carga útil. Este problema es resuelto sin ninguna dificultad debido a que este regulador posee un sistema de control de tipo PID.

El fabricante, de hecho le da mayor posibilidad de variación de parámetros en la parte electrónica, de modo que los reguladores puedan adaptarse a las variaciones de carga.

##### b) EXACTITUD

El sistema de control PID hace posible que este regulador alcance el objetivo de restaurar la frecuencia con una buena exactitud. Se aprecia que el esquema de control PID puede llegar a obtener una regulación óptima.

##### c) ESTABILIDAD

Una característica del sistema de control PID del regulador es garantizar que la frecuencia sea controlada y restaurada, sin obtener ninguna clase de desbalances que den indicios de inestabilidad, por lo que en el proceso de regulación se obtiene una óptima estabilidad.

##### d) RESPUESTA

El sistema de control PID restaura en un intervalo de tiempo muy corto el valor de la frecuencia, por lo que resulta obtener una respuesta rápida en la regulación ante cualquier variación de carga. Con esta característica,

este regulador resulta ser muy confiable.

e) VIDA UTIL

Debido en gran parte a un sofisticado diseño eléctrico, electrónico y mecánico, así como de un buen proceso de fabricación, mantenimiento y operación, se puede calificar a la vida útil como grande.

f) SEGURIDAD DE LA INSTALACION

Ante un desbalance de carga, los tiempos de cierre del mecanismo de control de flujo de la turbina se encuentran dentro de los límites recomendados. Además, este regulador garantiza que las máximas elevaciones de presión y temperatura de la turbina, y de la velocidad del grupo que siguen a la acción del regulador, se encuentran dentro de los límites prefijados, para lo cual éste se ha dotado con un buen sistema de protección, el cual incluye entre otras cosas alarmas y arreglo de interruptores.

g) CONSTRUCCION

El diseño procura ser inmune a la tolerancia de los componentes a variación de temperatura, y a variación de tensión.

La construcción del regulador se divide básicamente de las tres partes en que se conforma: la etapa eléctrica, electrónica y la de fuerza constituida por el servomotor hidráulico piloto y fuerza.

Todos los componentes del regulador, incluyendo el sistema de protección, van alojados en un armario estandarizado. El dimensionamiento del armario y bastidor principal, así como de los paneles están de acuerdo con las normas BS5954 PART: 1976 E297, por lo que este armario no es tan modular.

h) MANTENIMIENTO

El mantenimiento de este tipo de regulador es muy reducido y existe una facilidad de mantenimiento para que personal no especializado lo efectúe.

REGULADOR DE VELOCIDAD ELECTRICO-ELECTRONICO CON DISIPACION DE CARGA:

a) VARIACION PROMEDIO DE LA CARGA UTIL

Es importante mencionar que los estudios de diseño del sistema permite la variación de carga útil de extremo a

extremo, es decir, de 0 kW a potencia máxima implementada al ser un sistema de regulación enteramente sólido y electrónico, lo que determina que la estandarización de los módulos del sistema de control (PID) sea el mismo para cualquier potencia y el circuito de potencia y carga resistiva, dependa de la carga útil que va a servir.

#### b) EXACTITUD DE LA REGULACION

Haciendo referencia a los argumentos dados en el párrafo anterior, se puede apreciar que el esquema de control PID es muy importante, y considerando el hecho de mayor posibilidad de variación de los parámetros de compensación en el circuito electrónico, el regulador puede adaptarse a la variación de carga, por lo que se puede llegar a una regulación óptima, es decir, una gran exactitud en mantener la potencia generada constante.

#### c) ESTABILIDAD

Para este caso específico de regulador, en donde los circuitos de control son enteramente electrónicos, son implementados con compensadores, con el fin de mejorar, garantizar y optimizar específicamente la estabilidad del sistema de regulación.

#### d) RESPUESTA

Para este regulador de carga, en donde los circuitos de control son enteramente electrónicos, son implementados con compensadores, con el fin de mejorar, garantizar y optimizar la velocidad de respuesta del sistema de regulación.

#### e) VIDA UTIL

Debido en parte a un gran diseño electrónico y eléctrico, así como de un buen proceso de fabricación, de mantenimiento y operación, se puede calificar a la vida útil como grande.

#### f) SEGURIDAD DE LA INSTALACION

Como no existe control sobre el flujo de carga a la turbina, el diseño involucra un módulo de protección de la carga y del regulador, lo que determina que la turbina y generador pueden soportar embalamientos hasta de 200% de la velocidad nominal.

El sistema de protección que posee este regulador está provisto de alarmas y arreglo de interruptores, con la finalidad de proteger los equipos caseros del consumidor, ante una variación de la frecuencia, en la cual los valo-



res que registra se han salido de los límites establecidos. Así también, se protege al generador ante la presencia de una sobrecarga.

#### g) CONSTRUCCION

La construcción del regulador electrónico de carga se divide básicamente en las 3 partes fundamentales: la etapa de Control, de Potencia y los paneles de carga auxiliar o servicios auxiliares. Estas tres partes se alojan en un armario estándar, más el sistema de protección.

Como no existe sistema de servo-motor de control de velocidad de giro de la turbina, el armario es aún más modular. El dimensionamiento del armario, así como de los paneles, están de acuerdo con las normas BS5954: PART: 1976 E297.

#### h) MANTENIMIENTO

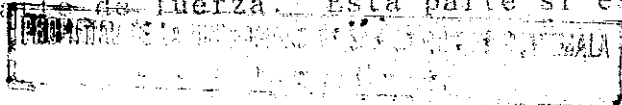
Con este sistema de regulación, se consigue un menor mantenimiento preventivo, aun por personal no especializado.

#### 4) EVALUACION: REGULADOR DE VELOCIDAD ELECTRICO-ELECTRONICO CON CONTROL POSITIVO DE FLUJO

Es importante reconocer que un tipo de regulador de velocidad, como el tratado en el presente trabajo, está compuesto de tres partes fundamentales. La primera es la parte puramente electrónica; esta parte puede ser común para todos los reguladores de velocidad estandarizados, ya que sería independiente del tamaño de la P.C.H. y con cierta posibilidad de adaptación en lo que se refiere al punto de realimentación de la señal de potencia generada medida, ya sea con la alternativa que se enfoca en este estudio (realimentación hacia la señal de voltaje a la salida del circuito PID) o sea con la realimentación a la salida del circuito comparador; esta parte electrónica pura puede ser utilizada para los tipos más comunes de turbinas usadas en las P.C.H., las cuales son: tipo Pelton, Michell-Banki y FRANSIS.

La segunda parte es la parte eléctrica que está constituida por el servomotor eléctrico. En cierto modo, su tamaño depende de la potencia de la P.C.H., pero con un buen criterio de estandarización, se podría sobredimensionar en lo que a capacidad de fuerza se refiere y de este modo se podría utilizar para la mayoría o para todo el grupo de P.C.H. En esta forma, la parte electrónica y eléctrica podrían ser universales para todas las P.C.H.

La tercera, es la parte de fuerza. Esta parte sí es al-



tamente dependiente de la potencia del grupo turbina-generador, de modo que no puede ser única para todo el conjunto de P.C.H. La parte de fuerza si necesitaría ser fabricada tomando como base la característica potencia del grupo.

De los argumentos dados en los párrafos anteriores, se puede afirmar que este sistema de regulación sí es adaptable al grupo Turbina-Generador de la P.C.H. la Castalia.

Existen varios puntos que son muy importantes y que respaldan lo antes dicho:

- a) Este tipo de regulador de velocidad es bastante conocido y se tiene una experiencia e información a nivel mundial, para su diseño y construcción.
- b) La P.C.H. la Castalia pueden llegar a funcionar en forma interconectada, por lo que este sistema puede ser fácilmente incorporado para esta forma de funcionamiento.
- c) Sus dimensiones físicas comparadas con el otro tipo de regulador (de carga) son mayores, pero no representa un obstáculo para su implementación.
- d) Los materiales utilizados en su fabricación son de alta calidad, debido a que responden a las normas internacionales, por lo que garantizan su adquisición por varios años.
- e) Dada su característica de control de flujo de agua a la turbina, la central en ningún momento estaría operando a plena carga, con lo cual no se amenazaría la vida útil de la central.

#### 5) EVALUACION: REGULADOR DE VELOCIDAD ELECTRICO-ELECTRONICO CON DISIPACION DE CARGA

Se sabe que este sistema de regulación está formado por 3 partes fundamentales. La primera es la parte de detección de las variables y procesamiento de información, y está concebido para ser común para todos los reguladores de velocidad estandarizados, ya que es independiente del tamaño o potencia de la P.C.H., y con la posibilidad de adaptación de un regulador sin compensación de corriente.

La segunda parte es el circuito de potencia, que depende su dimensionamiento de la potencia del generador entregado. La estandarización de las placas impresas, donde se montan los elementos periféricos del tiristor, podrán servir para la mayoría de las P.C.H. y los tiristores o triacs, necesariamente están ubicados aparte con sus disipadores, lo que involucra que sea altamente dependiente de la potencia.

La tercera parte lo constituyen los p neles de resistores, cargas auxiliares o servicios auxiliares, cuya construcci3n deberá ser también estandarizada, de acuerdo con la potencia generada por la central.

Se puede observar que este sistema de regulaci3n es adaptable al grupo de la Castalia, y se da un dimensionamiento especial a los últimos dos componentes del regulador, ya que éstos dependen mucho de la potencia generada.

Ahora bien, se ha mencionado que sí se puede adaptar al grupo este sistema de regulaci3n, sin embargo, existen varios puntos muy importantes en los cuales se basa la no adquisici3n del mismo; son éstos:

- a) Este tipo de regulador no es muy conocido y se tiene muy poca experiencia e informaci3n a nivel mundial, para su diseño y construcci3n.
- b) Dada la característica del control de disipaci3n de carga, la central estará todo el tiempo operando a plena carga con la posible reducci3n de su vida útil.
- c) Este sistema requiere de cargas auxiliares; en nuestro caso son servicios auxiliares (bombeo de agua) que deben tener la capacidad de consumir toda la potencia generada. Sin embargo, ésta no se encuentra en la capacidad de absorber la potencia generada, por lo que no se aconseja este tipo de carga auxiliar.
- d) Considerando las costos de implementaci3n de la central más los costos de operaci3n principalmente por la energía hidráulica utilizada a un flujo constante y tomando en cuenta las horas en las cuales no se utiliza la energía generada, se determina que a potencias mayores de 150 kW, los costos de construcci3n y operaci3n sean altos, y no justificaria su implementaci3n, sino más bién cualquier tipo de regulador con control positivo de flujo, o simplemente sincronizar al grupo al sistema nacional interconectado.

## 6) REGULADOR PARA LA P.C.H. LA CASTALIA

De lo expuesto en el capítulo I y de los argumentos dados en el apartado 3) de este capítulo, el Regulador Eléctrico-Electr3nico con Control Positivo de Flujo reúne las mejores condiciones de operaci3n, mantenimiento, vida útil, construcci3n, protecci3n, instrumentaci3n; sobre todo, porque permite un útil aprovechamiento de la energía, para ser implementado en la P.C.H. la Castalia.

A continuación, se presentan dos marcas de reguladores de este tipo, los cuales se encuentran estandarizados para las P.C.H. de 5 a 5000 kW:

a) MARCA GEL ALSTHOM

b) MARCA OSSBERGER

Estos reguladores se definen como sistemas de goberna- ción de velocidad, en los cuales la señal de control electróni- co es proporcional al error de velocidad o de frecuencia, y la compensación es procesada eléctricamente para ser amplifi- cada hidráulicamente y actuar sobre las paletas distribuido- ras de la turbina.

El principio de funcionamiento de estos sistemas se ha descrito en detalle en el apartado 2.2 del capítulo I.

Por ser dos sistemas estandarizados, el diagrama de blo- ques lo es también, por lo que los bloques funcionales son:

- sistema de detección y conversión,
- convertor de posición,
- circuito compensador,
- circuito PID,
- servomecanismo eléctrico,
- servomecanismo hidráulico,
- sistema de tubería de presión,
- fuente de potencia,
- circuito hidráulico,
- sistema de seguridad,
- elemento actuante;

en la figura 2.3 se aprecian estos componentes.

