

# Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“ Proyecto de Electrificación de la Localidad  
de Iquipí Provincia de Condesuyos.  
Departamento de Arequipa ”**

**T E S I S**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**FREDY ALBERTO BUTRON FERNANDEZ**

PROMOCION: 1981 - I

**LIMA • PERU • 1989**



## II

3.1.6 Consumo de Cargas Especiales	18
3.1.7 Energía Facturada	19
3.1.8 Energía Total	19
3.1.9 Horas de Utilización	
3.1.9.1 Sector Residencial, Comer cial y Servicios Generales	20
3.1.9.2 Sector Alumbrado Público	20
3.1.9.3 Sector de Cargas Especiales	20
3.1.10 Máxima Demanda	21
3.1.11 Indicadores del Estudio de Mercado Eléctrico	24
4. CAPITULO 4: DISEÑO DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA	
4.1 Recurso hidrológico	25
4.1.1 Caudal Aprovechable	26
4.2 Salto Bruto	28
4.3 Diseño de Obras Civiles	28
4.3.1 Generalidades	28
4.3.2 Obras Existentes	29
4.3.2.1 Bocatoma	29
4.3.2.2 Canal de Conducción	30
a) Cálculo del Caudal	31
b) Caudal en época de estiaje	32
c) Caudal en época de avenida	32
4.3.3 Dimensionamiento del Desarenador	33
4.3.3.1 Cálculo de la Longitud del Desarenador	36

4.3.4 Dimensionamiento de la Cámara de Carga	38
4.3.4.1 Accesorios de la Cámara de Carga	41
a) Rejila	41
b) Aliviadero	42
4.3.5 Tubería de Presión	42
4.3.5.1 Generalidades	43
4.3.5.2 Velocidad Límite en la Tubería	43
4.3.5.3 Cálculo del Diámetro de la Tubería	44
4.3.5.4 Cálculo de las pérdidas en la tubería	45
4.3.5.5 Cálculo del espesor de la tubería	46
4.3.5.6 Golpe de Ariete: tiempo mínimo de cierre	48
4.3.5.7 Cálculo de los anclajes y apoyos	52
a) Apoyos	52
b) Anclajes	57
c) Accesorios de la tubería forzada	62
4.4 Diseño de Obras Electromagnéticas	64
4.4.1 Organos de Cierre	64
4.4.1.1 Compuerta Principal	65



4.4.1.2	Válvula de Cierre	67
4.4.2	Selección de la Turbina	68
4.4.2.1	Cálculo de las Pérdidas de Carga	
	a) Pérdida a la entrada de la tubería	69
	b) Pérdidas en la tubería de presión	70
	c) Pérdidas en la válvula de Mariposa	70
4.4.2.2	Altura Neta	70
4.4.2.3	Campo de Utilización de las turbinas	71
4.4.2.4	Selección de la turbina propia mente	72
4.4.2.5	Dimensionamiento de la turbina	74
4.4.2.6	Velocidad de Rotación	75
4.4.2.7	Velocidad de Embalamiento	76
4.4.2.8	Potencia Desarrollada por la turbina	77
4.4.2.9	Velocidad específica de la turbina	78
4.4.2.10	Dimensionamiento del Rodete	79
4.4.2.11	Tubo de Succión	80
4.4.3	Regulación de la velocidad	81
4.4.3.1	Generalidades	81
	a) Por acción sobre el caudal	81

b) Por absorción de energía	82
4.4.3.2 Selección del Regulador de Velocidad	82
a) Sistemas de Presión	85
b) Motor de Regulación de la Velocidad	86
c) Solenoide de Parada Automática	86
d) Dispositivo de Parada de Emergencia	87
4.4.4 Selección del Generador	87
4.4.4.1 Tipos de Generador	87
4.4.4.2 Velocidad del Generador	88
4.4.4.3 Cálculo de la transmisión mecánica del grupo Turbina-Generador	89
4.4.4.4 Tensión de Generación	92
4.4.4.5 Potencia del Generador	93
4.4.4.6 Sistema de Excitación del Generador	94
4.4.4.7 Regulador de Tensión	96
a) Operación	97
4.5 Equipos de Control y Protección	99
4.5.1 Tablero de Control y Medición	100
4.5.1.1 Interruptor Principal	100
4.5.1.2 Transformadores de	

## VI

Corriente	100
4.5.1.3 Transformadores de Tensión	102
4.5.1.4 Instrumentos de Medición	
a) Amperímetro	102
b) Voltímetro con C.V.	103
c) Vatímetro	103
d) Medidor de Energía Activa	103
e) Frecuencímetro	104
f) Cosfímetro	104
4.5.2 Tablero de Señalización y Protección	104
4.5.2.1 Protección contra Sobrecorriente	104
4.5.2.2 Protección contra sobrecarga	105
4.5.2.3 Protección contra sobretensión	106
4.5.2.4 Protección contra falla a Tierra del estator	106
4.5.3 Tablero de Salida a S.E.en M.T.	107
4.5.3.1 Seccionador-Fusible	107
4.5.3.2 Protección de Sobrecorriente a tierra	

## VII

en lado de M.T.	107
4.5.4 Tablero de Servicios Auxiliares	108
4.5.4.1 Transformador de	
Potencia	109
4.5.4.2 Seccionador Fusible	109
4.5.4.3 Int. Termomagnéticos	
para Circuitos	
Derivados	109
4.6 Subestación de Salida en M.T.	110
4.6.1 Selección del Transformador de	
Potencia	111
4.6.2 Cortacircuitos Fusibles en la S.E.	
Elevadora	112
4.6.3 Protección contra sobrecorriente■:	
Pararrayos	113
4.6.4 Cálculo de la Corriente de Corto-	
Circuito	115
4.6.4.1 Cálculo de las Corrientes de	
Corto circuito por falla	
trifásica	118
4.6.4.2 Cálculo de los Esfuerzos Electro	
dinámicos Dimensionamiento de	
Barras	123
4.6.4.3 Efectos Térmicos del corto	
circuito	126
4.7 Cálculo de la Red de Tierra	127

## VIII

4.7.1 Puesta a tierra para protección	128
4.7.2 Puesta a tierra para funcionamiento	128
5. CAPITULO 5: DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCION	
5.1 Redes Primarias	131
5.1.1 Trazo	131
5.1.2 Cálculo Eléctrico de la Red Primaria	
5.1.2.1 Cálculo de los Parámetros	
Eléctricos	133
a) Resistencia	133
b) Reactancia Inductiva	133
c) Caída de Tensión	134
5.1.3 Cálculos Mecánicos de la Red Primaria	135
5.1.3.1 Hipótesis del Cálculo	135
a) Hipótesis 1: Máx. Esfs.	135
b) Hipótesis 2: Condiciones de Templado	135
c) HIPótesis 3: Flechas Máxs.	135
5.1.3.2 Cálculos de Esfuerzos	135
5.1.3.3 Cálculo Mecánico de las Estructuras	141
a) Selección de la longitud del poste	141
b) Cálculo de los Esfuerzos	142
c) Diagrama de Distribución de Fuerzas	145
d) Cálculo de la Retenida	146

5.1.3.4	Cálculo de la Cimentación	147
5.1.4	Diseño de las Sub-estaciones de Distribución	149
5.1.4.1	Transformadores de Potencia	149
5.1.4.2	Protec. contra Sobrecorriente	
a)	En el lado primario	150
b)	En el lado secundario	150
5.1.4.3	Tablero de B.T	151
5.1.4.4	Sistema de Puesta a Tierra	152
5.2	Redes Secundarias	
5.2.1	Cálc. Eléctrico : Red Secundaria	152
5.2.2	Cálculo del Alumbrado Público	169
5.2.3	Cálc. Mecánico de la Red Secundaria	171
5.2.3.1	Cálculo Mecánico de los Conductores	171
5.2.3.2	Cálculo Mecánico de la Estructura de Red Secundaria	174
a)	Selección de la longitud del Poste	180
b)	Cálculo de los Esfuerzos	180
c)	Diag. de Distribución de Fuerzas	183
d)	Cálculo de la Retenida	184
e)	Cálculo de la Cimentación	186
6.	CAPITULO 6: ESPECIFICACIONES TECNICAS	
6.1	Generalidades	189

6.2	Especificaciones Técnicas: Tubería Forzada	
6.2.1	Alcances	189
6.2.2	Condiciones de Operación	190
6.2.3	Características de Diseño	190
6.2.4	Proceso de Fabricación	191
6.2.5	Pruebas	
	a) En taller	192
	b) En Obra	192
6.3	Espe. Técnicas: Organos de Cierre	193
6.3.1	Esp. Tec. Compuerta de la Cámara de carga	193
6.3.2	Válvula de Mariposa	194
6.4	Especificaciones Técnicas de Equipos Elec tromecánicos	194
6.4.1	Turbina Hidráulica	194
6.4.2	Esp. Tec: Regulador de Velocidad	195
6.4.3	Esp. Tec: del Generador Síncrono	197
	a) Características generales	197
	b) Regulador de tensión	198
6.4.5	Especificaciones Técnicas: Tablero de Control y Medición	199
	6.4.5.1 Interruptor principal	199
	6.4.5.2 Transformadores de corriente	200
	6.4.5.3 Transformadores de Tensión	201
	6.4.5.4 Instrumentos de Medición	203
6.4.6	Especificaciones Técnicas: Tablero de	

Señalización y Protección	207
6.4.6.1 Relé de Sobrecorriente	207
6.4.6.2 Relé de Sobrecarga	207
6.4.6.3 Relé de Sobretensión	210
6.4.6.4 Relé de Falla a Tierra del Estator	211
6.4.7 Especificaciones Técnicas: Tablero de Salida a S.E. de M.T.	213
6.4.7.1 Seccionador Fusible	214
6.4.7.2 Protc. contra Sobrecorriente a tierra en el lado de M.T.	215
6.4.7.3 Transformadores de Corriente	216
6.4.8 Especificaciones Técnicas: Tablero de Servicios Auxiliares	217
6.4.8.1 Transformador de Potencia	217
6.4.8.2 Seccionador Fusible	219
6.4.8.3 Ints. Termomagnéticos	219
6.5 Espc. Técnicas de la Sub-estación de Salida en M.T.	220
6.5.1 Transformador de Potencia	
6.5.1.1 Características Técnicas	220
6.5.1.2 Pruebas a efectuarse	222
6.5.2 Esp. Tec: Cortacircuitos-Fusibles	223
6.5.3 Esp. Tec: Pararrayos	224
6.6 Especificaciones Técnicas de las Redes de Distribución	224



## XII

6.6.1	Esp. Tec: de la Red Primaria	224
6.6.1.1	Postes	225
6.6.1.2	Aisladores	225
6.6.1.3	Conductores	226
6.6.1.4	Crucetas	226
6.6.1.5	Pines para aisladores	227
6.6.1.6	Retenida	227
6.6.2	Esp. Tec: de las Subestaciones de Distribución	228
6.6.2.1	Transformadores de Potencia	228
6.6.2.2	Seccionadores Fusibles	229
6.6.2.3	Tableros de Distribución secundaria	230
6.6.2.4	Esp. Tec: del Sistema de Puesta a Tierra	233
6.6.2.5	Loza para soporte de Transfor	233
6.6.2.6	Travesaños	233
6.6.3	Especificaciones Técnicas de las Redes Secundarias	234
6.6.3.1	Postes	234
6.6.3.2	Aisladores	234
6.6.3.3	Conductores	235
6.6.3.4	Portalíneas	237
6.6.3.5	Retenidas	237
6.6.3.6	Pastorales	238
6.6.3.7	Luminarias	238

## XIII

6.6.3.8 Lámparas	239
6.6.3.9 Portafus. y Fusibles A.P	239
7. CAPITULO 7: METRADOS Y PRESUPUESTOS	
7.0 Consideraciones y Resumen	240
7.1 Obras Civiles: Captación y Conducción	241
7.2 D.C. Tubería Forzada y Casa de Máquinas	243
7.3 Eq. Electromecánico: Tubería Forzada y Casa de Máquinas	245
7.4 Equipamiento de Subestaciones:	248
7.5 Redes Primarias	253
7.6 Redes Secundarias	256
8. CAPITULO 8: ESTUDIO ECONOMICO	
8.1 Criterio Económico	260
8.2 Costos de la Alternativa Hidráulica	261
8.2.1 Costos de Inversión	261
8.2.2 Costos de Operación y Mantenimiento	261
8.2.3 Costo de Depreciación	262
8.3 Costos de la Alternativa Térmica	263
8.3.1 Costos de Inversión	263
8.3.2 Costos de Operación y Mantenimiento	263
8.3.3 Costos de Combustible y Lubricantes	264
8.3.4 Costo de Depreciación	264
8.4 Evaluación Económica	265
8.5 Precio Venta Económico : Kw-hr producido	266
8.6 Fondo de Compensación	268
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	

BIBLIOGRAFIA

PLANOS Y ANEXOS

## PROLOGO

Uno de los aspectos que contribuye al desarrollo socioeconómico del país es la electrificación rural de pequeñas localidades tanto de la costa, la sierra y de la selva del territorio.

La presente tesis constituye el proyecto detallado de la electrificación de la localidad de Iquipí, Provincia de Condesuyos, Departamento de Arequipa. Comprende el diseño de una pequeña central hidroeléctrica de 70 KW, la red primaria y las redes de distribución secundaria.