Las partes fundamentales siguen siendo las mismas que se han analizado en el capítulo I, las cuales son:

- parte electrónica,
- parte eléctrica y
- parte mecánica.

La figura 2.29 muestra el esquema funcional de realimen- tación que utilizan.

A continuación, se presentan ciertas características propias de las dos marcas antes mencionadas:

a) Marca GEL ALSTHOM. tipo MICROBAC, con módulo DIGIPID 1000 con esquema de control PID, que optimiza la secuencia de arranque, puesta en frecuencia y coincidencia de fase, no siendo necesario un sincroacoplador exterior, y se preci- sa tan sólo un acoplador.

La configuración de frecuencia y fase de red y generador, se realiza a partir de sendos transformadores, tomando en DIGIPID la señal de sus secundarios.

El arranque puede ser realizado también manualmente desde el pánel de mando. DIGIPID 1000 está asimismo preparado para recibir o transmitir teleindicaciones vía comunicaciones serie.

La parada instantánea por avería mecánica en el grupo de paletas distribuidoras será automáticamente y ordenada por los dispositivos de seguridad de los mismos.

Para evitar que cualquier causa el grupo pueda quedarse girando en vacío acoplado a la red, se recomienda que se incluya en el equipo eléctrico un dispositivo detector de potencia inversa que provoque la apertura del disyuntor.

La turbina y las paletas distribuidoras serán gobernadas mediante un sistema de aceite a presión con electrodistribuidores.

Ventajas: modularidad que confiere al Microbac una universalidad de empleo, regulación de turbinas de potencia moderada, control hidráulico de las paletas distribuidoras de la turbina, y toda aquella aplicación que necesita aceite bajo presión, ahorro, concepción optimizada, fabricación estandarizada y mantenimiento muy reducido.

Opciones: recarga intermitente del acumulador de mando hidromecánico y eléctrico, mando del órgano de protección, otros mandos, bomba manual de emergencia, calentador a inmersión, motores eléctricos de corriente continua, cubierta de protección cofre para arranque de bamba, cableado de relés.

En las figuras 3.1, se observa físicamente este regulador; en la figura 3.2, sus componentes y dimensiones.

- b) Marca OSSBERGER, tipo "S", con módulo que posee un esquema de control PID.

Se aplica especialmente para las pequeñas turbinas. Se utiliza para el mando de órganos de regulación, que permite la respuesta en velocidad del grupo.

Este sistema es redundante, es decir, que puede operar en un sistema aislado o sincronizado a un sistema interconectado.

Este regulador se alimenta en tensión continua no polarizado; tres gamas de tensión son posibles 24/48/72 V en cc. En la figura 3.3, se observa físicamente este regulador.

# SISTEMA DE REGULACION PARA TURBINAS HYDRAULICAS

*Microbac*

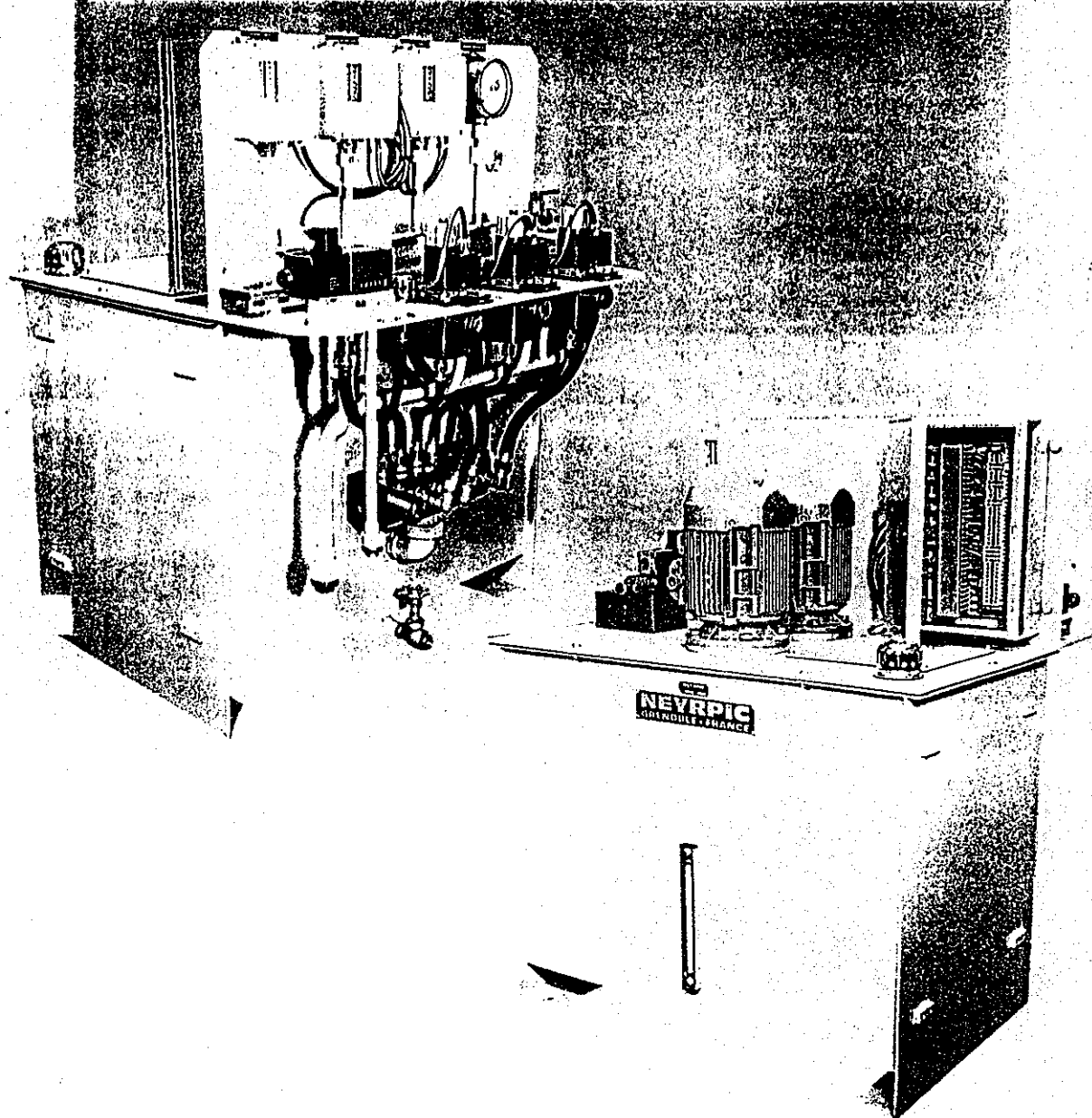
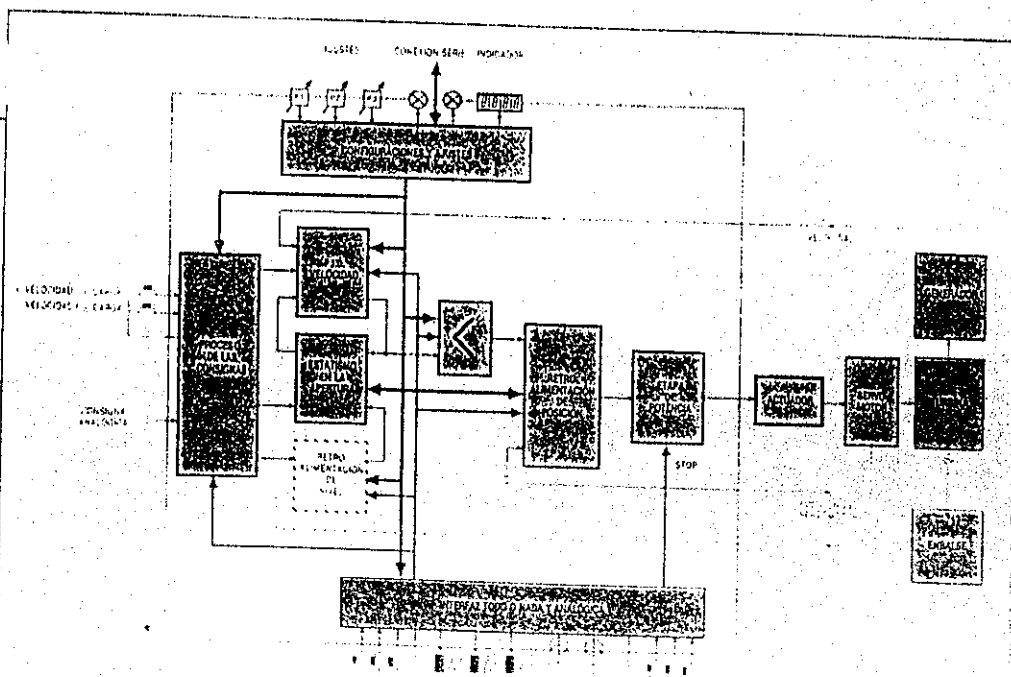


Figura 3.1.A



**FUNCIONAL**

La estructura funcional adoptada permite optimizar sin interacciones mutuales respuestas de:

- la regulación de velocidad,
- la retroalimentación de posición,
- la retroalimentación de nivel (en opción),

permite igualmente ajustar la toma de carga.

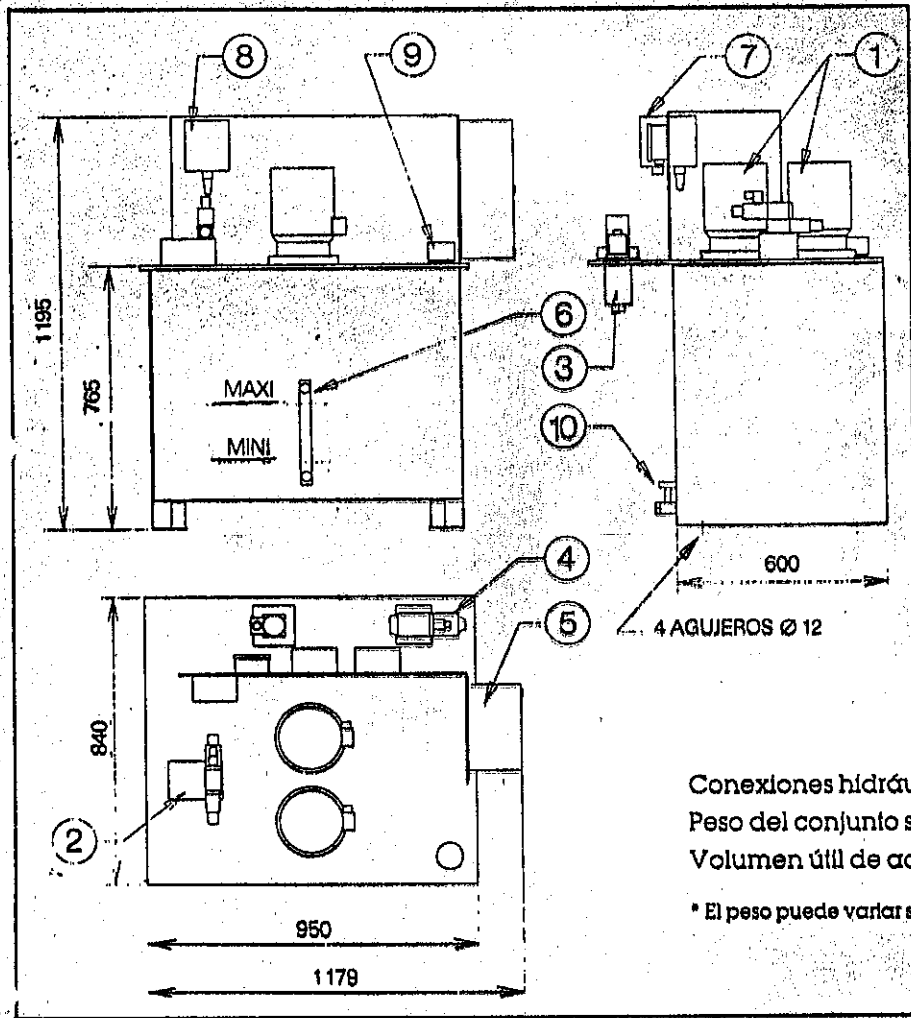
El algoritmo de regulación de velocidad es un P.I.D. específico cuyo comportamiento se adapta en función de las perturbaciones.

**EQUIPO LÓGICO**

El equipo lógico está organizado en tareas según la estructura funcional antes descrita.

La ejecución de estas tareas es controlada por un monitor en tiempo real que optimiza el tiempo de ejecución de las acciones. La organización construida permite las características de respuesta más

Figura 3.1.11



- ① Grupo electrobomba
- ② Dispositivo de intermitencia + válvula de seguridad
- ③ Mandó órgano de reglaje
- ④ Mandó órgano de guardia
- ⑤ Cobre de conexión eléctrica
- ⑥ Indicador de nivel de aceite con contacto
- ⑦ Manostato - Manómetro
- ⑧ Termostato
- ⑨ Filtro de llenado y filtro de aire
- ⑩ Válvula de descarga

Conexiones hidráulicas, 3/8" - 1/2" - 3/4" - 1"

Peso del conjunto sin aceite, 300 KG\*

Volumen útil de aceite, 230 dm<sup>3</sup>

\* El peso puede variar según el equipo.

Figura 3.2



# Sistemas reguladores

## OSSBERGER

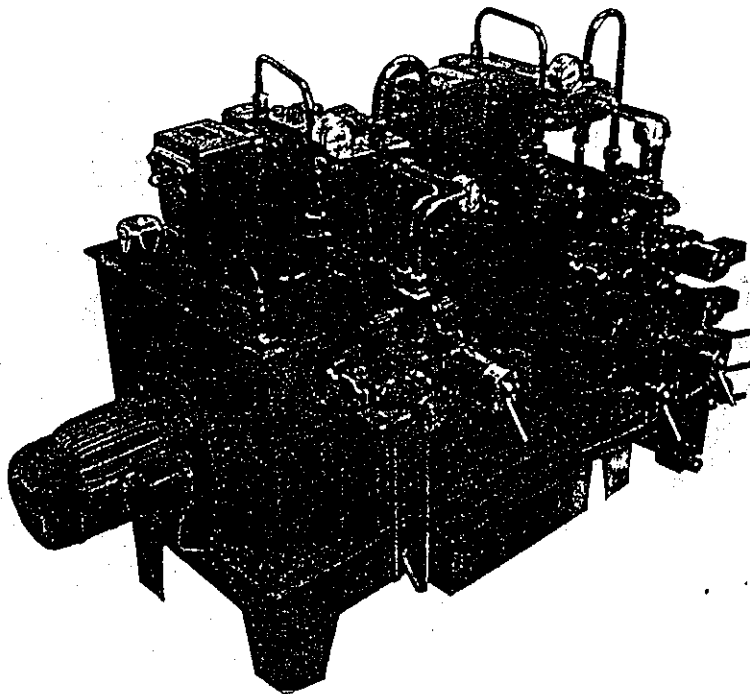
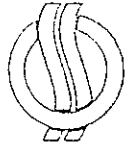
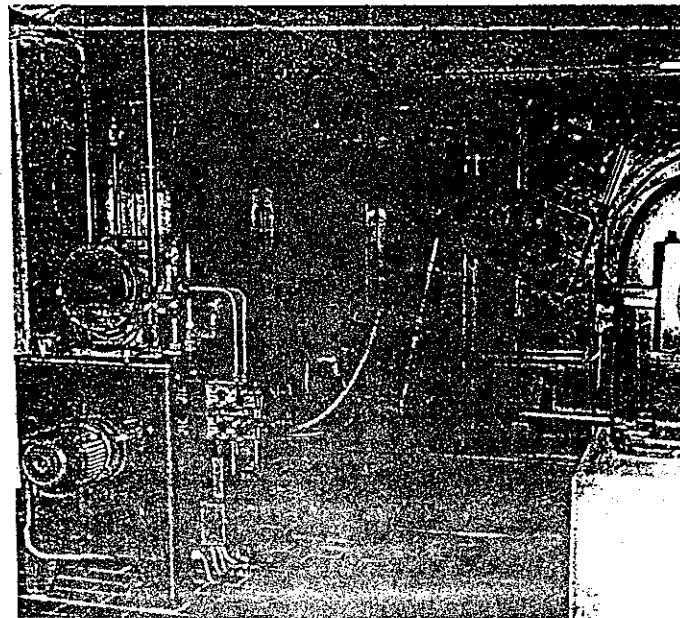
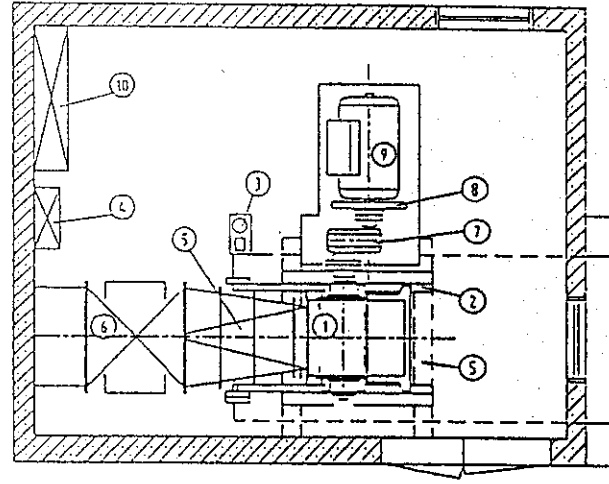
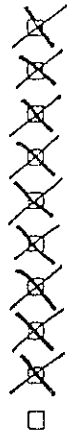


Figura 3.3.A



OSSBERGER

- ① Turbina OSSBERGER
- ② Bastidor
- ③ Regulador (hidráulico)
- ④ Regulador (eléctrico)
- ⑤ Adaptador/tubo de aspiración
- ⑥ Válvula de cierre
- ⑦ Multiplicador con engranajes
- ⑧ Volante
- ⑨ Generador
- ⑩ Armario de potencia



Regulador OSSBERGER

Figura 3.3.B

## CONCLUSIONES

- 1) Del análisis hecho en el capítulo I, se observa que cada sistema de regulación está compuesto por 3 partes fundamentales:

a) Regulador de velocidad con control positivo de flujo

Formado por la parte electrónica, parte eléctrica (Servomotor) con sus conexiones a la consola y acoples a la parte de fuerza.

La primera y segunda parte podrían ser universales para todas la P.C.H., y la tercera se la podría diseñar y construir en grupos estandarizados dependientes de la potencia nominal de la P.C.H.

b) Regulador de velocidad con disipación de carga

Esta formado por la parte compuesta de una placa de detección y comparación de la frecuencia y tres de detección de corriente y compensación. Estas placas podrían ser universales, a excepción de los detectores de corriente por fase; la segunda y tercera parte se la podría diseñar y construir en grupos estandarizados, que dependen de la potencia de la P.C.H.

Desde estos argumentos, se puede ver fácilmente que la característica principal sobre el cual se realiza la estandarización de los reguladores de velocidad es la potencia del grupo Turbina-Generador.

- 2) El sistema de control PID de un regulador de velocidad es el componente de mayor importancia, ya que tiene la mezcla de una acción de control proporcional, integral y derivativo. La gran ventaja es que al tener las tres modalidades, la variable frecuencia va a ser altamente controlada en tres aspectos fundamentales: estabilidad, rapidez de respuesta, y desviación permanente nula.

Lo anterior justifica el hecho de que el tipo de control que va a seleccionarse ha sido justamente el PID, para ser usado en los reguladores de velocidad para la P.C.H. la Castalia.

- 3) Debido a las características y ventajas que representa el regulador de velocidad con control positivo de flujo, y tomando como base el resultado del análisis de los parámetros hecho en el capítulo III, se observa que la P.C.H. la Castalia permite la adaptación de este tipo de sistema, por lo que mejorarían las características operativas de la misma, y conduciría a una explotación más económica

y fiable de la energía.

- 4) - excesivo calentamiento en el generador,
- mayor desbalance en los voltajes en los bornes del generador o consumidor,
- retardo en la corrección de la frecuencia, debido a las constantes de inercia del generador
- no se garantiza que la distribución o demanda de la corriente por fase sea simétrica.

Los anteriores incisos son las razones que determinan la no utilización de un sistema de regulación con disipación de carga para el grupo Turbina-Generador de la central La Castalia, cuya vida útil se encuentra en un período crítico, es decir, que al utilizar este tipo de regulador la vida útil que le queda disminuiría a un período de tiempo muy corto.

- 5) La metodología que permite analizar las características propias de los sistemas de regulación, dada en este estudio, es de alta importancia para la selección y toma de decisiones, ya que por las necesidades que se tienen en la Hidroeléctrica la Castalia, es urgente ponerlo en práctica.
- 6) El análisis del flujo de carga, para cada caso analizado, demuestra que las condiciones operativas de la red primaria son satisfactorias, sin embargo, serían aún más perfectas, si se eliminan los conductores inadecuados de las líneas de transmisión, y se efectúa un balance de las cargas por fase.
- 7) Los reguladores de velocidad para P.C.H. están normalizados en todo el mundo, y responden a todas las normas internacionales que garantizan un buen funcionamiento, así se obtiene:

- Amplia respuesta de regulación ante variación de carga.
- Buena adaptación con el grupo (turbina y generador).

Por lo tanto si hay posibilidad de adquirir uno, es factible siempre y cuando se solicite a una compañía competente que tenga una amplia experiencia en el ramo.

## RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda efectuar los siguientes trabajos de mantenimiento periódicamente en el generador de la central:

En Estator:

- limpieza de todo sus componentes,
- cambio de cuñas de enrollados del estator,
- eliminación de huellas de humedad y óxido,
- pintar cabezales de enrollados,
- pintar la superficie interna del estator,
- hacer en cada fase pruebas de tensión continua.

En Rotor:

- limpieza de todos sus componentes,
- reparar la aislación de conductores de salida del generador,
- pintar componentes del rotor,
- reacondicionamiento de anillos deslizantes,
- ajuste de portacarbones.

- 2) Se recomienda efectuar los siguientes trabajos de mantenimiento periódicamente a la turbina de la central:

- limpieza de todos sus componentes,
- cambio de las paletas distribuidoras,
- pintar la superficie externa de la turbina,

- 3) Durante la inspección física llevada cabo en la central hidroeléctrica, se pudo detectar que los medidores tales como amperímetros, frecuencímetros, demandómetros, etc., se encuentran en muy mal estado, por lo que se recomienda un cambio total de éstos, con el fin de obtener valores reales en las mediciones con mejor precisión y definición.

- 4) Como se sabe en la central la regulación de frecuencia, se lleva a cabo por medio de dos métodos. Se recomienda efectuarla por medio de la válvula de la tubería de presión, cuando estén las paletas distribuidoras de la turbina en una posición angular fija, ya que al maniobrarlas se corre el riesgo de que se queden enclavadas a un ángulo muy pequeño, lo que no es favorable para una pronta regulación.

- 5) Durante la inspección física llevada cabo en la central hidroeléctrica, se pudo detectar que las protecciones, tanto del generador como del banco de transformadores, es muy pobre, por lo que se recomienda protegerlos de acuerdo con las normas de protección de las P.C.B.

- 6) Se debe hacer un estudio para reemplazar los conductores de cobre de las líneas de transmisión, debido a su mal estado.
- 7) Se recomienda colocar hilo de guarda para la protección de las líneas de transmisión, desde la central hasta la cabecera de San Marcos.

## GLOSARIO

**Acometida:** conjunto de conductores y componetes que se utilizan para transportar la energía eléctrica, desde las líneas de distribución de la empresa, hasta la instalación eléctrica del usuario.

**Armónica:** es una onda periódica, cualquiera de sus componentes sinusoidales, cuya frecuencia sea un múltiplo de la frecuencia fundamental.

**Carga (kW):** cantidad de potencia dada o recibida en un punto sobre un intervalo de tiempo para trasportar la energía eléctrica, desde el transformador, hasta el contador del usuario.

**Capacidad de los conductores:** se refiere a la capacidad máxima de conducción a temperatura ambiente, en los conductores eléctricos.

**Carga instalada (kVA):** es la suma de la capacidad nominal de todo el equipo que se conecta a la acometida de la empresa.