En el capítulo 1 se definen los objetivos, los métodos de trabajo, los alcances y las limitaciones del Proyecto.

A continuación en el capítulo 2 se describe la ubicación geográfica, vías de acceso, clima, población y vivienda, actividades socio-económicas de la localidad de Iquipí.

En el capítulo 3 se realiza el estudio del mercado eléctrico para los diferentes sectores, proyectando la población, el consumo de energía y la máxima demanda para un horizonte de 20 años desde 1990 a 2009.

El diseño de la central se desarrolla en el capítulo 4 iniciándose este con los diseños de obras civiles de conducción y limpieza; el diseño

obras civiles de conducción y limpieza; el diseño de la tubería forzada selección de equipos electromecánicos como son turbina, generador, regulador de velocidad; tableros de control y medición, y subestación elevadora.

En el capítulo 5 se realizan los cálculos eléctricos y mecánicos de las redes de distribución primaria, secundaria y de las subestaciones de distribución en los centros de consumo.

Las especificaciones técnicas de los equipos y materiales en cuanto a calidad, garantías, normas y pruebas se detallan en el capítulo 6.

El metrado y el presupuesto de los suministros de equipos; su montaje y materiales se detalla en el capítulo 7, consignándose los costos en moneda nacional y en dólares, en algunos casos para los equipos de importación.

Finalmente en el capítulo 8 se realiza el estudio económico-financiero del proyecto para conocer su rentabilidad y demás indicadores económicos y establecer el precio de venta de la energía que se puede producir así como la recuperación de la inversión.

El autor del presente estudio desea agradecer a la Dirección Regional de Energía y Minas de Arequipa y al Concejo Distrital de Iquipi por las facilidades

prestadas para la visita de reconocimiento al sitio donde se ubicará la central hidroeléctrica. Se hace presente también el agradecimiento al topografo, Sr. Alberto Garate por su estrecha colaboración del estudio topográfico de la zona.

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

La presente tesis constituye el anteproyecto detallado de la P.C.H. de Iquipi y de sus redes de distribución que pueda servir de base para la licitación de las obras destinadas a lograr esta electrificación y la constatación que su realización es la solución económica más conveniente que otras alternativas que pudiera ser la interconexión con otro sistema o la instalación de un grupo térmico.

Dentro de los planes de electrificación del Ministerio de Energía y Minas a través de la Dirección Regional de Energía y Minas de Arequipa se encuentra la construcción de pequeñas centrales para los diferentes poblados del departamento que cuenten con los recursos esenciales para su aprovechamiento hidroeléctrico que son ; un caudal y un salto aprovechables. Este es el caso del poblado de Iquipi y el anexo Alto Molino ubicado en una de las riveras del rio Ocoña.

Debido a limitaciones presupuestales del antes mencionado Ministerio estos planes no se han llevado a cabo hasta el presente; disponiéndose

solamente de los levantamientos topográficos de la zona donde esta ubicada la caída aprovechable y de los aforos de un canal de uso agrícola derivado del río aguas arriba, que se aprovechará para el presente proyecto.

La metodología seguida consistió primero en hacer un acopió de datos y de información del poblado y del salto aprovechable de : Ministerio de Energía y Minas; Ministerio de Agricultura; Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología archivos de población del Instituto Nacional de Estadística y el Consejo Distrital de Iquipi.

Se realiza también una visita de reconocimiento al sitio verificándose el estado de las obras hidráulicas que se aprovecharán para el proyecto.

De esta manera se conoció la información poblacional; hidrológica, topográfica, climática y socio-económica.

En segundo lugar se procedió a realizar la evaluación de la demanda de energía y potencia para un periodo de 20 años a partir del año 1990. En este punto se ha empleado el método recomendado por Electroperù S.A. para pequeñas poblaciones. Se ha considerado los sectores doméstico, comercial, pequeña industria, cargas especiales, usos generales y alumbrado público, para los cuales se



ha calculado la demanda de energía y potencia los cuales sirven para determinar la potencia que deberá instalarse en la central. Este estudio también nos permite determinar la calificación eléctrica por abonado necesaria para el cálculo posterior de las redes de distribución.

En los capítulos cuarto y quinto se procede a realizar el dimensionamiento de la central tanto de obras hidráulicas como electromecánicas, así como las redes de distribución primaria y secundaria.

Para el presente proyecto se aprovecha un canal de riego existente con su respectiva bocatoma. Se recalcula el caudal del canal proponiendo se mejore sus muros. Se diseñan las estructuras hidráulicas de conducción, limpieza, y evacuación. La selección del grupo turbina-generador y sus equipos auxiliares se ha realizado considerando: el costo de los equipos, su confiabilidad, eficiencia, robustez y principalmente su facilidad de mantenimiento. Se ha procurado mantener los diseños simples sin recurrir a equipos muy sofisticados que incrementarían los costos y que requieran procesos y equipos muy especializados de mantenimiento.

Las redes de distribución secundaria son aéreas por ser las más económicas y se ha procurado en lo

posible mantener los equipos de protección eléctrica a los más indispensables.

Se hace hincapie que las especificaciones técnicas de materiales, equipos, pruebas y garantías serán en algunos casos establecidos en forma definitiva por los fabricantes de equipos y que los valores que se dan serán orientativos.

En el último capítulo se realiza el estudio económico financiero, cuyo objetivo principal es precisar la rentabilidad de la inversión proyectada, según los criterios habituales y de establecer el precio de venta de la energía producida.

Finalmente se presentan las conclusiones derivadas del estudio; y algunas recomendaciones para la explotación de la central.

## CAPITULO 2

### MEMORIA DESCRIPTIVA

#### 2.1.Ubicación Geográfica

La población de Iquipi es la capital del distrito de Rio Grande, provincia de Condesuyos en el departamento de Arequipa, entre las coordenadas 73vo 55 longitud oeste y 15º 37' latitud sur y a una altitud de 450 M.S.N.M.

Se encuentre ubicada en la valle que forma el Rio **Ocoña** en la margen izquierda, aproximadamente a 80 Km. del Océano Pacífico.

En el plano No U-01 se indica la ubicación del poblado.

#### 2.2.Vías de Acceso

La única vía de comunicación que llega a Iquipi es una carretera de penetración afirmada de 100 Km. de longitud que parte de la carretera Panamericana Sur en el Kilómetro 782.

Esta vía consta de dos tramos. El primero, de aproximadamente 60 **Km. que** une la carretera Panamericana con las minas de Ocoña a 2000 M.S.N.M. y que sirve para la extracción de

mineral permitiendo el tránsito de camiones de gran tonelaje.

El segundo tramo, de 40 Km.; es de una trocha serpenteando que desciende desde las minas de Ocoña por la ladera derecha del valle hasta llegar al fondo del mismo y que permite el tránsito de camiones de poco tonelaje por ser estrecha y tener pendientes elevadas.

Cuenta con una oficina de correos y una línea telegráfica desde Caraveli, capital de la provincia vecina.

### 2.3.Clima

El clima de esta parte del valle por su baja altitud es templado, medianamente húmedo y sin precipitación pluvial. El verano es caluroso y las demás estaciones son templadas.

De acuerdo a los datos meteorológicos de la estación Ocoña del SENAMHI durante los años 1978 a 1982 tenemos los siguientes valores medios anuales en este periodo:

- Temperatura máxima : 22.6 °C
- Temperatura mínima : 16.0 °C
- Temperatura media : 19.3 °C
- Humedad relativa : 76%
- Precipitación : nula

#### 2.4. Población y Vivienda

De acuerdo al último censo de población realizado en 1981 por el Instituto Nacional de Estadística la población del distrito de Rio Grande del cual Iquipi es capital tiene la siguiente distribución de habitantes:

Población total: 2613

Población Rural: 2392

Población Urbana 221

La mayoría de viviendas están construidas en adobe y piedra con estructura de madera.

Su estado de conservación es regular o malo.

Las edificaciones de ladrillo y concreto son los edificios públicos : la municipalidad, colegio, la carceleta y local social.

#### 2.5. Actividades Socio-Económicas

La actividad económica principal en la zona es la agricultura, en segundo lugar la ganadería y en tercer lugar el comercio. En menor escala la industria local de vino.

La producción agrícola consiste principalmente de cereales leguminosas, tubérculos, árboles frutales, vid y otros productos de panllevar.

La ganadería está constituida fundamentalmente de ganado vacuno, en menor escala porcino,

caballar y aves de corral.

Toda esta producción agropecuaria es comercializada los pequeños campamentos mineros circudantes como son las minas Cuno-Cuno, Clavelinas y MInas de Ocoña.

El desarrollo socio-economico es bajo careciendo de servicios de electricidad, agua potable y alcantarillado.

Cuenta con una posta mèdica de reducidos servicios. De acuerdo al último censo de poblaciòn solamente el 57.4% de la poblaciòn es alfabetizada.

### CAPITULO 3

#### ESTUDIO DEL MERCADO ELECTRICO

##### 3.1 Estudio de la Demanda

En el presente estudio se emplea la metodología de **proyección** que relaciona el consumo de energía por abonado doméstico con el número de abonados residenciales a través del empleo de curvas de tipo exponencial de la forma

$$Y = Ax^B$$

Esta metodología es utilizada por la Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas y por Electroperu y es a nuestro criterio la que proporciona los mejores estimados **de consumo** de energía y de máxima demanda en proyecciones para **centros** poblados menores, como el del presente proyecto.

Para la proyección de la demanda y consumo de energía se considera un periodo de 20 años a partir de 1990 al año 2009.

### 3.1.1 Demanda Residencial

#### 3.1.1.1 Pronòstico de Poblaciòn

La tasa de crecimiento se ha determinado en base a los datos de los ùltimos censos de poblaciòn de 1972 y 1981.

Estos resultados se muestran en la tabla No. 3.1.

Tabla No. 3.1 Poblaciòn y tasa de crecimiento Poblacional localidad de Iquipi, Provincia de Condesuyos; Dpto. de Arequipa.

	1972	1981	Tasa In tercensal
Poblaciòn total	1487	2613	6.46%
Poblaciòn Rural	1190	2392	8.06%
Poblaciòn Urbana	297	221	-3.23%

La proyecciòn de poblaciòn se ha hecho considerando la tasa intercensal de crecimiento de la poblaciòn rural que es mas representativa, es decir 8.06%.



### 3.1.1.2 Pronòstico del Nùmero de Viviendas

De acuerdo a los resultados del ùltimo censo de poblaciòn de 1981, vemos que en promedio el nùmero de habitantes por vivienda es de 4. Es con este ìndice que se ha proyectado el nùmero de viviendas para todo el horizonte del estudio.

### 3.1.1.3 Pronòstico del Nùmero de abonados

#### Domésticos

El nùmero de abonados se determina utilizando el coeficiente de electrificaciòn que relaciona el nùmero de abonados con el nùmero de viviendas. Para la estimaciòn de este coeficiente existen diferentes mètodos entre los que destacan:

El de proyecciòn lineal continua, el de proyecciòn lineal discontinua y proyecciòn no lineal de tipo saturable.

A nuestro criterio la utilizaciòn de la ùltima de las indicadas es la mäs adecuada porque es de esperarse que el incremento del nùmero de abonados sea mäs acelerado en los primeros

años de servicio y que paulatinamente vaya disminuyendo la proyección.

La proyección de tipo lineal es conservadora y no corresponde en la mayoría de los casos a pequeñas localidades. Tampoco es posible utilizar la proyección lineal discontinua por no disponerse de información confiable que determine los años en que se producirán los saltos.

En el gráfico 3.0 se muestra la curva utilizada recomendada en el informe:

" Diagnóstico de Generación y Distribución a nivel nacional " elaborado por la División Técnica de la Gerencia de Explotación de Electroperù.

#### 3.1.1.4 Consumo de Energía Doméstica

Como se mencionò en el punto 3.1 este consumo se determinará empleando la siguiente curva de tipo exponencial para localidades de menor crecimiento socio-económico.

Y 67.110 N<sup>o</sup>. 3203

donde: Y : Kwh/año

N : Número de abonados  
domésticos.

Esta curva también fue recomendada en el informe " Diagnóstico de Generación y Distribución a nivel Nacional " elaborado por la División Técnica de la Gerencia de Explotación de Electroperù y se muestra en el gráfico 3.1.

### 3.1.2 Consumo Comercial

El consumo comercial se asume como un porcentaje del consumo residencial, porque en esta categoría de localidades la actividad comercial y la pequeña industria están orientadas a satisfacer las necesidades inmediatas de la población sin pretensiones de un desarrollo interregional; creciendo paralelamente a la población y por

ende con el consumo residencial.

De acuerdo a características de poblaciones similares de la región se han considerado el valor de 40% del Consumo Residencial.

### 3.1.3 Consumo de Usos Generales

Este consumo esta constituido por las cargas de tipo institucional; puesto de la G.C., escuelas, colegios, iglesia, posta médica, consejo, carceleta, casa parroquial y camal. Al igual que el sector comercial, su consumo se asume como un porcentaje del consumo residencial que en nuestro caso será constante a lo largo del periodo de proyección y su valor es de 8% del Consumo Residencial.

### 3.1.4 Sector de la Pequeña Industria

**Es aquel** consumo que por su magnitud no se le considera dentro del rubro cargas especiales; es así que para el año 20, se estima que estas cargas no tomarán más de 5 Kw y **que** estan destinadas a actividades artesanales. Para este rubro se ha considerado el

5% del consumo residencial.

### 3.1.5 Consumo por Alumbrado Público

De acuerdo a estadísticas de localidades de la zona, como lo es Cotahuasi capital de la vecina provincia de La Unión del mismo Departamento de Arequipa, asumimos un consumo de energía para alumbrado público por familia el valor de 80Kwh/familia-año.

### 3.1.6 Consumo de Cargas Especiales

En la visita de campo se han identificado las siguientes cargas especiales:

Nombre de la carga Especial	Cantidad	Máxima Demanda
-----------------------------	----------	----------------

- Taller artesanal	10 kw	
--------------------	-------	--

- Posta médica	5 kw	
----------------	------	--

Para determinar este consumo es necesario elaborar el respectivo diagrama de carga, del cual se obtienen las correspondientes horas de utilización, las que multiplicadas

por la máxima demanda y por 365 días determinan el consumo anual de este sector.

En los gráficos 3.2 , 3.3, y 3.4 se muestran los diagramas de carga por tipo de carga y el consolidado.

#### 3.1.7 Energía Facturada

Es la que se obtiene de sumar aritméticamente los consumos, residencial, comercial usos generales, Pequeña Industria, Alumbrado Público y Cargas Especiales.

#### 3.1.8 Energía Total

Es la que se obtiene de añadir a la energía facturada las pérdidas de distribución y de subtransmisión, las cuales se asumen en 6% de la energía facturada respectivamente.

### 3.1.9 Horas de Utilización

#### 3.1.9.1 Sector Residencial, Comercial y Servicios Generales

Se han asumido las horas de utilización de acuerdo a factores de carga de localidades similares a la del proyecto y se esta considerando un incremento lineal de éstas, como se muestra en el gráfico 3.5. Se ha considerado como valor inicial, año 1; 2800 hrs. y como valor final, año 20; 3200 hrs.

#### 3.1.9.2 Sector de Alumbrado Público

Para el caso del alumbrado público se ha considerado un valor constante a lo largo del periodo de estudio de 4000 hrs.

#### 3.1.9.3 Sector de Cargas Especiales

Como se explicó en el punto 3.1.6 las horas de utilización de estas cargas se obtuvieron de sus respectivos diagramas de carga y son :

- Taller artesanal	4675 hrs.
- Posta mèdica	3540 hrs.

y las horas de utilizaciòn de la carga total combinada de cargas especiales, obtenidas de su diagrama son para el aõo 1:H.U. de Cargas Especiales: 3225

Se esta considerando una variaciòn lineal de estas horas de utilizaciòn hasta alcanzar el valor de 4634 hrs. en el aõo 20 del proyecto; como se muestra en el gràfico No. 3.6 .

#### 3.1.10 Màxima Demanda

La máxima demanda de potencia se obtiene de relacionar el consumo de energia de todos los sectores, con sus respectivas horas de utilizaciòn.

En el caso del sector cargas especiales la máxima demanda se obtuvo de la superposiciòn de los diagramas de carga de las cargas especiales consideradas.

Con respecto al diagrama de carga del



dia de máxima demanda de la localidad puede verse en el gráfico No. 3.7 el cual ha sido tomado de los diagramas de carga que para localidades menores elaboró MONENCO (Montreal Electric Co.) para el **V Proyecto de Energía Eléctrica del Perú**, de Electroperú S.A.

En el cuadro No 3.2 se muestra para cada año de estudio del proyecto los siguientes datos y resultados:

- a) Población
- b) Número de familias
- c) Coeficiente de electrificación
- d) Número de abonados domésticos
- e) Consumo de energía doméstico; Kwhr.
- f) Consumo de energía comercial; Kwhr.
- g) Consumo de energía de Usos Generales; Kwhr.
- h) Consumo de energía de la Pequeña Industria; Kwhr.
- i) Consumo de energía por Alumbrado Público; Kwhr.

j) de energía de Cargas  
Especiales; Kwhr.

k) Energía Facturada  
: Kwhr.

l) Pérdidas de energía  
: Kwhr.

m) Energía total  
: Kwhr.

n) Horas de utilización de servicios.

o) Horas de utilización de Cargas  
Especiales.

p) Máxima Demanda Total; Kwhr.

De la tabla No. 3.2 se ha obtenido  
los gráficos Nos. 3.8 y 3.9 son las  
proyecciones de máxima demanda y  
energía para los 20 años de estudio  
del presente proyecto.

TABLA 3.2 PROYECCION DE LA DEMANDA Y ENERGIA

LOCALIDAD: IQUIPI POBLACION 1985: 237 HAB.  
 DISTRITO : RIO GRANDE TASA DE CRECIMIENTO ANUAL: 1.0806Z  
 PROVINCIA : CONDENSUYOS  
 DEPARTAMENTO : AREQUIPA

PERIODO ANO	1 1990	2 1991	3 1992	4 1993	5 1994	6 1995	7 1996	8 1997	9 1998	10 1999
POBLACION:	323	349	377	408	441	476	515	556	601	649
No. DE FAMILIAS:	81	87	94	102	110	119	129	139	150	162
COEF. DE ELECTRIF.:	.536	.566	.542	.615	.636	.655	.672	.688	.703	.717
No. ABONADOS DOMES.	43	49	56	63	70	78	86	96	106	116
CONSUMO DOM. KWH	9720	11577	13609	5850	18338	21107	24197	27649	31507	35823
CONSUMO COM. KWH:	3888	4631	5443	6340	7335	8443	9679	11059	12603	14329
CONSUMO USOS GRALS.:	778	986	1089	1268	1467	1689	1936	2212	2521	2866
CONSUMO PEQ.IND.KWH	486	579	680	793	917	1055	1210	1382	1575	1791
CONSUMO A.P.	6463	6984	7547	8155	8812	9523	10290	11120	12016	12984
CONSUMO C.ESP.KWH	51395	52401	53408	54415	55421	56428	57434	58441	59447	60454
ENERGIA FACTUR.KWH	72729	77099	81776	86821	92290	98245	104746	111863	119670	128248
PERD.DE ENERGIA KWH	4364	4626	4907	5209	5537	5895	6285	6712	7180	7695
ENERGIA TOTAL KWH	77092	81725	86683	92030	97828	104139	111031	118575	126850	135943
HRS.UTILZ.SERVICIOS	2863	2884	2905	2926	2947	2968	2989	3011	3032	3053
HRS.UT.C.ESPS.	3426	3493	3561	3628	3695	3762	3829	3896	3963	4030
MAX.DEM.TOTAL KW	21.8	22.9	24.1	25.3	26.7	28.3	30	31.8	33.9	36.2

PERIODO ANO	11 2000	12 2001	13 2002	14 2003	15 2004	16 2005	17 2006	18 2007	19 2008	20 2009
POBLACION:	702	758	819	885	957	1034	1117	1207	1304	1409
No. DE FAMILIAS:	175	190	205	221	239	258	279	302	326	352
COEF. DE ELECTRIF.:	.73	.743	.754	.766	.77	.987	.8	.807	.816	.825
No. ABONADOS DOMES.	128	141	155	169	186	203	223	243	266	291
CONSUMO DOM. KWH	40652	46055	52100	58864	66431	74896	84363	94949	106785	120016
CONSUMO COM. KWH:	16261	18422	20840	23546	26573	29958	33745	37980	42714	48006
CONSUMO USOS GRALS.:	3252	3684	4168	4709	5315	5992	6749	7596	8543	9601
CONSUMO PEQ.IND.KWH	2033	2303	2605	2943	3322	3745	4218	4747	5339	6001
CONSUMO A.P.	14031	15162	16384	17704	19131	20673	22340	24140	26086	28189
CONSUMO C.ESP.KWH	61461	62467	63474	64480	65487	66493	67500	68507	69513	70520
ENERGIA FACTUR.KWH	137689	148093	159571	172247	186258	201758	218915	237919	258980	282332
PERD.DE ENERGIA KWH	8261	8886	9574	10335	11176	12105	13135	14275	15539	16940
ENERGIA TOTAL KWH	145951	156979	169145	182582	197434	213863	232050	252194	274519	299272
HRS.UTILZ.SERVICIOS	3074	3095	3116	3137	3158	3179	3200	3221	3242	3263
HRS.UT.C.ESPS.	4097	4164	4232	4299	4366	4433	4500	4567	4634	4701
MAX.DEM.TOTAL KW	38.7	41.6	44.7	48.1	52	56.2	60.9	66.1	70.8	71.3

### 3.1.11 Indicadores del Estudio de Mercado Eléctrico

Los indicadores del estudio de mercado para la localidad de Iquipí se obtuvieron del cuadro No. 3.2 y se muestran a continuación:

	Año 1	Año 15	Año 20
Consumo Doméstico			
mensual por			
Abonado (Kwhr.)	18	29	34
Máxima Demanda			
de la localidad	562	285	270
Nº de abonado			
doméstico(vatios)			

La calificación eléctrica para la localidad en consecuencia será de 270 w/lote.

## CAPITULO 4

### DISEÑO DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA

#### 4.1 Recurso Hidrológico

Està constituido por los caudales del rio Ocoña , parte de los cuales son derivados a través de un canal para su aprovechamiento en la central.

Para el desarrollo del presente estudio se dispone de los registros de caudal del mencionado rio aforados en un periodo de 8 años, de 1974 a 1981, en la estación No.4501 del Servicio Nacional de Hidrologia y Metereologia ubicada en el distrito de Salamanca, provincia de Condesuyos del Departamento de Arequipa, con Latitud: 15°50' y Altitud: 3200 M.S.N.M.

La curva de los caudales mensuales medios en este periodo de 8 años se muestra en el gráfico No. 4.1.

De esta curva se puede ver que el caudal mínimo en época de estiaje se da en el mes de Junio con 8.68 m<sup>3</sup>/s y el caudal máximo en época de avenida se da en el mes de febrero con 18.075 m<sup>3</sup>/s.

En el gráfico No. 4.2, curva de duración de

caudales del río, para el mismo periodo, vemos que el caudal con 90% de persistencia es de 8.9 m<sup>3</sup>/seg; caudal que consideraremos como garantizado para realizar los diseños de la central.

#### 4.1.1 Caudal Aprovechable

El caudal que se empleará en la generación es conducido por un canal de regadío existente hecho con piedras, que tiene una longitud de 520 mts. desde su bocatoma en el río hasta el sitio donde se encuentra la caída corriendo paralelamente al río, como se muestra en el plano TP - 01.

De acuerdo a mediciones de caudal, realizadas por los pobladores con asistencia de personal del Ministerio de Agricultura se determinó que el canal transporta un caudal que varía de la siguiente manera durante el año:

MESES	CAUDAL
Enero- Abril	0.920
Mayo-Diciembre	0.780

En consecuencia la central será diseñada considerando el mínimo caudal disponible que es  $0.78 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

Al no existir ninguna otra derivación de caudal en el río Ocoña entre el punto de inicio del canal de riego y la central; se puede afirmar que el caudal de época de estiaje del canal  $0.78 \text{ m}^3/\text{seg}$  está garantizado por el caudal de mayor persistencia del río, es decir  $8.9 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

#### 4.2 Salto Bruto (Hb)

De acuerdo al levantamiento topográfico realizado por la Dirección Regional de Energía y Minas de Arequipa y como se puede apreciar en el plano TP - 01 la altura bruta disponible entre las cotas 463.M.S.N.M.; pelo libre del agua en la cámara de carga y la cota 450 M.S.N.M. nivel del canal de descarga de la central es:  $H_b = 13.1$  metros.

El perfil topográfico de la caída se muestra en el gráfico No. 4.3 observando los cambios de dirección que tiene el terreno.

La altura neta  $H_n$  **aprovechable** será posteriormente calculada.

#### 4.3 Diseño de Obras Civiles

##### 4.3.1 Generalidades

Siendo uno de los objetivos de este proyecto que el costo de construcción sea lo menor posible; se ha tratado de realizar diseños de obras civiles que se caracterizan por su simpleza garantizando **sin** embargo una operación segura de la central. Consecuentemente en algunos casos se



han omitido refinamientos en los diseños de las obras de captación, conducción y en la casa de máquinas. Las obras se han diseñado considerando el máximo caudal en época de avenida que conduce el canal de regadío empleado; es decir 0.9 m<sup>3</sup>/seg.

#### 4.3.2 Obras Existentes

Para el presente proyecto hidroeléctrico se está aprovechando las estructuras hidráulicas de uso agrícola que existen en el lugar las que describiremos a continuación:

##### 4.3.2.1 Bocatoma

Se encuentra ubicada sobre la margen derecha del río Ocoña en la cota 421 M.S.N.M., a 0.5 Km. aguas arriba de la ubicación de la central.

La bocatoma cuenta con: compuerta principal de regulación, compuerta lateral de limpieza y desarenación, rejilla metálica delante de la compuerta de regulación y vertedero lateral para eliminar los excesos en época de avenida.

Està construida en piedra con refuerzos en concreto. Las compuertas son de plancha de fierro de 3/16 pulg. (4.7mm) y accionadas manualmente mediante una volante y tornillo de potencia.