**Consumo (kWh):** la cantidad de energía utilizada durante un tiempo determinado.

**Demanda máxima (kW):** se denomina demanda máxima al valor de potencia máximo registrado durante un periodo de tiempo determinado.

**EEGSA:** Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.

**EEMSM:** Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos.

**Factor de carga:** indica la relación entre el promedio de la carga y la demanda máxima durante cierto periodo de tiempo.

**Histéresis:** fenómeno por el cual una sustancia presenta, en un momento dado, un estado que no depende sólo de la causa excitadora, sino también de los estados anteriores.

**Hp:** Caballos de fuerza.

**Hz:** Ciclos.

**INDE:** Instituto Nacional de Electrificación.

**kV:** Kilovoltios.

**kVA:** Kilovoltioamperio.

**kW:** Kilovatios.

**kWh:** Kilovatio hora. Unidad de medida de energía equivalen-

te al consumo de energía de un kilovatio durante una hora.

**Par de Fuerza:** sistema de dos fuerzas iguales en módulo, paralelas y de sentidos contrarios, que producen un movimiento rotacional.

**P.C.H.:** Pequeña Central Hidroeléctrica.

**Piezo-eléctrico:** cristal que produce una corriente eléctrica cuando se ejerce una presión sobre él.

**Potenciómetro:** dispositivo para medir diferencias de potencial.

**Servo:** subordinación de un dispositivo respecto a otro u otros.

**Servomecanismo:** sistema de mecanismos que gobiernan una determinada magnitud física en función de otra que actúa sobre el sistema, en el sentido de anular la diferencia entre el valor deseado para la primera y el obtenido realmente.

**Servo motor:** órgano motor que acciona los elementos mecánicos en los servomecanismos.

**Sincronización eléctrica:** operación que consiste en hacer corresponder en el tiempo dos o más generadores.

**Tiristor:** válvula de estado sólido.

**Transductor:** dispositivo que lleva a cabo una transducción. Está definido por una función que viene dada por la relación entre las magnitudes de entrada y las de salida.

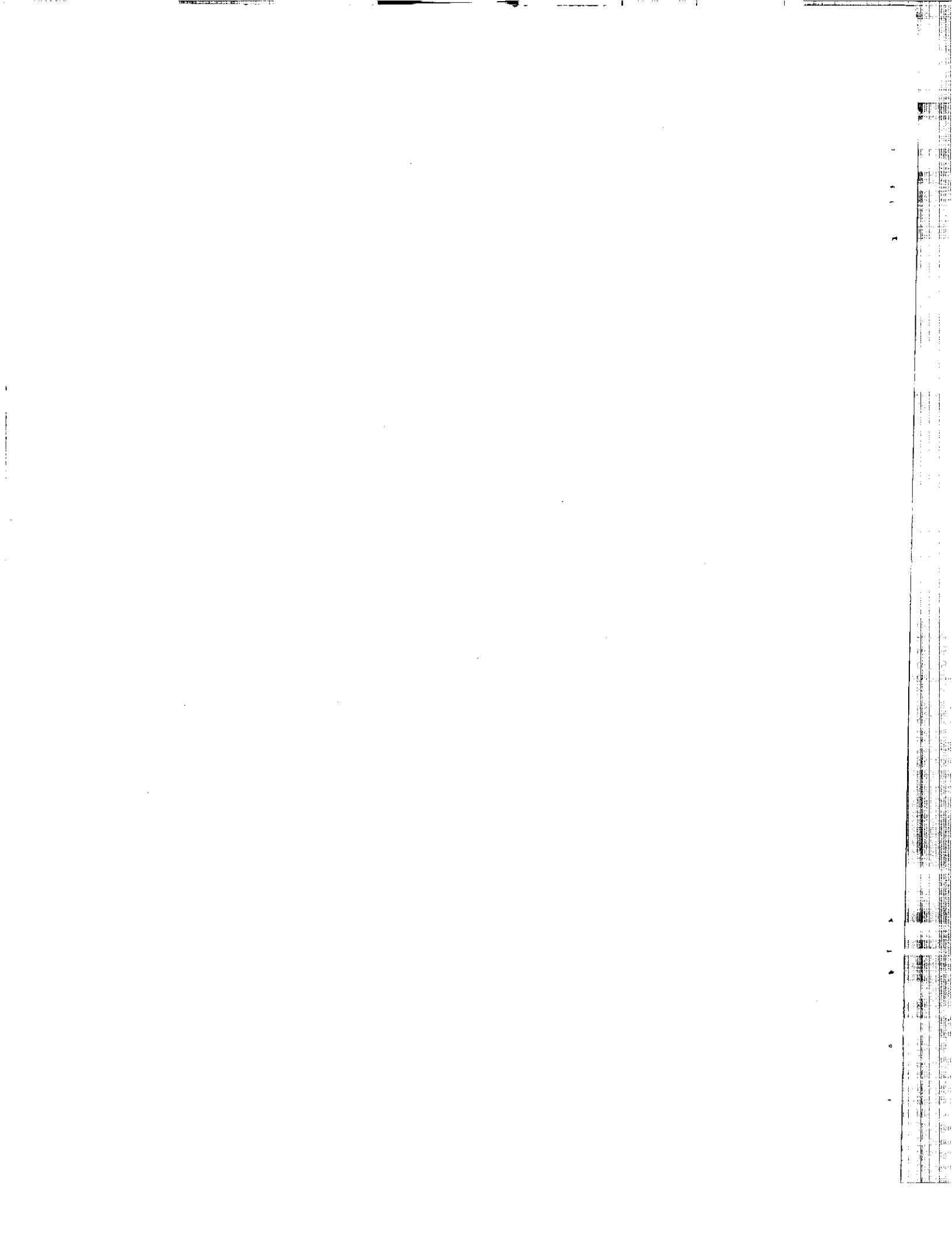
**Triac:** válvula de estado sólido.

**W:** Vatio.



## BIBLIOGRAFIA

- FITZGERALD, A.E. Teoría y Análisis de las Máquinas Eléctricas  
2a. edición. España: Editorial Hispano Europea, 1980.  
587 pp.
- HUELSMAN, LAWRENCE P. Teoría de Circuitos  
2a. edición. México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. 1988. 760 pp.
- KUO, B.C. Sistemas Automáticos de Control  
España: Editorial Continental, S.A. 1973.
- LILEN, H. Tiristores y Triacs  
España: Editorial Marcombo, S.A. 1981. 320 pp.
- RAMIREZ, V.J. Máquinas Motrices, Generadores de Energía Eléctrica. España: Editorial CEAC, 1972.
- ROSE, ROBERT M. Propiedades Electrónicas  
1a. edición. México: Editorial Limusa, S.A. 1978. 316 pp.
- STEVENSON, WILLIAM D. Sistemas Eléctricos de Potencia  
2a. edición. México: Editorial Mc. Graw Hill, 1988.  
388 pp.
- Generadores para P.C.H. Organización Latinoamericana de Energía, OLADE. Ecuador: 1989. 68 pp.
- Guía Técnica de diseño preliminar, P.C.H. Organización Latinoamericana de Energía, OLADE. Ecuador: 1989. 55 pp.
- La idea de la Energía Hidráulica Ossberger Alemania: 1990  
16 pp.
- Pequeñas Centrales Hidroeléctricas Asea Brown Boveri, ABB  
Brasil: 1994. 560 pp.
- Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, Técnica de instalaciones Estandarizada Asea Brown Boveri, ABB Suiza: 1989. 8 pp.
- Reguladores de Velocidad, Volumen V Organización Latinoamericana de Energía, OLADE. Ecuador: 1988. 210 pp.
- Reguladores de Velocidad, Volumen VI Organización Latinoamericana de Energía, OLADE. Ecuador: 1988. 188 pp.
- Revista ABB 2/94 Asea Brown Boveri, ABB. Suiza: 1994, 44 pp.
- Revista ABB 3/94 Asea Brown Boveri, ABB. Suiza: 1994, 40 pp.
- Sistemas de Regulación para Turbinas Hidráulicas Gec Alsthom  
Francia: 1994. 16 pp.



A N E X O 1



**LM2907, LM2917 Frequency to Voltage Converter**

**General Description**

The LM2907, LM2917 series are monolithic frequency to voltage converters with a high gain op amp/comparator designed to operate a relay, lamp, or other load when the input frequency reaches or exceeds a selected rate. The tachometer uses a charge pump technique and offers frequency doubling for low ripple, full input protection in two versions (LM2907-B, LM2917-B) and its output swings to ground for a zero frequency input.

- Frequency doubling for low ripple
- Tachometer has built-in hysteresis with either differential input or ground referenced input
- Built-in zener on LM2917
- 20.3% linearity typical
- Ground referenced tachometer is fully protected from damage due to swings above  $V_{CC}$  and below ground

**Advantages**

- Output swings to ground for zero frequency input
- Easy to use;  $V_{OUT} = f_{IN} \times V_{CC} \times R1 \times C1$
- Only one RC network provides frequency doubling
- Zener regulator on chip allows accurate and stable frequency to voltage or current conversion (LM2917)

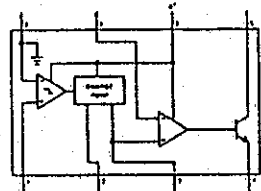
**Applications**

- Over/under speed sensing
- Frequency to voltage conversion (tachometer)
- Speedometers
- Breaker point dwell meters
- Hand-held tachometer
- Speed governors
- Cruise control
- Automotive door lock control
- Clutch control
- Horn control
- Touch or sound switches

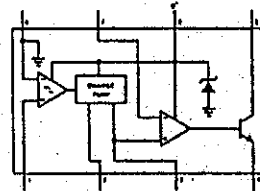
**Features**

- Ground referenced tachometer input interfaces directly with variable reluctance magnetic pickups
- Op amp/comparator has floating transistor output
- 50 mA sink or source to operate relays, solenoids, meters, or LEDs

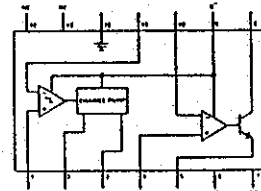
**Block and Connection Diagrams** Dual-In-Line Packages, Top Views



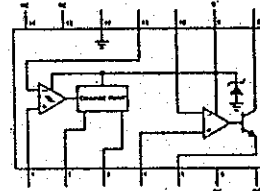
Order Number LM2907B  
See NS Package M088



Order Number LM2917B  
See NS Package M088



Order Number LM2907J  
See NS Package J14A  
Order Number LM2907M  
See NS Package M14A



Order Number LM2917J  
See NS Package J14A  
Order Number LM2917M  
See NS Package M14A

TABLA Tiristores o triacs que se van a emplear según la Potencia de carga que se va a controrrar, con voltaje de 130 V<sub>rms</sub>.

CARGA 3 φ (Kilovatios)	CORRIENTE POR FASE (Amp.)	TIRISTORES Conexión	TRIACS Conexión	RESIST. DE CARGA A DISIPAR POR FASE (ohmios)
10	25,6	ECG 5568	* ECG 5685	5,07
20	51,28	ECG 5568	* ECG 56024	2,535
30	76,92	ECG 5577	-	1,69
40	102,5	ECG 5577	-	1,268
50	128,3	ECG 5582	-	1,014
60	153,8	ECG 5591	-	0,845
70	179,49	ECG 5591	-	0,724
80	205,12	ECG 5591	-	0,634
90	230,76	ECG 5591	-	0,5633
100	256,4	ECG 5591	-	0,507
150	384,6	ECG 5587	-	0,338
200	512,8	ECG 5587	-	0,254
250	641,02	ECG 5595	-	0,2028
300	769,25	ECG 5595	-	0,169
350	897,4	ECG 5598	-	0,145
400	1026	ECG 5598	-	0,126

NOTA: - \* Dos triacs en paralelo.

- Enfriamiento al ambiente con radiadores desde 10 KW hasta 80 KW
- Enfriamiento forzado de aire con radiadores desde 80 KW hasta 200 KW.
- Enfriamiento forzado con circulación de agua destilada desde 200 KW hasta 400 KW.

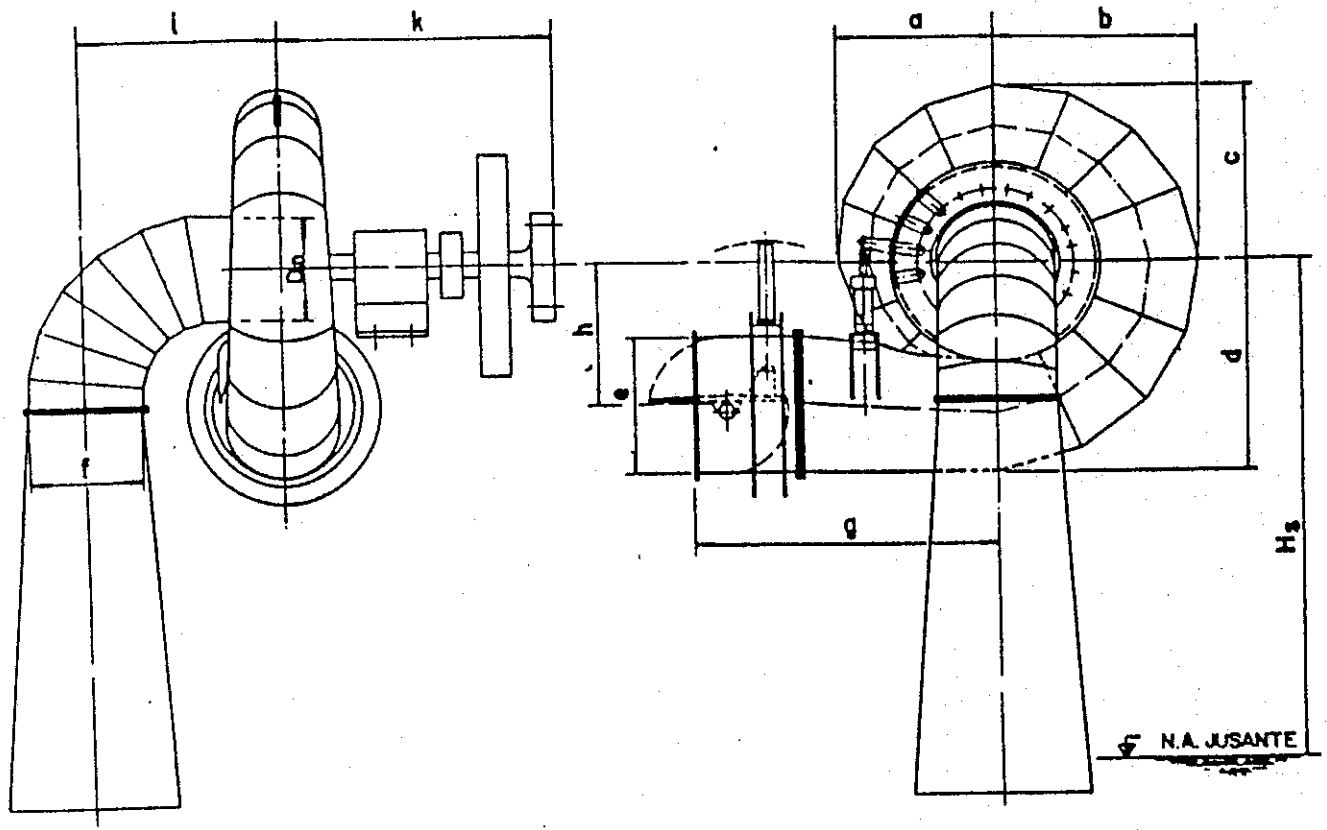


Figura 1

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
1,5	1,9	1,7	2,0	1,3	1,05	2,9	1,4	2,0	3,8

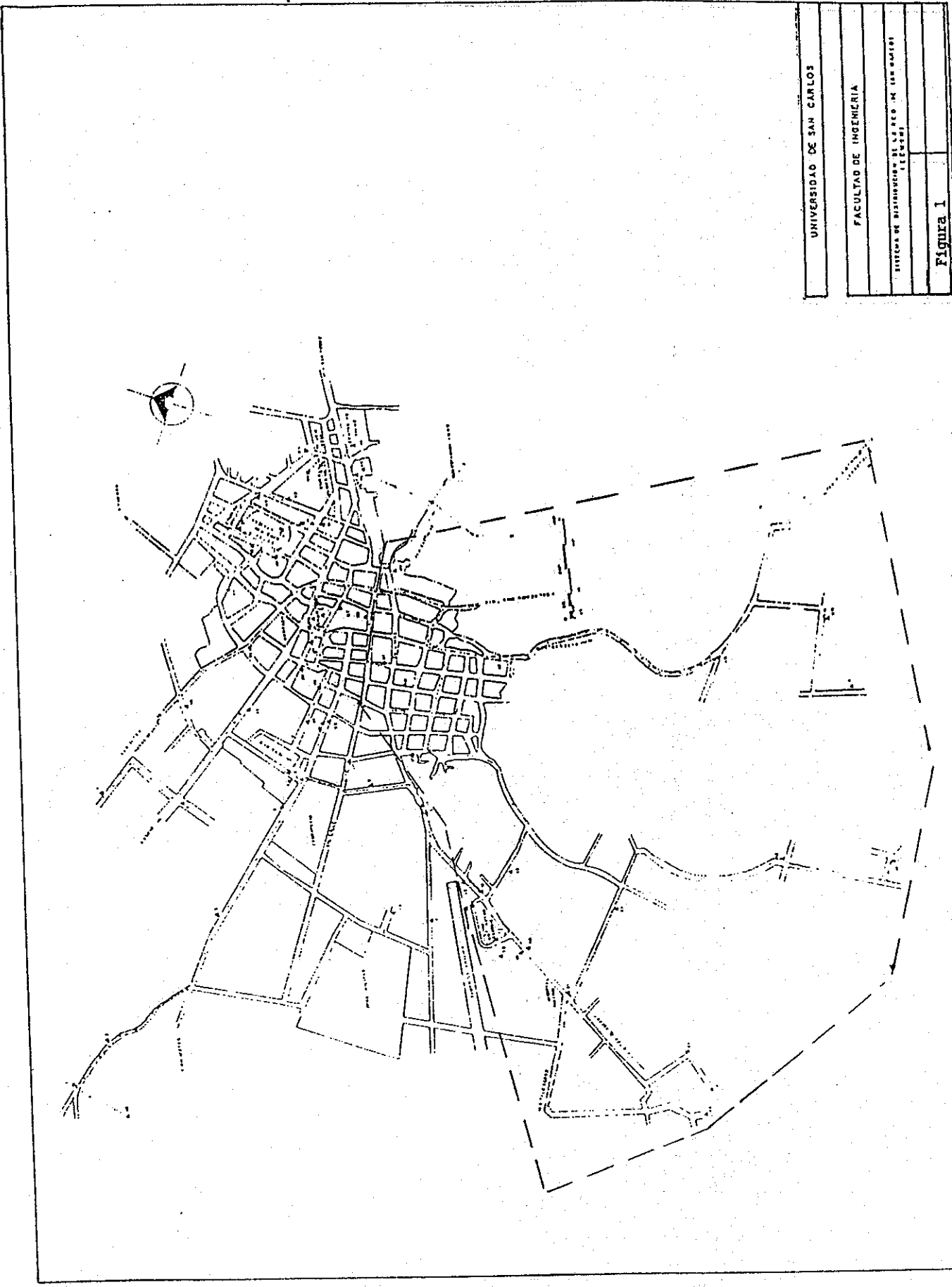
Dimensiones Básicas (m)





A N E X O 2



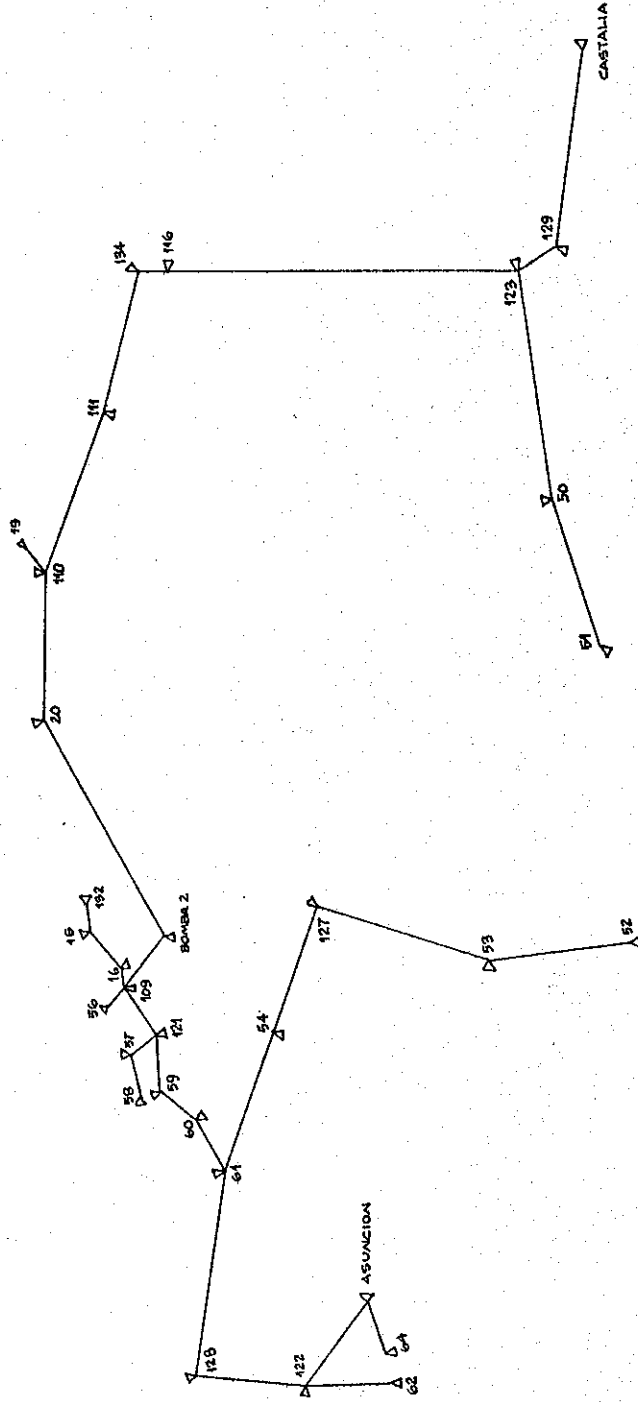


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

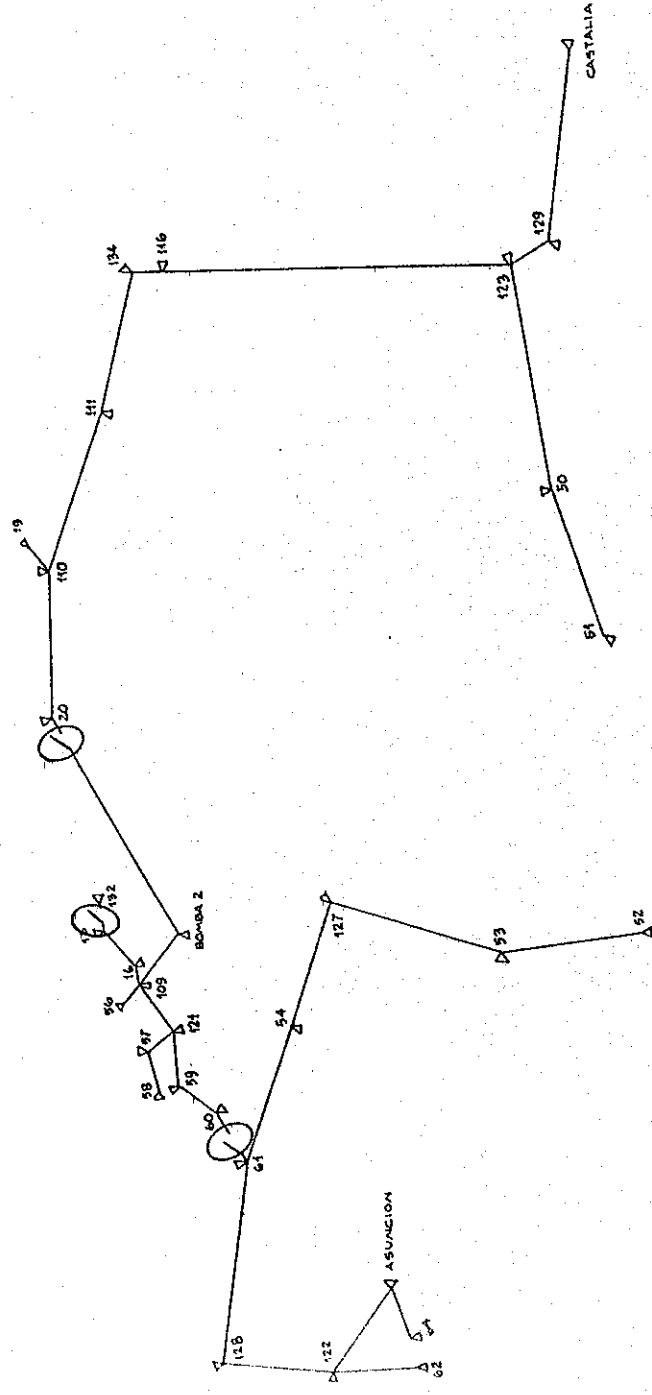
FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE DISTRIBUCION DE LA RED DE GAS (GAS)