La antigüedad de la bocatoma es de 5 años y su estado de conservación es regular, requiriendo un mantenimiento más frecuente que el que se les da en la actualidad, consistiendo en una limpieza completa de vegetación adherida en sus paredes interiores, arena fina en el fondo, pintado de las compuertas y lubricación del sistema de izaje. Las dimensiones de la bocatoma se muestran en el plano No.OC -1.

#### 4.3.2.2. Canal de Conducción

Para el presente proyecto, se aprovechará de la existencia de un canal de regadio de uso agrícola. Este canal tiene las siguientes características: las paredes y el fondo están construidas con piedras lisas, su longitud es de 520 mts., su

pendiente es de 4 por mil; el estado de conservación en las paredes es regular. Su antigüedad es de 5 años. La sección de canal es rectangular como se muestra en el figura No. 4.4

a) Cálculo del Caudal en el actual Canal

Emplearemos la fórmula de Manning para el cálculo de los caudales tanto en la época de estiaje como de avenida.

La fórmula de Mannig es la siguiente :

$$V = \frac{R h^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

$$R_h = \frac{L \cdot H}{L + 2H} \quad Q = Vv \times A$$

donde:

S : pendiente del canal

$R_h$  : radio hidráulico en metros

N : coeficiente de rugosidad depende

de los parámetros

V : Velocidad del agua en la sección en m/s.

A : área de la sección transversal

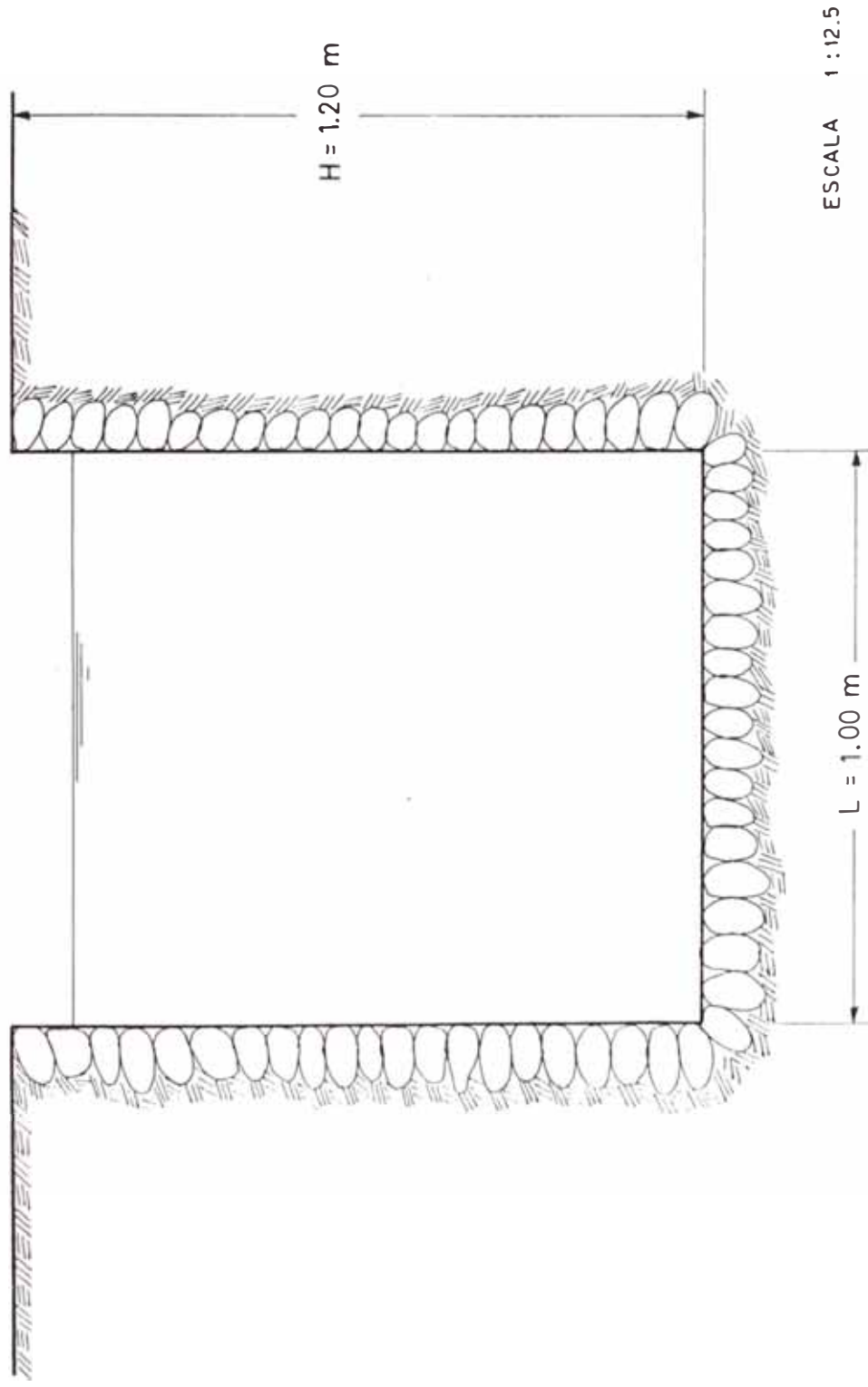


GRAFICO 4. SECCION DEL CANAL DE CONDUCCION

en  $m^2$

$Q$  : caudal del canal en  $m^3/seg$

$H$  : tirante del agua en mts.

b) Caudal en época de estiaje

En esta época del año el tirante de agua en el canal es  $H = 0.90$  m.

Para canales en roca lisa y uniforme; el coeficiente de rugosidad  $n = 0.035$ ; luego con los siguientes datos:

$$L = 1.0 \text{ m}$$

$$H = 0.9 \text{ m}$$

$$S = 0.004$$

$$n = 0.035$$

tenemos:

$$A = 0.9 \text{ m}^2 \quad p = 2.8 \text{ m}$$

$$R = 0.32 \text{ m}$$

$$V = 0.848 \text{ m/s.}$$

$$Q = 0.763 \text{ m}^3/s$$

c) Caudal en época de avenida

El tirante de agua en el canal es de

H=1.1 mts.; tenemos:

$$\begin{aligned} A &= 1.1 \text{ m}^2 & p &= 3.2 \text{ m} \\ R &= 0.34 \text{ m} & V &= 0.887 \text{ m/s} \\ Q &= 0.975 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

A continuación en el gráfico No. 4.5 se muestra la curva de descarga y velocidad en función del tirante del agua en el canal.

#### 4.3.3 Dimensionamiento del Desarenador

El desarenador tiene como función eliminar las arenas en suspensión que contiene el agua para disminuir el desgaste que ésta produce en las turbinas, específicamente en álabes, rodetes, inyectores, agujas, válvulas, etc., disminuyendo así la frecuencia de reparación de las turbinas.

Esta sedimentación se logra disminuyendo la velocidad del agua a lo largo del desarenador, haciendo que la arena en suspensión se deposite en el fondo.

Los criterios que se han considerado para el diseño del desarenador son:

a) Estarà ubicado al fin del trayecto del canal de conducciòn, e immediatamentes antes de la càmara de de la central.

b) El caudal de agua considerado serà el que se presenta en època de avenida, es decir  $Q = 0.975 \text{ m}^3/\text{s}$ .

c) Se diseñarà para poder eliminar particulas de arena cuyo diàmetro minimo serà 0.2 mm.

d) La velocidad lÌmite del agua para lograr la sedimentaciòn de la arena es de 0.21 m/seg.

e) Se considera un coeficiente de seguridad de 1.5 sobre el valor teòrico de la longitud del desarenador.

La velocidad de sedimentaciòn de las particulas de arena esta dado por la fòrmula de Stokes:

$$v = \frac{(\gamma_s - \gamma_f) d^2}{18 \mu}$$

donde:

$V_s$  : velocidad de decantación de la partícula

$\gamma_s$ : peso específico de la arena

$\gamma_w$ : peso específico del agua

$d$  : diámetro de la partícula

$\mu$  : viscosidad dinámica del agua a 20°C

Luego reemplazando los siguientes valores, obtenemos:

$$= 2600 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$d = 0.2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\mu = 1.024 \times 10^{-4} \text{ Kg-seg/m}^2$$

$$V = 0.035 \text{ m/seg.}$$

Para lograr una velocidad del agua  $V_s = 0.21 \text{ m/s}$  con un caudal  $Q = 0.975 \text{ m}^3/\text{seg}$  requeriremos una sección transversal  $A$ :

$$A = \frac{Q}{V} \text{ m}^2$$

$V$

$$A = \frac{0.975 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.21 \text{ m/seg}} = 4.64 \text{ m}^2$$



Si escoqemos un ancho del desarenador  $B = 2.20 \text{ m}$  como se ve en la figura 4.6, tendremos que la profundidad  $H$  del desarenador sera:

$$A = BH \quad H = \frac{A}{B} = \frac{4.64 \text{ m}^2}{2.20 \text{ m}}$$

$$H = 2.10 \text{ m.}$$

#### 4.3.3.1 Calculo de la longitud del Desarenador

Refiriendonos a la figura 4.6 vemos esquematizada una partícula de arena; ;la cual tiene una velocidad vertical hacia abajo  $V_{sed}$  y una velocidad horizontal que es la velocidad del agua en el desarenador  $V_a$ .

El tiempo que requiere la partícula en llegar al fondo es el mismo tiempo que requiere para desplazarse la longitud del desarenador' "  $L$  " por lo tanto tenemos:

$$t = \frac{H \text{ m}}{V_{sed} \text{ m/s}} = \frac{L \text{ m}}{V_a \text{ m/seg}}$$

luego despejando L tenemos:

$$L = \frac{V_a \times H \text{ m} \times \text{Coef. Seg.}}{V_{sed} \text{ m/s}}$$

y reemplazando los valores siguientes:

$$V_{sed} = 0.035 \text{ m/s} \quad \text{Coeficiente de seguridad} = 1.5$$

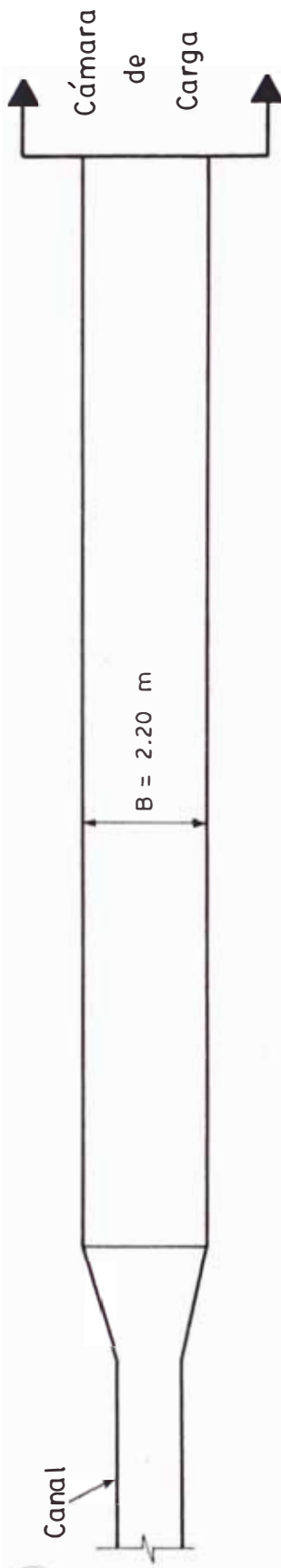
$$V_a = 0.021 \text{ m/s}$$

$$H = 2.10 \text{ m}$$

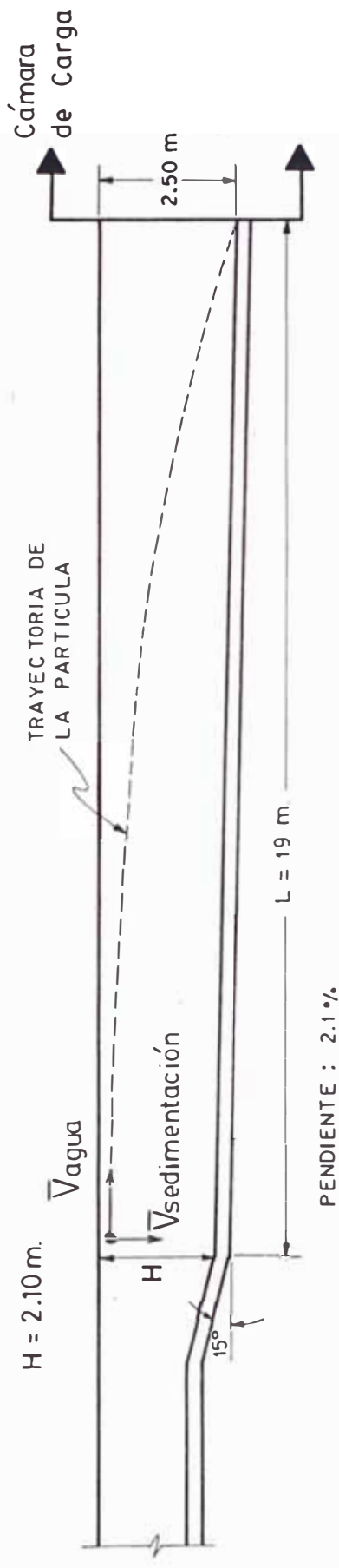
tenemos que:  $L = 12.6 \text{ m} \times 1.5 = 18.90 \text{ m}$   
 Adoptamos una longitud definitiva del desarenador de:

$$L = 19 \text{ m.}$$

El fondo del desarenador tendrá una pendiente de 2.1% para facilitar su limpieza por medio de una compuerta de limpieza la cual estará ubicada al final del desarenador. Las dimensiones y demás detalles constructivos de esta estructura se muestran en el plano No. IE - 01.