Figura 1



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS	
FACULTAD DE INGENIERIA	
SISTEMA DE DISTRIBUCION DE LA RED DE LA MAREA (EJEMPLO)	
Figura 2	

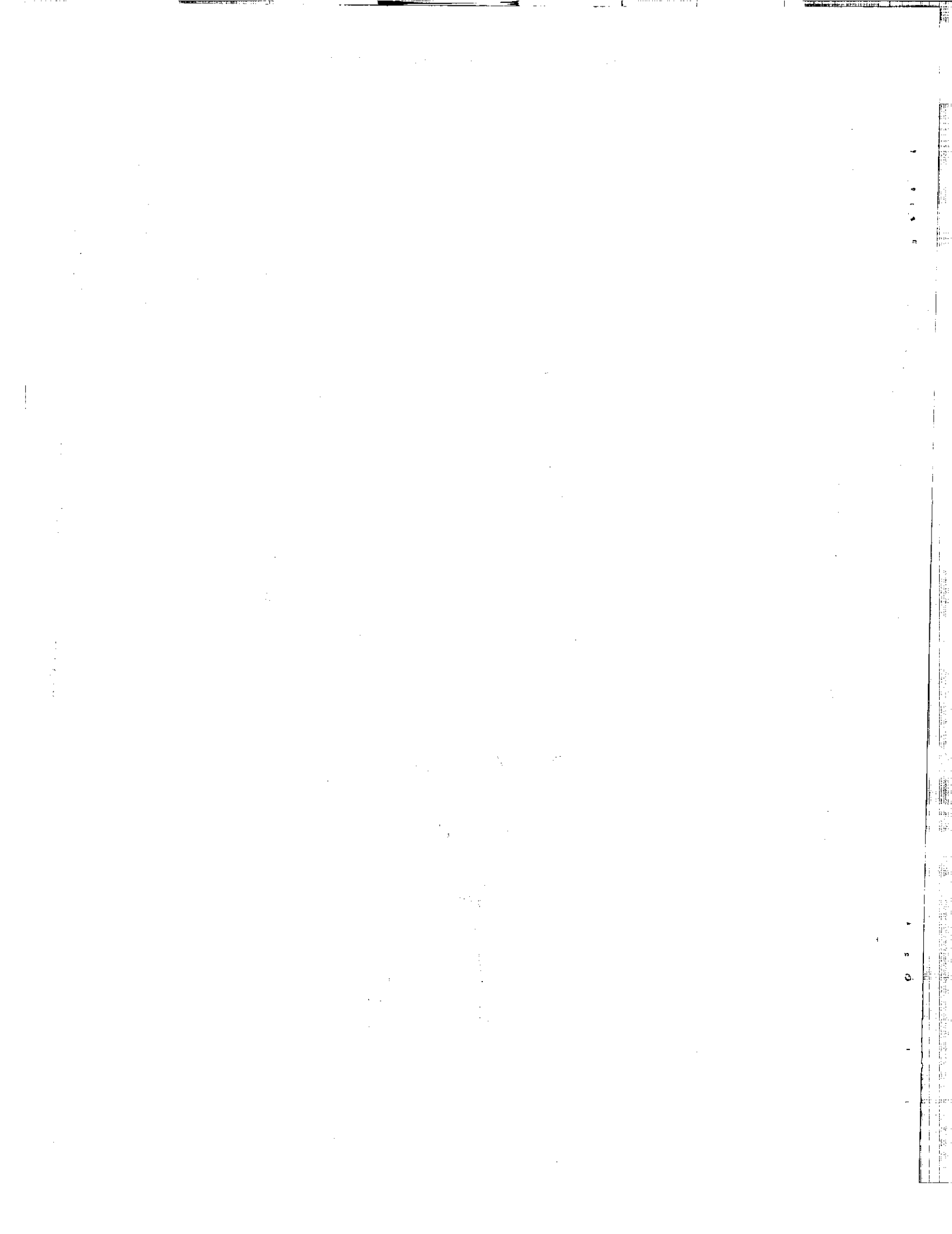


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERIA

SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA DE BOYBA 2

Figura 3



A N E X O 3

2 0 1 0

0 2 3 0

Year	Q1	Q2	Q3	Q4	Total
2010					
2011					
2012					
2013					
2014					
2015					
2016					
2017					
2018					
2019					
2020					

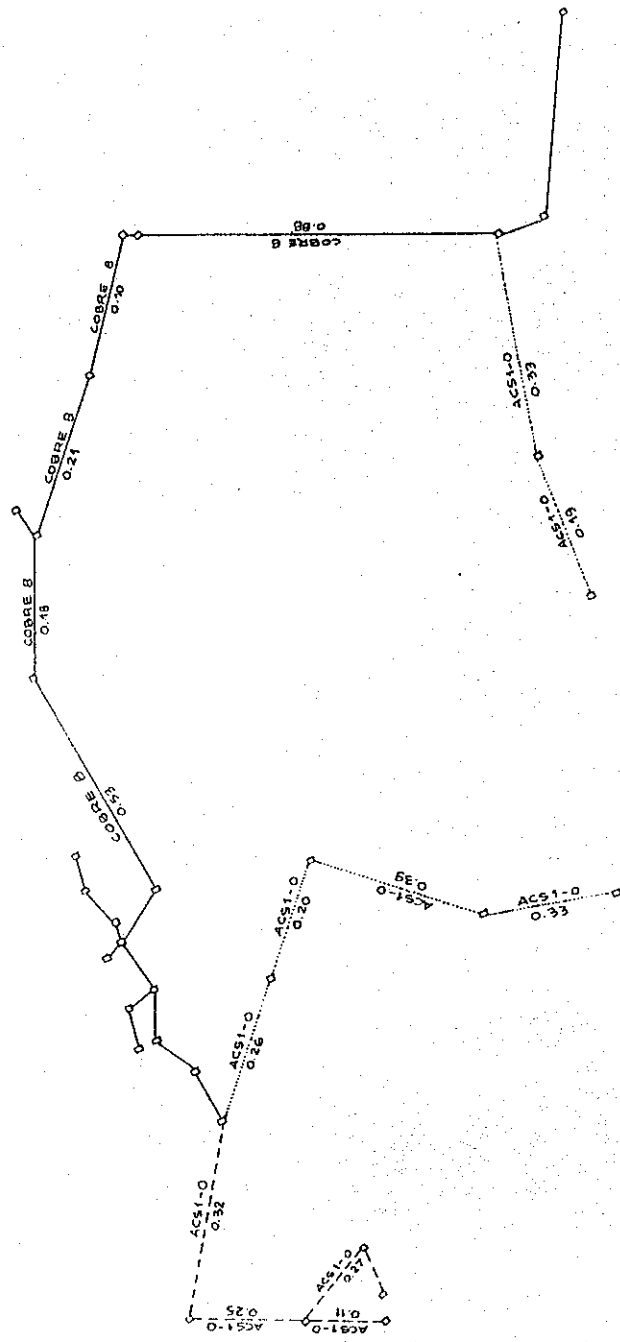


TABLA DE CARACTERISTICAS GENERALES

Altura de la columna (m)	Configuración de cables	Superficie m <sup>2</sup>	Volumen m <sup>3</sup>	Peso kg
14	sólido/1	2.084	1.628	18.51
12	sólido/1	3.310	2.052	29.41
10	sólido/1	5.261	2.588	46.77
8	sólido/1	8.368	3.264	74.38
6	sólido/1	13.297	4.115	118.22
14	cableado/7	2.081	1.844	18.80
12	cableado/7	3.309	2.324	29.90
10	cableado/7	5.261	2.946	47.70
8	cableado/7	8.368	3.708	76.00
6	cableado/7	13.303	4.674	120.50
4	cableado/7	21.148	5.893	191.70
2	cableado/7	33.632	7.417	305.10
1	cableado/19	42.406	8.433	384.90
1/0	cableado/19	53.477	9.474	484.50
2/0	cableado/19	67.419	10.643	611.60
3/0	cableado/19	85.032	11.938	771.70
4/0	cableado/19	107.226	13.411	971.70
250	cableado/37	126.645	14.605	1148.70
300	cableado/37	152.000	16.002	1377.00
350	cableado/37	177.354	17.297	1609.50
400	cableado/37	202.709	18.491	1838.80
500	cableado/37	253.354	20.650	2295.50
600	cableado/61	304.000	22.682	2758.10
750	cableado/61	380.000	25.349	3447.10
1000	cableado/61	506.709	29.261	4592.10

CABLES DE ALUMINIO TIPO ACSF  
 (ALUMINUM CONDUCTOR STEEL REINFORCED)  
 CARACTERISTICAS DIMENSIONALES, MECANICAS Y ELECTRICAS