VISTA HORIZONTAL



ESCALA 1:125

ELEVACION

GRAFICO 4.6 DIMENSIONES GENERALES DESARENADOR

#### 4.3.4 Dimensionamiento de la Cámara de Carga

Esta estructura hidráulica se emplea solamente en centrales hidráulicas de conducción abierta y esta ubicada entre el canal y la tubería de presión que lleva el agua hasta las turbinas. Su función principal es proveer un volumen de agua suficiente a la tubería, en el caso de conexión de grandes cargas a la línea, fin de evitar el aplastamiento de la tubería por sobrepresiones.

Sirve también para amortiguar las ondas de presión que se presentan con el golpe de ariete cuando hay cierres bruscos de las válvulas.

Si el volumen de la tubería es  $V_t$  y la velocidad del agua en la tubería en las condiciones de caudal máximo es  $V$  siendo la sección de la tubería  $A$  tenemos que el tiempo de vaciado,  $T$  será:

$$T = \frac{V_t}{V \cdot A}$$

Siendo:

$$V_t = L \times A \quad A = \frac{d^2 \pi}{4}$$

$$V = \frac{Q_{\max}}{A} \quad A = \frac{Q_{\max}}{V}$$

donde:

A = área de la sección transversal de la tubería en m<sup>2</sup>.

Q max = caudal máximo en m<sup>3</sup>/s

L Longitud aproximada de la tubería, m.

d = diámetro de la tubería, m.

V = velocidad del agua en la tubería (se recomienda sea de 2-6 m/s para reducir pérdidas por fricción).

Reemplazando los siguientes valores:

V = 2 m/s Qmax = 0.975m<sup>3</sup>/s L = 25m.

Obtenemos:

$$d = 0.79 \text{ m} = 0.80 \text{ m}$$

$$A = 0.50 \text{ m}^2$$

Luego el volúmen de la tubería será:

$$V_t = 25 \text{ m} \times 0.50 \text{ m}^2 = 12.5 \text{ m}^3$$

y el tiempo de vaciado será :

$$T = 12.5 \text{ seg.}$$

En este mismo tiempo, la cámara de carga deberá ceder a la tubería y recibir a su vez un volúmen  $V_{c.c.}$  que será:

$$V_{c.c} = Q_{max} \cdot T \text{ m}^3$$

$$V_{c.c} = 0.975 \text{ m}^3/\text{s} \times 12.5 \text{ s}$$

$$V_{c.c} = 12.2 \text{ m}^3$$

Este volúmen es el que emplearemos en dimensionar la cámara de carga ; y será el volúmen neto de agua entre el nivel mínimo aceptable ligeramente superior a la entrada de la tubería y el nivel normal de la superficie del agua en la cámara.

Si llamamos  $b$  a esta diferencia y fijamos su valor en 2.10 m., que es la misma profundidad del desarenador; tenemos que si escogemos una cámara de carga de forma rectangular , el area  $S$  de la cámara de carga será  $S \text{ m}^2$  .:

$$S = \frac{Q_{max} \cdot T}{b}$$

$$S = 12.2 \text{ m}^2 = 5.80 \text{ m}^2 \\ 2.10 \text{ m.}$$

Adoptando como ancho de la cámara de carga el mismo del **desarenador**, es decir  $B = 2.20 \text{ m}$ , tendremos que la longitud de la cámara será:

$$l = \frac{S}{B} = \frac{5.80 \text{ m}^2}{2.20 \text{ m}} \\ l = 2.64 \text{ mts.}$$

Las **dimensiones** generales de la cámara de carga se muestran en la figura No. 4.7 y **los diseños** en detalle en el plano No. IE-01.

#### 4.3.4.1 Accesorios de la Cámara de Carga

##### a) Rejilla

Para determinar el número de barrotes de la rejilla consideraremos que cada barrote está construido por platina de Fe de  $4.5 \times 45 \text{ mm}$ ; ( $3/16" \times 13/4"$ ) y que la separación entre platinas sera  $30 \text{ mm}$ . Siendo el ancho de la cámara de carga  $2.20 \text{ m.}$ , tenemos que:

$N$  = número de platinas de la rejilla

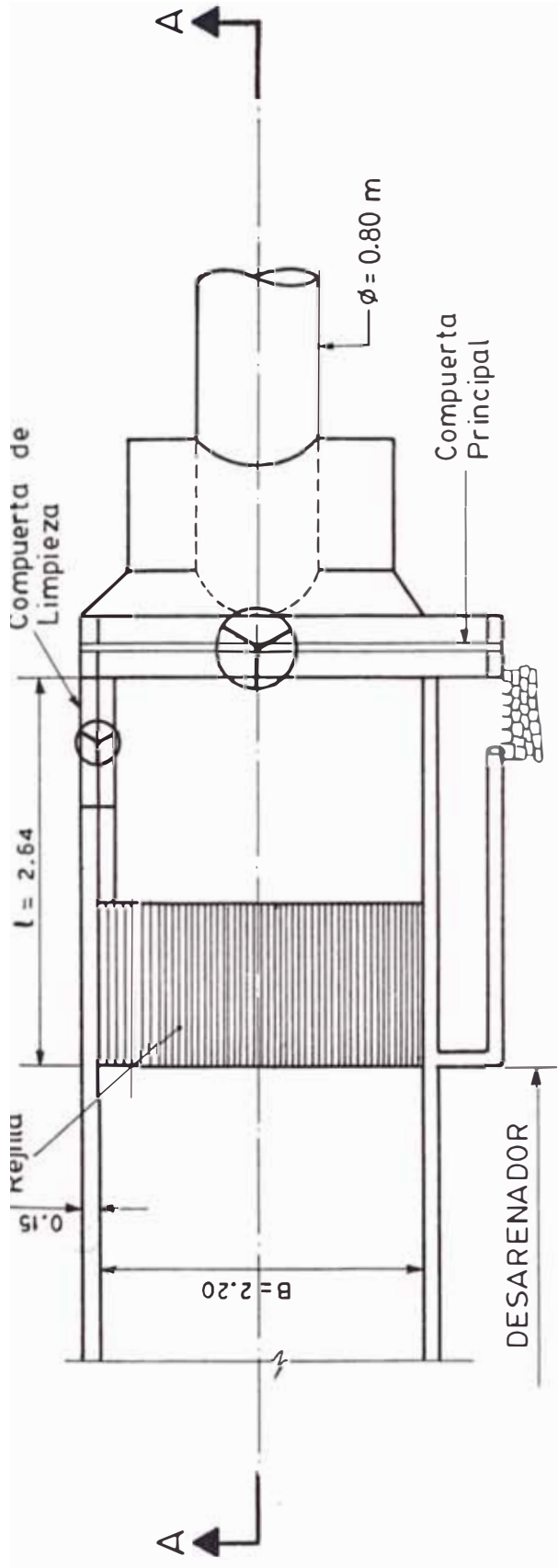


GRAFICO 4.7 CAMARA DE CARGA : Vista Superior

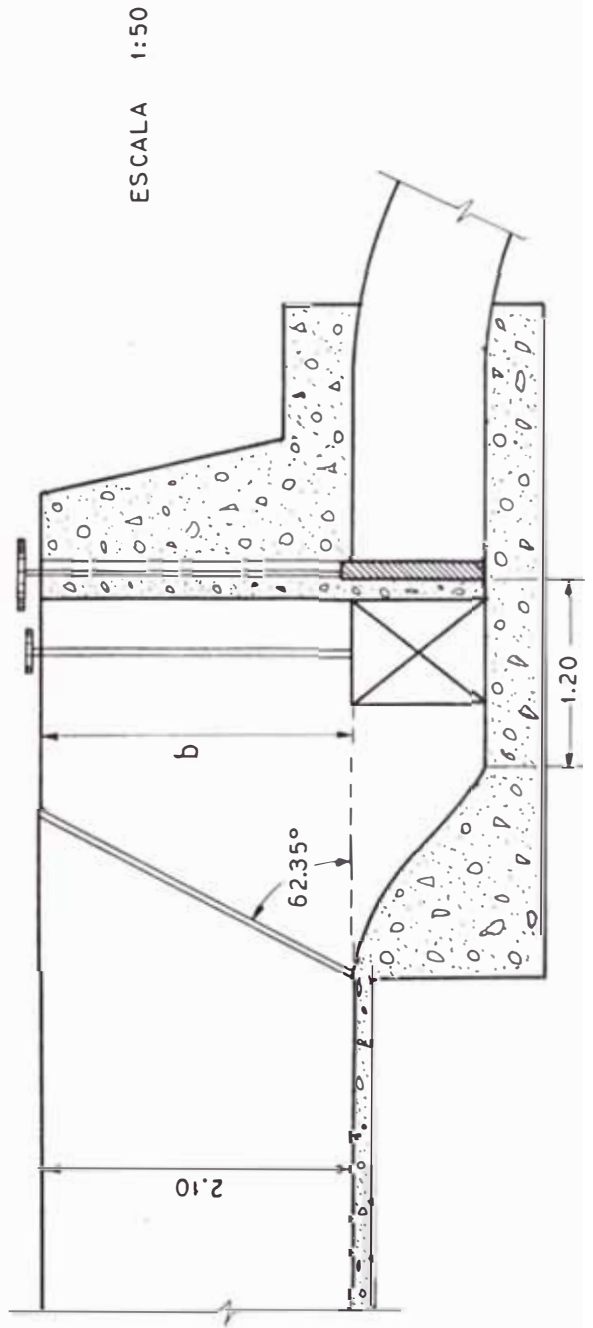


GRAFICO 4.8 CAMARA DE CARGA : Sección A-A



$$2000 = 4.5 N + ( N+1 ) 30$$

$$N = 62$$

La rejilla irá dispuesta en la cámara de carga tal como se muestra en la figura No. 4.8.

b) Aliviadero

La cámara de carga llevará un aliviadero cuya función principal es limitar el nivel del agua en la cámara de carga en el caso que este suba más arriba de su nivel de caudal máximo de diseño; ya sea originado por avenidas inusuales o derrumbes en el canal de aducción.

No existe un criterio que fije la capacidad de descarga de un aliviadero en forma precisa; sin embargo la experiencia en construcción y operación de centrales hidroeléctricas sugiere que la capacidad de descarga de un aliviadero sea del 75% del caudal máximo de diseño; criterio que adoptaremos en el dimensionamiento del aliviadero del presente proyecto.

#### 4.3.5 Tubería de Presión

#### 4.3.5.1 Generalidades

En las centrales hidroeléctricas la tubería de presión o tubería forzada tiene por objeto conducir el agua desde la cámara de carga a la turbina permitiendo la transformación de la energía potencial de posición del agua en energía de presión, la cual es transformada en energía eléctrica por el grupo turbina-generador.

#### 4.3.5.2 Velocidad limite en la tubería

La velocidad del agua en la tubería tiene importancia ya que es un factor determinante en las pérdidas de carga por fricción a lo largo de la tubería y por lo tanto en la potencia que desarrolla la turbina; adicionalmente se deben evitar velocidades elevadas ya que estas aumentan la posibilidad de golpes de ariete; hacen mas difícil la regulación de la turbina e incrementan la turbina contribuyendo asi a mayores pérdidas.

Algunos autores recomiendan mantener esta velocidad en el rango de 4 a 6

m/s., para el caso centrales grandes; sin embargo en los saltos bajos de Pequeñas Centrales donde se busca aprovechar lo mas posible del salto; se procurará reducir las pérdidas por fricción; es así que fijamos la velocidad del agua en 2 m/seg para nuestro caso.

#### 4.3.5.3 Cálculo del Diámetro de la tubería

El diámetro de la tubería será constante a lo largo de toda la conducción por ser el salto de poca altura.

Habiendo fijado la velocidad,  $V$ ; en 2 m/seg calculamos el diámetro, considerando como caudal el que se da en la época de avenida es decir:

$$Q_{\max} = 0.975 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\max} = V \cdot A$$

$$D = \sqrt{\frac{Q_{\max}}{V \times \pi}}$$

donde:

$Q$  : caudal en  $\text{m}^3/\text{seg}$

$A$  : sección transversal de la tubería  $\text{m}^2$

V : velocidad del agua m/s

Reemplazando **valores** obtenemos el diámetro buscado:

$$D = 0.80 \text{ m.}$$

valor que adoptaremos para el diseño de la tubería de la central del presente proyecto.

#### 4.3.5.4 Cálculo de las pérdidas en la tubería

Habiendo definido ya el diámetro de la tubería de presión; **procedemos a** calcular las pérdidas debidas a la fricción. Con el objeto de lograr el **mayor** aprovechamiento del salto fijamos que estas perdidas sean a la sumo el 2% del salto bruto.

Se calculan por medio de la ecuación de Darcy:

$$h_f = \frac{f L V^2}{D 2g}$$

donde:

h = pérdida de altura en metros

$\nu$  = viscosidad cinemática del agua  
a 10°C

L = longitud de la tubería en m.

D = velocidad del agua en m/s

$f$  = factor de fricción que depende del número de Reynolds, y de la rugosidad del tubo.

Reemplazando valores para calcular el No.de Reynolds y con la ayuda del diaq. de Moody determinamos el factor de fricción.

$$\begin{aligned} \nu &= 1.306 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} & L &= 27\text{m} \\ D &= 0.8\text{m} & V &= 2\text{m/s} \\ \text{Re} &= 1'2231,241 \\ f &= 0.013 \end{aligned}$$

Luego las pérdidas en la tubería serán:

$$h_f = 0.09\text{m}$$

Esta altura representa el 0.7% de la altura bruta la cual es menor que el 2% que fijamos como máximo permisible; en consecuencia vemos que el diámetro de la tubería y la velocidad del agua han sido convenientemente fijados.

#### 4.3.5.5 Cálculo del Espesor de la Tubería

Para determinar el espesor de la tubería tendremos en cuenta la presión hidrostática y la

sobrepresión por golpe de ariete , que no deberá ser superior al 50% del valor de la presión hidrostática. (Manual de Ing. Mec. Marks).

Adicionalmente consideraremos un sobreespesor para compensar el desgaste del acero debido la corrosión.

El espesor esta dado por la siguiente expresión:

$$e = \frac{P \cdot D}{2 \cdot n} + e'$$

Donde:

e = espesor de la tubería en mm.

p = presión interior considerando sobrepresión por golpe de ariete Kg/mm<sup>2</sup>

D =diámetro interior de la tubería mm.

$\sigma$  = esfuerzo de trabajo del acero

$\sigma_y$  = esfuerzo de fluencia

e' = sobreespesor por corrosión y desgaste en mm.

n = eficiencia de la soldadura respecto al material de la plancha

Reemplazando los siguientes valores:

$$p = 1.5 * Hn * 1000 \text{Kg/m}^3 = 19,650 \text{Kg/m}^2 \\ = 0.01965 \text{ Kg/mm}^2.$$

$$D = 800 \text{ mm}$$

$$(25 \text{ Kg/mm}^2 / 2)$$

$$n = 0.9$$

$$e' = 2.5 \text{ mm.}$$

$$e = \frac{0.01965 * 800}{2 * 12.5 * 0.9} + 2.5$$

$$e = 3.2 \text{ mm}$$

Comercialmente escogemos plancha de acero estructural de 3/16 pul (4.76 mm)

#### 4.3.5.6 Golpe de Ariete, tiempo minimo de cierre

Este fenómeno se **produce** en la tubería forzada al abrir o cerrar una válvula al poner en marcha o parar la turbina o también al disminuir bruscamente el caudal, al suprimir carga súbitamente al alternador.

El golpe de ariete es positivo cuando se cierra la válvula **creando** una sobrepresión y negativo cuando se

abre la válvula creando una depresión.

En éste acápite determinaremos el tiempo mínimo de cierre de la válvula para que la sobrepresión no supere el 50% de la altura bruta; fijado en el cálculo del espesor de la tubería.

Para esto calculamos la velocidad de propagación de la onda de presión o celeridad que esta dada por la siguiente expresión:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E_0}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_0 D}{E e}}}$$

donde:

c : celeridad de la onda del fluido en la tubería, m/seg

$E_0$ : módulo de elasticidad del agua a la compresión  $\text{Kg/m}^2$ .

E : módulo de elasticidad del acero  $\text{Kg/m}^2$

$\rho$  : densidad del fluido  $\text{Kg/seg}^2$

D : diámetro de la tubería m

e : espesor de la tubería m.



Reemplazando los valores:

$$\begin{aligned} E_0 &= 2.07 \cdot 10^9 \text{ Kg/m}^2 \\ &= 102.8 \text{ Kg/seg}^2\text{m} \\ D &= 0.8 \text{ m} \\ e &= 0.0048 \text{ m} \\ E &= 2 \cdot 10^{10} \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

Obtenemos:

$$c = 860 \text{ m/seg}$$

A continuación calculamos el tiempo crítico, o el periodo que demora la onda de presión en recorrer la tubería desde la válvula hasta el extremo libre y nuevamente la válvula. Esta dado por la expresión:

$$T = \frac{2L}{c} = \frac{2 * 26.5}{860} = 0.06 \text{ seg}$$

Como el cierre de la válvula demora un tiempo  $t_c$  mayor que  $T$ , debido a que no se pueden construir mecanismos que produzcan cierres tan rápidos y peligrosos calcularemos este tiempo de cierre,  $t_c$  mínimo para limitar la sobrepresión al 50% del valor de la carga estática  $H_b$ .

La sobrepresión para cierre lento de

una válvula esta dada por la siguiente fórmula:

$$\Delta P = \frac{K \rho L V}{t_c}$$

donde:

- $\Delta P$  : sobrepresión por golpe de ariete, Kg/m<sup>2</sup>
- $\rho$  : densidad del agua; Kg/seg<sup>2</sup>m<sup>-4</sup>
- L : longitud de la tubería, m.
- V : velocidad del agua en la tubería m/seg
- t<sub>c</sub> : tiempo de cierre, seg
- K : coeficiente para ser tubería elástica= 2

Reemplazando:

$$P = 0.5 * 1000 \text{Kg/m}^3 * 13.1 \text{m} = 6550 \text{ Kg/m}^2$$

$$\rho = 102.8 \text{Kg/seg}^2 \text{m}^{-4}$$

$$L = 26.5 \text{ m}$$

$$V = 2 \text{ m/seg}$$

Obtenemos:

$$t_c = 1.65 \text{ seg.}$$

Luego, el mecanismo de cierre de la válvula deberá actuar en un tiempo no

menor a 1.65 segundos para garantizar que la **sobrepresión por golpe** de ariete no supere el 50% de la carga **estática normal**.

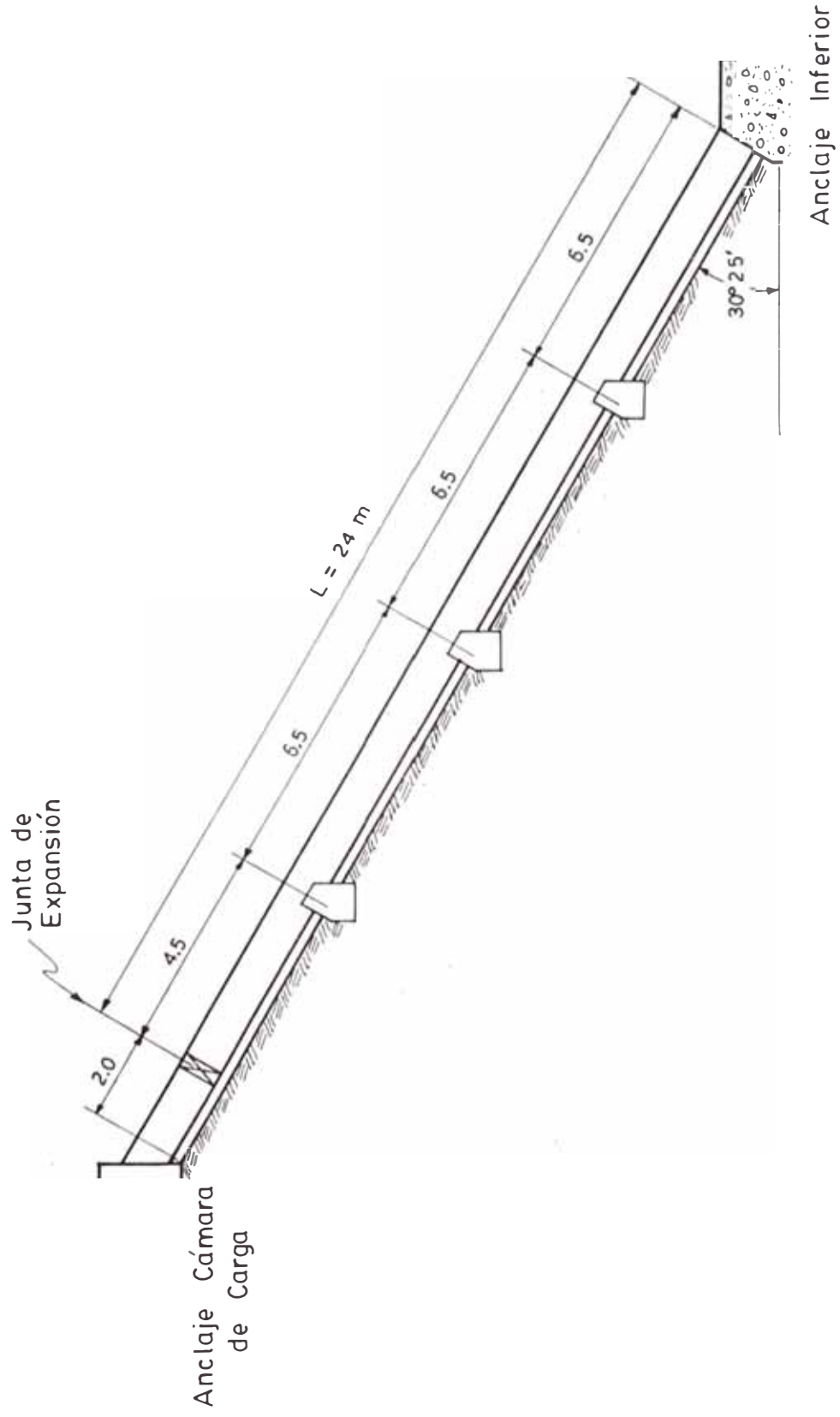
#### 4.3.5.7 Cálculo de los Anclajes y Apoyos

La tubería **forzada de** la P.C.H. irá montada al **exterior sobre** apoyos y anclajes. Los apoyos y anclajes serán dispuestos como se muestra en la **figura No. 4.9**.

##### a) Apoyos

Sirven para separar la tubería del **contacto** con el suelo, evitar corrosiones y facilitar su inspección en todo momento. El contacto entre la tubería y **los apoyos** será por deslizamiento **ubicado**, entre la superficie de la tubería y un ángulo de acero fijado en cada apoyo.

La distancia entre **los apoyos** la **fijamos en** 6.5m. de tal manera que quede apoyada en 4 tramos de igual longitud verificamos ahora que esta separación entre apoyos no asigne



ESCALA 1:150

GRAFICO 4.9 DISTRIBUCION DE APOYOS Y ANCLAJES DE LA TUBERIA FORZADA

ahora esfuerzos por flexión que sean superiores al esfuerzo de diseño y que no origine deformaciones permanentes en la tubería.

Considerando a la tubería entre los apoyos como una viga simplemente apoyada con carga distribuida; calculamos el esfuerzo por flexión debido al peso de la tubería y del agua por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{WL^2r}{8I}$$

donde:

W = W1 + W2 : peso total neto en Kg.

W1 = peso del tubo en Kg/m

W2 = peso del agua en Kg/m

L = longitud entre apoyos, m

r = distancia del eje neutro a la fibra más alejada m

I = mto. de inercia de la sección m.

$$I = \frac{[d+2e]^4 - d^4}{12}$$

$e$  = espesor de la tubería, m

$d$  = diámetro interior de la tubería, m

Reemplazando los siguientes valores encontramos el esfuerzo por flexión

$$W_t = d \cdot e \cdot \text{acero} = 94 \text{ Kg/m}$$

$$W_a = d^2 \cdot a = 503 \text{ Kg/m}$$

$$W = 597 \text{ Kg/m}$$

$$L = 6.5 \text{ m} \quad e = 3/16 \text{ pul} = (0.0048 \text{ m})$$

$$= (d + 2e) / 2 = 0.41 \text{ m}$$

$$I = 8.2 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$\sigma = 157.6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma < \sigma_{\text{diseño}} \quad \sigma_{\text{diseño}} = \sigma_{\text{fluencia}} / 2$$

$$\sigma_d = \sigma_y / 2 = 2500 \text{ Kg/cm}^2$$

$$157.6 \text{ Kg/cm}^2 < 1259 \text{ Kg/cm}^2$$

Luego concluimos que la longitud escogida entre apoyos 6.5m es adecuada. La distribución de los apoyos y anclajes es como se muestra en la fig. 4.10

Procedemos, ahora a calcular las cargas sobre los apoyos para luego determinar su volumen y área mínima requerida para dar estabilidad a la tubería forzada.