Turkey	6	8/1.679	1/1.679	13.29	15.48	5.037	53.7	36.4	17.3	540	2.1130	2.6840	110	6
Swan	4	6/2.118	1/2.118	21.16	24.71	6.355	85.3	57.9	27.4	844	1.3280	1.7160	145	6
Swanate	4	7/1.961	1/2.614	21.16	26.52	6.528	99.7	58.0	41.7	1070	1.3120	1.7390	145	6
Sparrow	2	6/2.672	1/2.672	33.61	39.23	8.016	135.7	92.1	43.6	1293	0.8330	1.1090	195	4
Sparate	2	7/2.474	1/3.299	33.61	42.19	8.247	158.7	92.2	66.5	1651	0.8270	1.1190	195	4
Robin	1	6/3.000	1/3.000	42.39	49.48	9.000	171.0	116.0	55.0	1810	0.6630	0.8890	220	3
Raven	1/0	6/3.371	1/3.371	53.48	62.39	10.112	215.9	146.5	69.4	1987	0.5250	0.7150	255	2
Quail	2/0	6/3.782	1/3.782	67.42	78.65	11.346	272.5	185.0	87.5	2004	0.4170	0.5810	295	1
Pigeon	3/0	8/4.247	1/4.247	85.03	99.23	12.751	343.5	233.2	110.3	3000	0.3310	0.4690	340	1/0
Penguin	4/0	6/4.770	1/4.770	107.23	125.10	14.300	433.2	294.2	139.0	3787	0.2620	0.3840	390	2/0
Waxwing	266.8	18/3.091	1/3.091	135.16	142.64	15.469	431.6	373.5	58.1	3121	0.2120	0.2600	480	3/0
Partridge	266.8	26/2.573	7/2.002	135.16	157.16	16.307	546.2	375.0	171.2	5126	0.2100	0.2570	490	3/0
Ostrich	300.0	26/2.728	7/2.121	152.00	176.77	17.272	614.6	421.2	193.4	5761	0.1870	0.2280	530	188.7
Martin	336.4	18/3.472	1/3.472	170.45	179.94	17.374	543.2	470.3	72.9	3937	0.1680	0.2080	560	4/0
Linnet	336.4	29/2.888	7/2.245	170.45	198.19	18.289	689.0	471.7	217.3	6400	0.1670	0.2030	570	4/0
Oriole	336.4	30/2.690	7/2.690	170.45	210.26	18.821	784.3	473.2	311.1	7847	0.1650	0.2020	575	4/0
Chickadee	397.5	18/3.774	1/3.774	201.42	212.58	18.872	642.9	555.1	87.8	4509	0.1420	0.1740	620	250.0
Brant	397.5	24/3.269	7/2.179	201.42	227.42	19.609	761.9	558.1	203.8	6622	0.1410	0.1730	630	250.0
Ibis	397.5	26/3.139	7/2.441	201.42	234.19	19.888	814.0	558.0	256.0	7394	0.1410	0.1730	640	250.0
Lark	397.5	30/2.924	7/2.924	201.42	248.39	20.472	927.1	559.5	367.6	9208	0.1400	0.1720	640	250.0
Pelican	477.0	18/4.135	1/4.135	241.68	255.10	20.676	770.9	666.7	104.2	5352	0.1180	0.1450	700	300.0
Flicker	477.0	24/3.681	7/2.388	241.68	273.03	21.488	915.2	669.7	245.5	7802	0.1180	0.1440	710	300.0
Hawk	477.0	26/3.439	7/2.675	241.68	281.03	21.793	977.7	669.7	308.0	8845	0.1180	0.1440	720	300.0
Hen	477.0	30/3.203	7/3.203	241.68	298.06	22.428	1111.7	671.2	440.5	10795	0.1170	0.1430	720	300.0
Heron	500.0	30/3.279	7/3.279	253.35	312.46	22.962	1165.2	703.9	461.3	11317	0.1110	0.1360	745	314.0
Ostrey	556.5	18/4.465	1/4.465	282.00	297.68	22.327	898.9	776.8	122.1	6214	0.1020	0.1250	770	350.0
Parakeet	556.5	24/3.868	7/2.578	282.00	318.58	23.216	1067.0	781.3	285.7	8981	0.1010	0.1240	790	350.0
Dove	556.5	26/3.716	7/2.691	282.00	327.93	23.546	1139.9	781.3	358.5	10251	0.1010	0.1240	790	350.0
Eagle	556.5	30/3.459	7/3.459	282.00	347.81	24.206	1297.7	782.8	514.9	12610	0.1000	0.1230	800	350.0
Peacock	605.0	24/4.034	7/2.890	306.58	346.32	24.206	1160.8	849.7	311.1	9798	0.0928	0.1142	830	380.5
Squab	605.0	26/3.874	7/3.012	306.58	356.45	24.536	1239.6	849.7	389.9	11022	0.0925	0.1135	830	380.5
Woodduck	605.0	30/3.607	7/3.607	306.58	378.13	25.248	1410.8	851.2	559.6	13109	0.0919	0.1129	840	380.5
Teal	605.0	30/3.607	19/2.184	306.58	376.45	25.248	1398.9	851.2	547.7	13608	0.0919	0.1125	840	380.5
Kingbird	636.0	18/4.775	1/4.775	322.26	340.13	23.876	1076.8	888.4	138.4	7121	0.0889	0.1093	840	400.0
Rook	636.0	24/4.135	7/2.756	322.26	364.06	24.816	1218.8	892.9	325.9	10251	0.0883	0.1083	860	400.0
Grosbeak	636.0	26/3.973	7/3.089	322.26	374.77	25.146	1302.1	892.9	409.2	11431	0.0879	0.1063	860	400.0
Scoter	636.0	30/3.698	7/3.698	322.26	397.48	25.883	1482.2	894.4	587.8	13789	0.0876	0.1073	870	400.0
Egret	636.0	30/3.698	19/2.220	322.26	395.81	25.883	1470.3	894.4	575.9	14288	0.0876	0.1076	870	400.0
Swift	636.0	36/3.376	1/3.376	322.26	331.23	23.622	958.4	888.4	70.0	6214	0.0889	0.1083	845	400.0



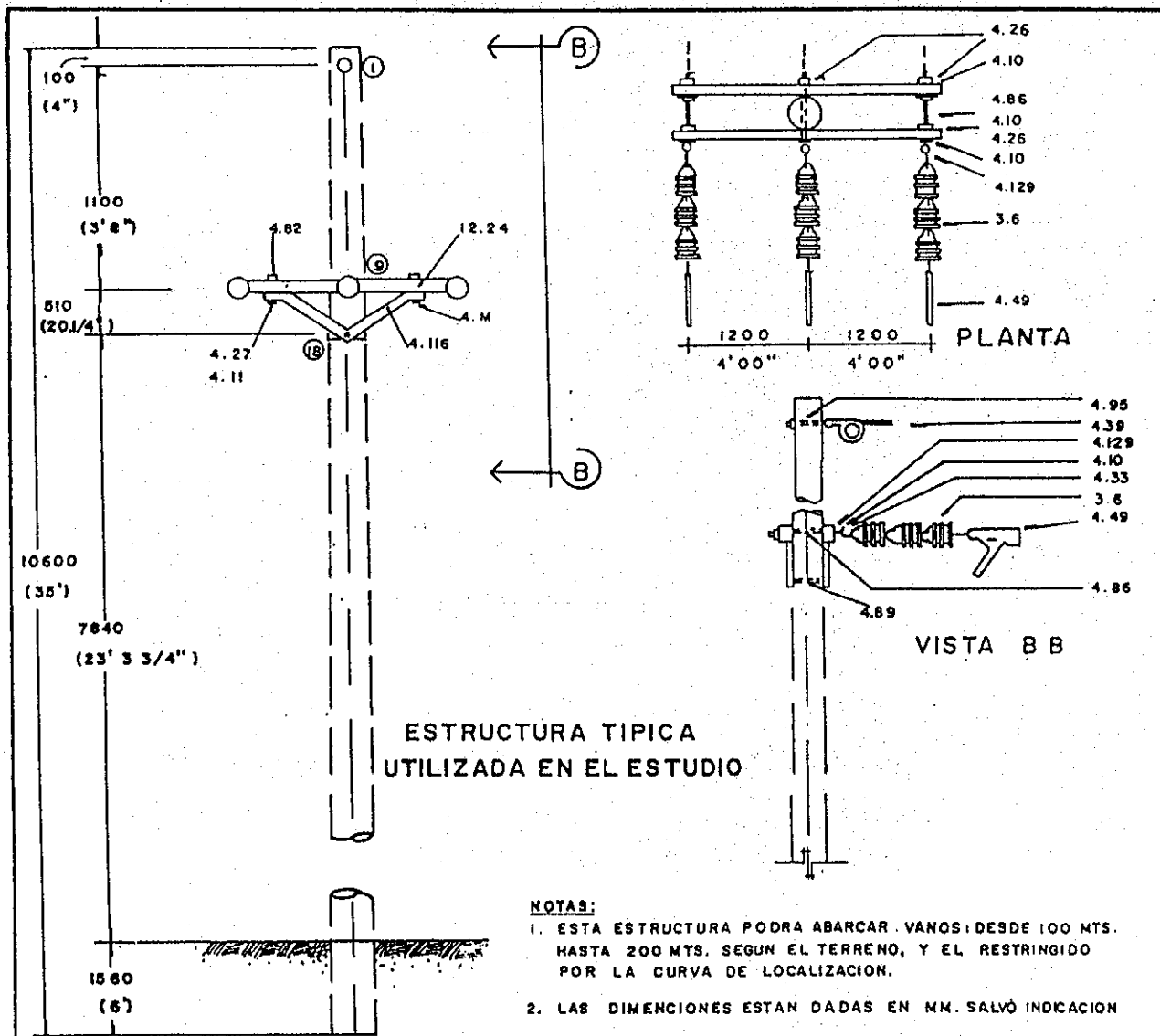
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERIA
SISTEMA DE INSTRUCCION DE LA RED DE JARAGUAY (1970)



A N E X O 4







No	DESCRIPCION.	CAN.	TOT	No	DESCRIPCION	CAN	TOT
4.39	GRAPA TERMINAL PARA ACSR	1		4.69	PERNO DE DOBLE ROSCA DE 5/8"X10"	1	
2.2	CINTA PROTECTORA DE ALUMINIO	3.0M		4.95	PERNO CON OJO DE 5/8"X10"	1	
3.6	AISLADOR DE SUSPENSION CLASE 52-9 ANSI	9		12.24	CRUCETA DE PINO, TRATADO, DE 2,400 MM	2	
4.10	ARANDELA DE 2 1/4 X 2 1/4 X 3/16 AG. DE 11/16	14		12.14	POSTE CONCRETO 10.6 M CLASS 341 KG.	1	
4.116	PUNTAL ANGULAR DOBLE DE ACERO GALVANIZADO	2		4.16.1	ARANDELA PARA PERNO DE 5/8"	4	
4.129	TUERCA OJO DE ACERO GALVANIZADO PARA PERNO DE 5/8"	3			NOTA: VEASE IDENTIFICACION DE AGUJE-ROS EN SECCION No.31 SEGUN NUMEROS ENCERRADOS EN CIRCULOS.		
4.11	ARANDELA DE 2" X 2" X 1/8" AGUJERO DE 9/16"	4					
4.26	CONTRATUERCA PARA PERNO DE 5/8"	6					
4.27	CONTRATUERCA PARA PERNO DE 1/2"						
4.33	GANCHO DE OJO	3					
4.49	GRAPA TERMINAL PARA ACSR						
4.82	PERNO DE CARRUAJE GALVANIZADO DE 1/2" X 6"	4					
4.86	PERNO DE DOBLE ROSCA GALVANIZADO DE 5/8" X 10"	3					

**UNIVERSIDAD DE SANCARLOS  
FACULTAD DE INGENIERIA.**

ESTRUCTURA TIPICA, DISTRIBUCION PRIMARIA, 13.8 KV,  
3 FASES, CIRCUITO MODIFICADO.



A N E X O 5

1 1 1 1 1 1

A X

• • •

FLUJO DE CARGA DEL SISTEMA  
SERVIDO POR LA PCH LA CASTALIA

MAY 16 1995  
TUE, 17:28

SECTION		PHAS	CON	TYPE	LENGTH	LOAD AMPS			LOAD VOLTAGE			V MIN/ 110.0	SECTION LOAD		LOSSES		CAP KVAR	TOTAL DIST
FROM	TO					A	B	C	A	B	C		KW	KVAR	KW	KVAR		
	INDE	ABC			0.00	14	12	7	7.6	7.6	7.6	110.0					0.0	
INDE	CASTALIA	ABC	SWTCH		0.00	14	12	7	7.6	7.6	7.6	110.0	220.1	128.5	0.00	0.00	0.0	0.00
CASTALIA	129	ABC	SWTCH		0.00	14	12	7	7.6	7.6	7.6	110.0	220.1	128.5	0.00	0.00	0.0	0.00
129	123	ABC	COBRE8		7.01	14	12	7	7.4	7.4	7.5	107.0	220.1	130.4	6.18	1.43	0.0	7.01
123	50	B	ACSI-0		0.33			2		7.4		107.2	13.5	8.4	0.00	0.00	0.0	7.34
50	51	B	ACSI-0		0.19			1		7.4		107.2	6.8	4.2	0.00	0.00	0.0	7.53
123	134	ABC	COBRE8		0.88	15	10	7	7.4	7.4	7.5	106.6	200.5	122.6	0.69	0.16	0.0	7.89
134	116	ABC	SWTCH		0.00	15	10	7	7.4	7.4	7.5	106.6	199.8	122.7	0.00	0.00	0.0	7.89
116	111	ABC	COBRE8		0.10	15	10	7	7.4	7.4	7.5	106.6	199.8	122.7	0.08	0.02	0.0	7.99
111	110	ABC	COBRE8		0.21	15	10	7	7.4	7.4	7.5	106.5	199.7	122.8	0.16	0.04	0.0	8.20
1	20	ABC	COBRE8		0.18	10	6	3	7.4	7.4	7.5	106.4	123.3	75.7	0.06	0.01	0.0	8.38
20	BOMBA2	ABC	COBRE8		0.53	9	6	3	7.4	7.4	7.5	106.3	114.2	70.2	0.15	0.03	0.0	8.91
BOMBA2	109	ABC	COBRE8		0.08	9	6	2	7.4	7.4	7.5	106.3	107.9	66.6	0.02	0.00	0.0	8.99
1	16	ABC	ACSI-0		0.02	0	3	0	7.4	7.4	7.5	106.3	16.6	10.1	0.00	0.00	0.0	9.01
16	15	ABC	ACSI-0		0.08	0	1	0	7.4	7.4	7.5	106.3	6.9	4.2	0.00	0.00	0.0	9.09
15	132	ABC	ACSI-0		0.13	0	0	0	7.4	7.4	7.5	106.3	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	9.22
109	56	C	ACSI-0		0.05			2			7.5	108.3	11.5	7.1	0.00	0.00	0.0	9.04
109	121	ABC	ACSI-0		0.11	9	3	1	7.4	7.4	7.5	106.3	79.9	49.4	0.01	0.01	0.0	9.10
121	57	A	ACSI-0		0.05	4			7.4			106.3	27.5	17.1	0.00	0.00	0.0	9.15
57	58	A	ACSI-0		0.05	2			7.4			106.3	13.0	8.0	0.00	0.00	0.0	9.20
121	59	ABC	ACSI-0		0.02	4	3	1	7.4	7.4	7.5	106.3	52.4	32.4	0.00	0.00	0.0	9.12
59	60	ABC	ACSI-0		0.01	4	3	1	7.4	7.4	7.5	106.3	50.0	30.9	0.00	0.00	0.0	9.13
60	61	ABC	ACSI-0		0.14	4	3	0	7.4	7.4	7.5	106.3	45.8	28.4	0.00	0.00	0.0	9.27
61	54	B	ACSI-0		0.26			3		7.4		106.6	18.7	11.6	0.00	0.00	0.0	9.53
54	127	B	ACSI-0		0.20			1		7.4		106.6	3.8	2.3	0.00	0.00	0.0	9.73
127	53	B	ACSI-0		0.39			1		7.4		106.6	3.8	2.3	0.00	0.00	0.0	10.12
53	52	B	ACSI-0		0.33			0		7.4		106.6	1.0	0.6	0.00	0.00	0.0	10.45
61	128	A	ACSI-0		0.32			2		7.4		106.2	12.1	7.5	0.00	0.00	0.0	9.59
1	122	A	ACSI-0		0.25			2		7.4		106.2	12.1	7.5	0.00	0.00	0.0	9.84
122	62	A	ACSI-0		0.11			1		7.4		106.2	5.3	3.3	0.00	0.00	0.0	9.95
122	ASUNCION	A	ACSI-0		0.27			1		7.4		106.2	6.8	4.2	0.00	0.00	0.0	10.11
ASUNCION	64	A	ACSI-0		0.11			1		7.4		106.2	4.6	2.8	0.00	0.00	0.0	10.22
110	19	ABC	COBRE8		0.02	4	4	4	7.4	7.4	7.5	106.5	76.2	47.2	0.00	0.00	0.0	8.22
111	112	ABC	COBRE8		0.07	0	0	0	7.4	7.4	7.5	106.6	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	8.06

UNIVERSIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

POWER TECHNOLOGIES INC. POWER SYSTEM SIMULATOR,PSS/U VERSION 6.2

FLUJO DE CARGA DEL SISTEMA MAY 16 1995  
SERVIDO POR LA PCH LA CASTALIA TUE, 17:28

DEMANDA MAXIMA 1993  
ESTUDIO REALIZADO POR  
MARCO ANTONIO JUAREZ  
ARCHIVO CAS93M

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

FLUJO DE CARGA DEL SISTEMA  
SERVIDO POR LA PCH LA CASTALIA

MAY 16 1995  
TUE, 17:12

TOTAL NODES	TREE NODES	LOOPS	TNSF	SWCH	ASYNC GENS	SYNC GENS	ASYNC MOTS	SYNC MOTS	TREE DISTANCE	TOTAL DISTANCE
103	34	0	0	3	0	0	0	0	12.50	20.34

	SOURCE	LOSSES	GENERATION	MOTOR LOAD	CHARGING	CAPACITANCE
KW	220.12	7.36	0.00	0.00	5.07	0.00
KVAR	128.49	1.71	0.00	0.00		0.00
PF	0.864					

BY CATEGORY	ACTUAL STATIC LOAD			
	1	2	3	4
KW	212.76	0.00	0.00	0.00
KVAR	131.86	0.00	0.00	0.00

I 7-LN 1.000 PU, 7.62 KV, 110.0/ 110.0 V AT NODE INDE PHASE A  
MIN V-LN 0.966 PU, 7.36 KV, 106.2/ 110.0 V AT NODE 64 PHASE A

BY CATEGORY	NOMINAL STATIC LOAD			
	1	2	3	4
KW	212.76	0.00	0.00	0.00
KVAR	131.86	0.00	0.00	0.00
DEFSC	0.00	0.00	0.00	0.00
DEFPF	1.00	1.00	1.00	1.00

BY CATEGORY	ACTUAL STATIC LOAD			
	1	2	3	4
KW	212.76	0.00	0.00	0.00
KVAR	131.86	0.00	0.00	0.00

	GENERATORS		MOTORS	
	ASYNCHRONOUS	SYNCHRONOUS	ASYNCHRONOUS	SYNCHRONOUS
KW	0.00	0.00	0.00	0.00
KVAR	0.00	0.00	0.00	0.00

DEMANDA MAXIMA 1993  
ESTUDIO REALIZADO POR  
MARCO ANTONIO JUAREZ  
ARCHIVO CAS93M

FLUJO DE CARGA DEL SISTEMA  
SERVIDO POR LA PCH LA CASTALIA

MAY 16 1995  
TUE, 18:13

SECTION		PHAS	CON	TYPE	LENGTH	LOAD AMPS			LOAD VOLTAGE			V MIN/ 110.0	SECTION LOAD		LOSSES		CAP KVAR	TOTAL DIST
FROM	TO					A	B	C	A	B	C		KW	KVAR	KW	KVAR		
	INDE	ABC			0.00	15	12	5	7.6	7.6	7.6	110.0					0.0	
INDE	CASTALIA	ABC	SWTCH		0.00	15	12	5	7.6	7.6	7.6	110.0	211.1	123.0	0.00	0.00	0.0	0.00
CASTALIA	129	ABC	SWTCH		0.00	15	12	5	7.6	7.6	7.6	110.0	211.1	123.0	0.00	0.00	0.0	0.00
129	123	ABC	COBRE8		7.01	15	12	5	7.4	7.4	7.5	106.9	211.1	124.9	6.05	1.35	0.0	7.01
123	50	B	ACSI-0		0.33			2		7.4		107.3	14.1	8.8	0.00	0.00	0.0	7.34
50	51	B	ACSI-0		0.19			1		7.4		107.3	7.1	4.4	0.00	0.00	0.0	7.53
123	134	ABC	COBRE8		0.88	15	10	5	7.4	7.4	7.5	106.5	190.9	116.8	0.67	0.15	0.0	7.89
134	116	ABC	SWTCH		0.00	15	10	5	7.4	7.4	7.5	106.5	190.2	116.9	0.00	0.00	0.0	7.89
116	111	ABC	COBRE8		0.10	15	10	5	7.4	7.4	7.5	106.4	190.2	116.9	0.08	0.02	0.0	7.99
1	110	ABC	COBRE8		0.21	15	10	5	7.4	7.4	7.5	106.3	190.2	117.0	0.16	0.04	0.0	8.20
110	20	ABC	COBRE8		0.18	11	5	1	7.4	7.4	7.5	106.3	110.0	67.6	0.06	0.01	0.0	8.38
20	BOHBA2	ABC	COBRE8		0.53	10	5	1	7.4	7.4	7.5	106.1	100.5	61.9	0.14	0.03	0.0	8.91
E A2	109	ABC	COBRE8		0.08	9	5	1	7.4	7.4	7.5	106.1	93.9	58.0	0.02	0.00	0.0	8.99
109	16	ABC	ACSI-0		0.02	0	2	0	7.4	7.4	7.5	106.1	10.1	6.3	0.00	0.00	0.0	9.01
109	121	ABC	ACSI-0		0.11	9	4	1	7.3	7.4	7.5	106.1	83.8	51.8	0.01	0.01	0.0	
121	57	A	ACSI-0		0.05	5			7.3			106.1	28.9	17.9	0.00	0.00	0.0	9.15
57	58	A	ACSI-0		0.05	2			7.3			106.1	13.6	8.4	0.00	0.00	0.0	9.20
121	59	ABC	ACSI-0		0.02	5	4	1	7.3	7.4	7.5	106.1	54.9	33.9	0.00	0.00	0.0	9.12
59	60	ABC	ACSI-0		0.01	5	3	1	7.3	7.4	7.5	106.1	52.4	32.4	0.00	0.00	0.0	9.13
60	61	ABC	ACSI-0		0.14	5	3	0	7.3	7.4	7.5	106.1	48.1	29.7	0.00	0.00	0.0	9.27
61	54	B	ACSI-0		0.26			3		7.4		106.7	19.6	12.2	0.00	0.00	0.0	9.53
54	127	B	ACSI-0		0.20			1		7.4		106.7	4.0	2.5	0.00	0.00	0.0	9.73
127	53	B	ACSI-0		0.39			1		7.4		106.7	4.0	2.5	0.00	0.00	0.0	10.12
53	52	B	ACSI-0		0.33			0		7.4		106.7	1.0	0.6	0.00	0.00	0.0	10.45
61	128	A	ACSI-0		0.32	2			7.3			106.1	12.7	7.9	0.00	0.00	0.0	9.59
1	122	A	ACSI-0		0.25	2			7.3			106.1	12.7	7.9	0.00	0.00	0.0	9.84
122	62	A	ACSI-0		0.11	1			7.3			106.1	5.6	3.5	0.00	0.00	0.0	9.95
1	ASUNCION	A	ACSI-0		0.27	1			7.3			106.1	7.1	4.4	0.00	0.00	0.0	10.11
ASUNCION	64	A	ACSI-0		0.11	1			7.3			106.1	4.8	3.0	0.00	0.00	0.0	10.22
110	19	ABC	COBRE8		0.02	4	4	4	7.4	7.4	7.5	106.3	79.9	49.5	0.00	0.00	0.0	8.22
111	112	ABC	COBRE8		0.07	0	0	0	7.4	7.4	7.5	106.4	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	8.06

DEMANDA MAXIMA 1994  
ESTUDIO REALIZADO POR  
HARCO ANTONIO JUAREZ  
ARCHIVO CA94M

FLUJO DE CARGA DEL SISTEMA  
SERVIDO POR LA PCH LA CASTALIA

MAY 16 1995  
TUE, 18:11

TOTAL	TREE				ASYN	SYN	ASYN	SYN	TREE	TOTAL
NODES	NODES	LOOPS	TNSF	SWCH	GENS	GENS	MOTS	MOTS	DISTANCE	DISTANCE
103	31	0	0	3	0	0	0	0	12.24	20.21

	SOURCE	LOSSES	GENERATION	MOTOR LOAD	CHARGING CAPACITANCE
KW	211.09	7.20	0.00	0.00	
KVAR	123.03	1.62	0.00	0.00	4.95
PF	0.864				

	ACTUAL STATIC LOAD			
BY CATEGORY	1	2	3	4
KW	203.89	0.00	0.00	0.00
KVAR	126.36	0.00	0.00	0.00

I LN 1.000 PU, 7.62 KV, 110.0/ 110.0 V AT NODE INDE PHASE A  
MIN V-LN 0.964 PU, 7.35 KV, 106.1/ 110.0 V AT NODE 64 PHASE A

	NOMINAL STATIC LOAD			
BY CATEGORY	1	2	3	4
KW	203.89	0.00	0.00	0.00
KVAR	126.36	0.00	0.00	0.00
DEFSC	0.00	0.00	0.00	0.00
DEFPP	1.00	1.00	1.00	1.00

	ACTUAL STATIC LOAD			
BY CATEGORY	1	2	3	4
KW	203.89	0.00	0.00	0.00
KVAR	126.36	0.00	0.00	0.00

	GENERATORS		MOTORS	
	ASYNCHRONOUS	SYNCHRONOUS	ASYNCHRONOUS	SYNCHRONOUS
KW	0.00	0.00	0.00	0.00
KVAR	0.00	0.00	0.00	0.00

DEMANDA MAXIMA 1994  
ESTUDIO REALIZADO POR  
MARCO ANTONIO JUAREZ  
ARCHIVO CA94M