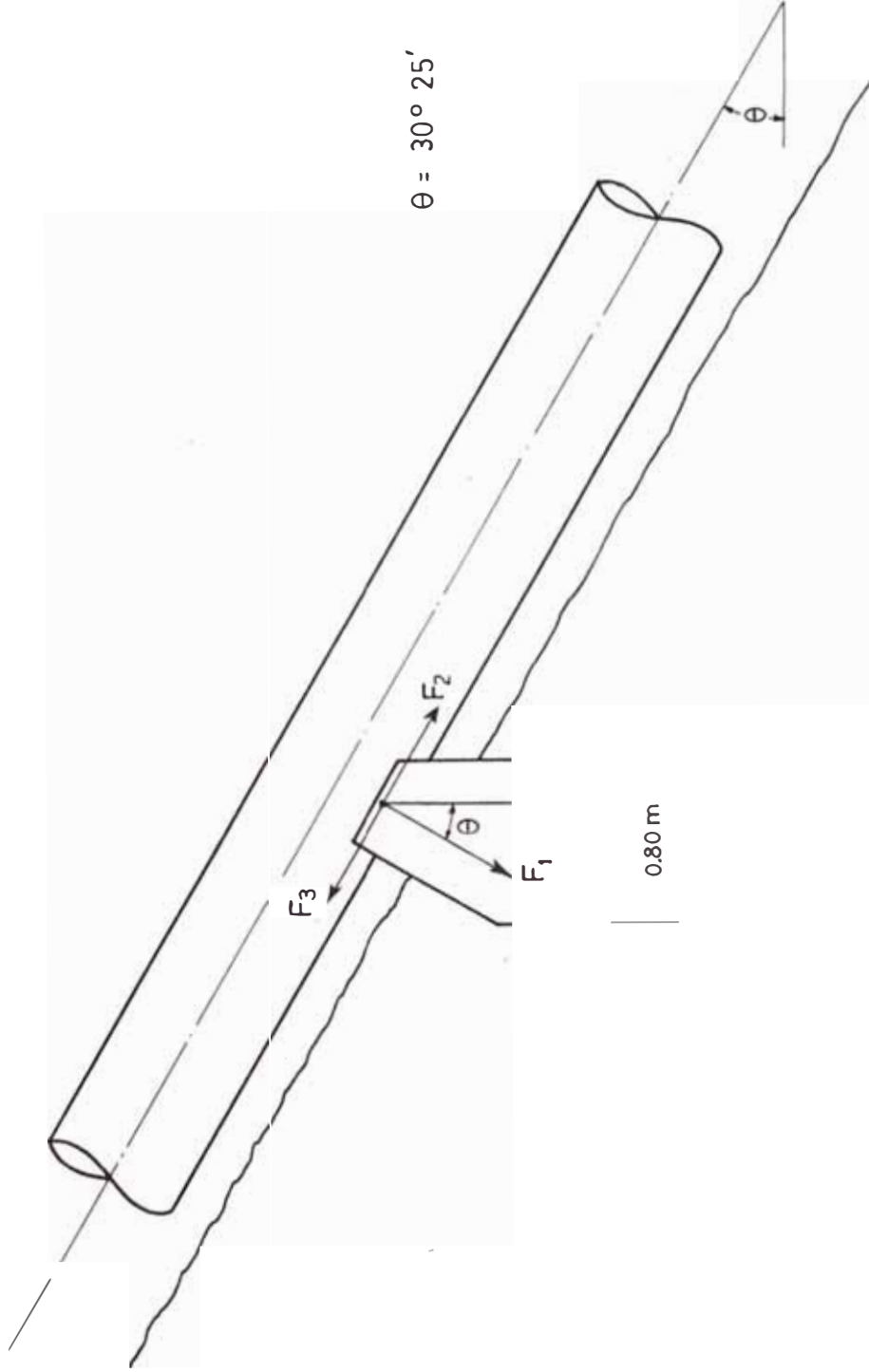


GRAFICO 4.10 APOYO INTERMEDIO DE LA TUBERIA FORZADA

Las cargas sobre los apoyos son :

- Normal al tubo; la componente de las cargas que trasmite el tubo (F1).

- Paralelas; la componente tangencial de las cargas que trasmite el tubo (F2) y la fuerza de fricción; F3 ente esta y el apoyo, que neutraliza a la fuerza por dilatación térmica.

- Componentes del peso; ver Figura # 4.10

$$\text{Normal : } F1 = W1 \text{ sen } \theta$$

$$\text{Paralela : } F2 = W1 \text{ cos } \theta$$

- Fuerza de fricción;  $F3 = F1 \mu$

donde:

$$l = 6.5\text{m} \quad \theta = 30^{\circ}25'$$

$$W = 597\text{Kg/m}$$

$$\mu = 0.2 \text{ (coef. fricción entre hierro y hierro).}$$

tenemos:

$$F1 = 1965\text{Kg.}$$



$$F2 = 3346\text{Kg.}$$

$$F3 = 6692\text{Kg.}$$

La carga resultante sobre el apoyo es:

$$Fr = 3168\text{Kgs.}$$

- La carga sobre el suelo

En esta parte dimensionaremos el área mínima y volúmen del apoyo, de tal manera que el esfuerzo sobre el terreno no sobrepase, el valor de  $1.5\text{Kg/cm}^2$  que corresponde a suelos de tierra arenosa como es el caso en el presente proyecto.

Si consideramos un apoyo de la forma mostrada en la fig.4.10 vemos que el esfuerzo esta dado por la expresión:

$$\sigma = (Fr+Wc)$$

donde:

$\sigma$  : capacidad portante del terreno  
 $1.5 \text{ Kg/cm}^2$

$P_t$  : carga debida a la tubería y el  
 agua, Kgs

$W_c$  : peso del apoyo de concreto ;  
 Kgs

$S$  : superficie del apoyo en  $\text{cm}^2$

Si asumimos una área de  $8000 \text{ cm}^2$  tenemos  
 que; el peso del agua será :

$$W_c = \sigma S - P_t$$

$$W_c = 8832 \text{ Kgs}$$

Considerando el **peso específico** del  
**concreto**

$\gamma_c = 2300 \text{ Kg/m}^3$  tenemos que el **volúmen** del  
**apoyo será:**

$$V = \frac{W_c}{\gamma_c} = 3.84 \text{ m}^3$$

Fijamos como **dimensiones** del **área** de  
**apoyo:**

$$l = 100 \text{ cm} \quad \text{y} \quad b = 80 \text{ cm}$$

$$S = l * b = 8000 \text{ cm}^2$$

#### b) Anclajes

Se requiere un anclaje en el punto de  
 cambio de dirección de la tubería, es  
 decir en el codo de ingreso a la casa

de máquinas, para evitar el movimiento de esta. Será un bloque de hormigón y la tubería irá embebida dentro de él, como se muestra en la fig No4.11.

Para establecer las dimensiones del bloque de anclaje calcularemos primero las fuerzas que son transmitidas por la tubería. En el lado de aguas arriba del anclaje son :

- La componente del peso de la tubería y del agua; normal al eje de la tubería:

$$F1 = (wt + Wa) L / 2 \cos \theta \quad w1 = 94 \text{ Kg/m}$$

$$F1 = (94 + 503) (6.5 / 2) \cos(30^\circ 25')$$

$$W2 = 503 \text{ Kg/m}$$

$$F1 = 1673 \text{ Kg}$$

- La componente del peso propio de la tubería, paralela al eje de la misma

$$F2 = WtL \sin \theta$$

$$F2 = 94 \times 24 \times \sin 30.25' = 1142.2 \text{ Kgs}$$

- Rozamiento en los apoyos que actúan hacia el anclaje

$$F3 = f(Wt + Wa)L \cos \theta \quad f = 0.20 \text{ (acero sobre acero)}$$

$$F3 = 0.2(94 + 503) \times 24 \cos 30.25' = 2470 \text{ Kgs}$$

- La presión del agua en la dirección

de eje hacia el anclaje considerando sopresión por golpe de ariete :

$$F_4 = D^2/4 \rho \times (1.5H)$$

$$F_4 = 0.8^2 \times 3.14 \times 0.25 \times 13.1 \times 1000 = 9900 \text{Kqs}$$

$$F_5 = F_4$$

- Fuerza centrífuga producida por el cambio de dirección en el codo, cuya dirección coincide con la bisectriz del ángulo formado por las normales de la tubería. Para facilidad de cálculo remplazamos esta fuerza por dos iguales coaxiales con la tubería y dirigidos hacia el anclaje; siendo su valor :

$$F_6 = F_7 = \frac{\gamma Qv}{g} = \frac{1000 \times 0.975 \times 2}{981} = 200 \text{ Kqs}$$

Las direcciones y sentidos de las fuerzas se muestran en la fig 4.12

Calculamos las resultantes horizontales y verticales:

$$F_h = -F_1 \text{sen}\theta + (F_2 + F_3 + F_4 + F_6) \text{cos}\theta - F_5 - F_7$$

(positiva izquierda a derecha)

$$F_v = -F_1 \text{cos}\theta - (F_2 + F_3 + F_4 + F_6) \text{sen}\theta$$

(negativa hacia abajo)

Obtenemos:

$$F_h = 877\text{Kgs}$$

$$F_v = -8386\text{Kgs}$$

Considerando como capacidad portante del terreno  $= 1.5\text{Kg/cm}^2$ , peso específico del concreto  $\gamma_c = 2300\text{Kg/cm}^3$  y coeficiente de fricción con el suelo  $f = 0.3$ , calculemos las dimensiones del bloque del anclaje.

Las condiciones de estabilidad que deben cumplirse son las siguientes:

- Las fuerzas de fricción entre el bloque y el suelo deben ser superiores que el empuje horizontal  $F_h$ .

$$F_h < f(G_c + F_v) \quad G_c: \text{ peso del bloque}$$

$$877 < 0.3 (G_c + 8386) \quad \text{de hormigón}$$

$$G_c > 5463\text{Kgs}$$

Luego el volumen necesario de hormigón será:

$$\text{Vol concreto} = \frac{5463\text{Kg}}{2399\text{Kg/m}^3} = 2.4 \text{ m}^3$$

Tomando como coeficiente de seguridad

1.2 tenemos volúmen **concreto** de diseño=2.9m<sup>3</sup>, asumimos que la dimensión en el sentido horizontales de 2mts. En la fig.4.11 se muestra la colocación de tubería **dentro** del bloque de concreto.Considerando una altura del bloque de 2 metros.

Calculamos el volúmen ocupado por la tubería.

$$\text{Vol.tubo} = 0.82^2 / 4 (1 + 1/\cos 30.42) \pi$$

$$\text{Vol.tubo} = 1.086 \text{m}^3$$

El volúmen total del bloque será :

$$\text{Vol.Bloque} = V_{\text{concreto}} + V_{\text{tubo}}$$

$$\text{Vol.bloque} = 2.9 + 1.086 = 4.0 \text{ m}^3$$

Luego el ancho del bloque se obtiene dividiendo el volúmen obtenido entre el área.

$$a = \frac{4.0 \text{m}^3}{2 \times 2 \text{m}} = 1.0 \text{ m}$$

$$2 \text{m} \times 2 \text{m}$$

El peso final del bloque será entonces:

$$G_v = \gamma_c (\text{Vol bloque} - \text{Vol tubo})$$

$$G_v = 2300 [2(2)(1) - 1.08] = 6716 \text{Kgs}$$

La suma de fuerzas verticales es :

$$F_{vt} = 6716 \text{kgs} + 8386 \text{Kgs} = 15102 \text{Kgs}$$

El esfuerzo sobre el suelo será :

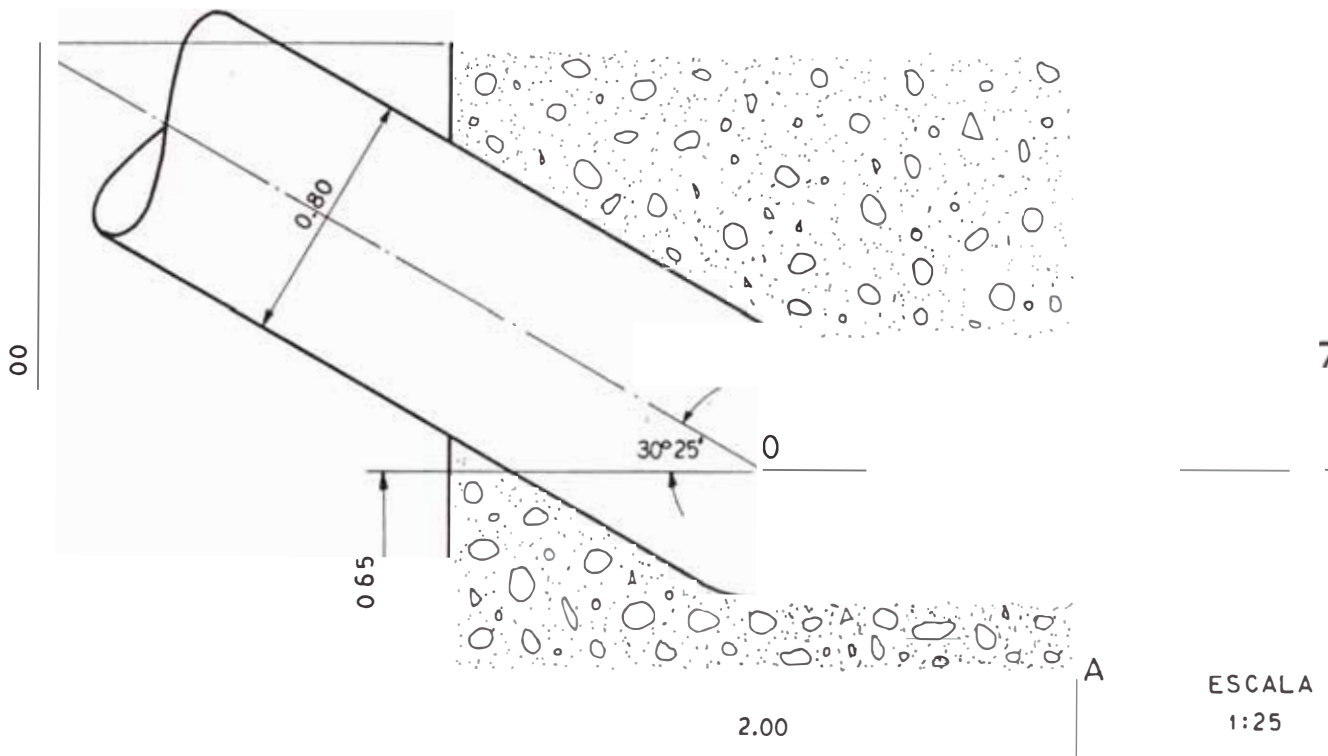


GRAFICO 4.11 ANCLAJE INFERIOR DE LA TUBERIA FORZADA

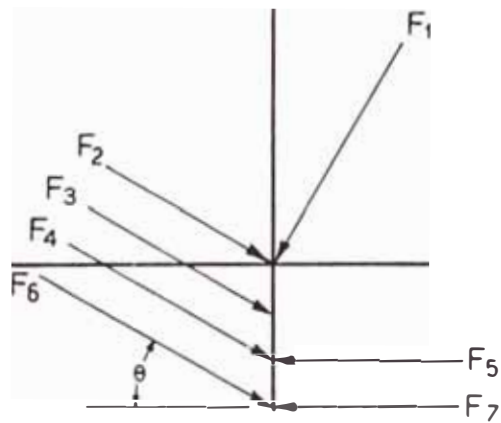


GRAFICO 4.12 DIAGRAMA DE FUERZAS EN EL ANCLAJE

$$\sigma = \frac{Fvt}{\text{Area}} = \frac{15102\text{Kg}}{2 \times 1\text{m}} = 7551\text{Kgs/m}^2$$

$$\sigma = 0.7551\text{Kg/cm}^2 < 1.5\text{Kg/cm}^2$$

La suma de momentos respecto al punto

A es:

$$M = Fvt(2) - Fh(0.65)$$

$$M = 29634\text{Kg-mt}$$

Luego  $M / Fv > b / 3$

$$\frac{29634}{15102} > 1.96\text{m}$$

$$1.96 > 0.33\text{m}$$

c) Accesorios de la Tubería Forzada

La tubería forzada debe llevar para su **protección** los siguientes accesorios:

-Junta de Expansión

Tienen por **objeto** permitir la dilatación longitudinal de la tubería por **acción** del calor a fin de evitar las deformaciones y **esfuerzos** a que estaría **sometida** si no pudiera dilatarse libremente.

La **junta de expansión** está ubicada como se muestra en la fig. 4.9 a 2.0



m. de la cámara de carga.

Considerando la longitud de la tubería  $l = 24$  m. tendremos que para un cambio de temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$  la dilatación será :

$$\Delta L = 1.4 \times 10^{-5} t l$$

$$\Delta L = 0.02 \text{mts}$$

Luego dejaremos un espacio de 5 cm libre que permita la dilatación de la tubería.

La junta de dilatación consistirá de 4 anillos de estopa como se muestra en la fig. 4.13.

- Tubo de aireación

La finalidad de esta tubería es de permitir el ingreso de aire a la tubería forzada en caso de vaciarse bruscamente el agua, evitando así el aplastamiento por depresión. Este tubo estará instalado al inicio de la tubería forzada, en la cámara de carga.

El diámetro de este tubo lo estimamos considerando la expresión de Santo Potess :

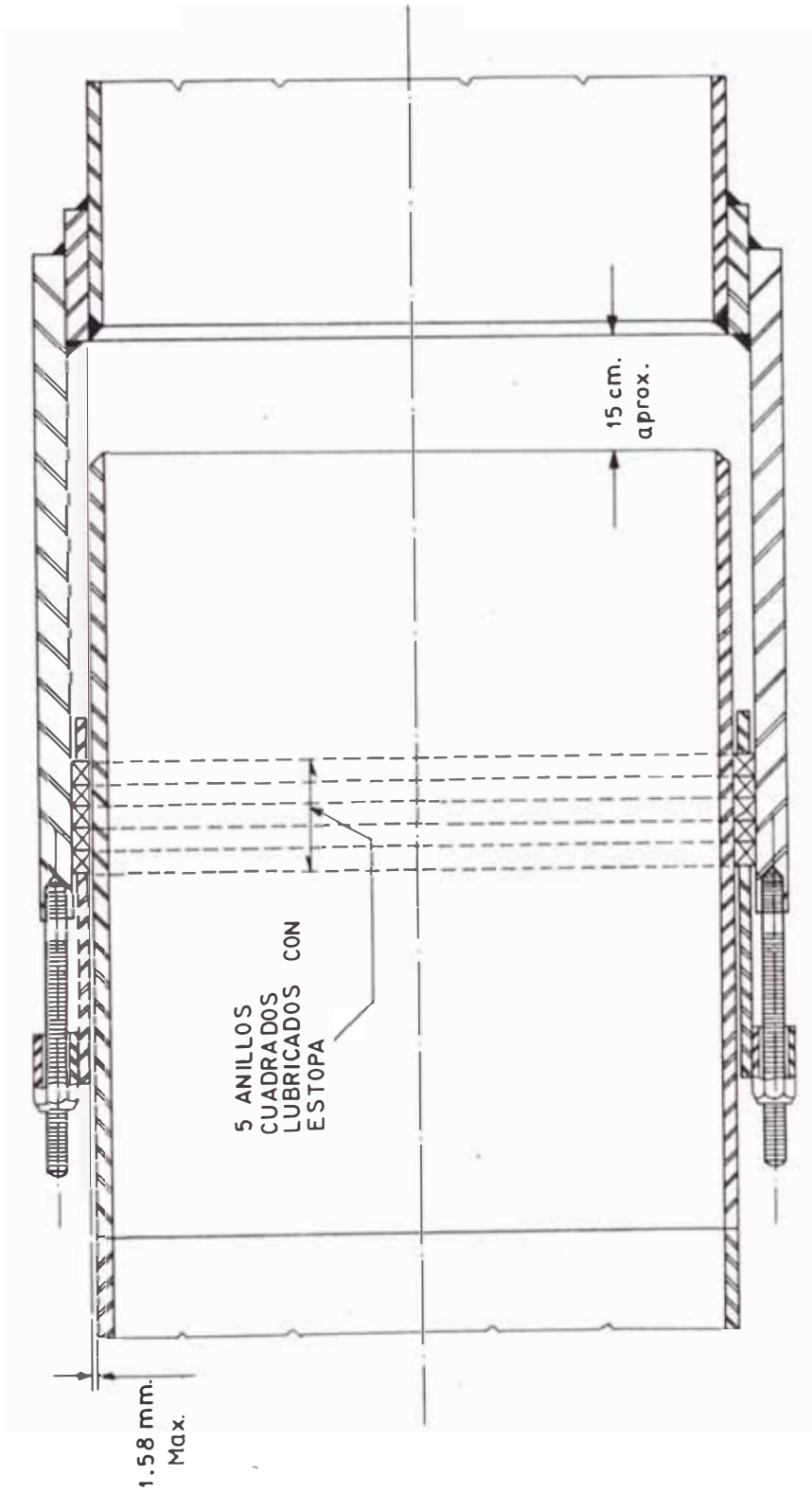


GRAFICO 4.13 JUNTA DE EXPANSION DE LA TUBERIA FORZADA

$$A = \frac{Q k^{1/2} (D)^{1.25}}{6800 c (e)} \quad d = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}$$

Donde:

Q= caudal en m<sup>3</sup> /seg. = 0.975

D= diam. de la tubería forzada m=0.80

e= espesor del tubo =0.04m

c= coeficiente de descarga del tubo de aireación = 0.70

K= factor de seguridad =3

Obtenemos:

d=0.04 m ó convencionalmente tubería de fierro galvanizado de d = 1 1/2 pulg.

#### 4.4 Diseño de Obras Electromecánicas

##### 4.4.1 Organo de Cierre

Son los dispositivos que se utilizan para abrir o cerrar el paso del agua desde la cámara de carga hacia la tubería. En el presente proyecto dada la poca altura del salto y el reducido caudal, emplearemos dos dispositivos que son una compuerta al inicio de la tubería y una válvula antes de la turbina.

#### 4.4.1.1 Compuerta principal

Estará ubicada en la cámara de carga como se muestra en la fig.4.7.La compuerta será de apertura total y no se empleará para la regulación del caudal ; su función será de cerrar el paso de agua para realizar mantenimiento o reparaciones en la turbina,válvula de mariposa o tubería forzada,siendo por lo tanto su cierre estanco .

Con el objeto de reducir los costos de la central,la compuerta sera simple,es decir de plancha de acero negro comercial con un espesor de 1/4 "(6.4) y canales laterales por los que se deslizará.

Su accionamiento será manual,por medio de un volante que accionará un tornillo de potencia como se muestra en la fig. 4.14.

La potencia de accionamiento de la compuerta deberá ser menor a aquella que pueda realizar manualmente una persona,durante un tiempo de 1 min.; 0.286HP (Manual Marks).

La fuerza a vencer para izar la compuerta F esta compuesta por el peso y la fuerza de fricción en los canales laterales y en el tornillo de potencia, considerando las dimensiones de la compuerta :

$$a=1.0m \quad e=1/4$$

$$\text{pulg.} = 0.0064m.$$

$$h=1.0m$$

$$\gamma = 7.85 \text{Kg/dm}^3 \text{ (acero)}$$

y el coeficiente de fricción de acero con acero  $f = 0.15$ .

$$F = a \cdot h \cdot e \cdot \gamma + f a h \cdot H \cdot 1000$$

Siendo H la columna de agua en el centro de presión de la compuerta :

$$H=2.40 \text{ m}$$

$$F = 50 \text{ Kg} + 360 \text{Kg} = 410 \text{Kgs}$$

La velocidad izaje será:  $V = h/t$

$$V = \frac{1m}{60} = 0.017 \text{ m/s}$$

$$60 \text{ seg}$$

considerando un 20% de sobrecarga para tomar en cuenta el arrastre del agua tenemos que la fuerza neta requerida será :

$$F_d = 1.2 \cdot F = 492 \text{Kgs}$$

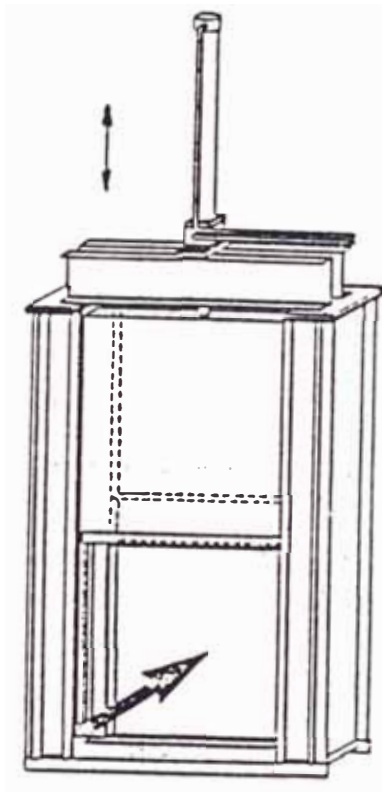


GRAFICO 4.14 COMPUERTA PRINCIPAL CAMARA DE CARGA

Luego la potencia requerida en Hp será **considerando** eficiencia del mecanismo 0.8.

$$P = Fd.v/e$$

$$P = (492$$

$$Kg \times 0.017m/s) / 0.8 \times 75 = 0.14 \text{ Hp}$$

$$P = 0.14 \text{ HP} < 0.286 \text{ HP}$$

Luego el **accionamiento** de la compuerta podrá realizarse manualmente, prescindiendo de algún sistema motorizado.

#### 4.4.1.2 Válvula de Cierre

Estará ubicada dentro de la casa de máquinas e inmediatamente antes de la turbina.

**Su función** será la de interrumpir el flujo de agua a la turbina.

Para esta central de poca caída escogemos que la válvula de cierre sea del tipo mariposa ya que presenta las siguientes ventajas con respecto a la válvula de compuerta :

Crea un equilibrio de presiones en el disco durante **la maniobra por lo que no requiere** tubería de rodeo : es de

fabricación más sencilla y de menos costos que la de compuerta. Sin embargo presenta el inconveniente que para grandes saltos no es completamente estanca. Esta válvula operará totalmente abierta o cerrada y no en apertura parcial en razón que producen pérdidas de carga.

Su accionamiento podrá ser manual o automático; este último para el cierre en caso de embalamiento de la turbina.

El diámetro nominal de la válvula será de 0.8 metros y deberá estar provista de bridas de acoplamiento con la tubería forzada y con la turbina.

La válvula deberá soportar la presión que se producirá con el cierre rápido por embalamiento; que para nuestro caso será de  $H = 19.65$  mts de agua.

#### 4.4.2 Selección de la turbina

La altura útil aprovechable para su transformación en energía mecánica por la turbina es menor que el salto real debido a las pérdidas de carga



que se producen por la circulación del agua a través de toda la conducción; desde la cámara de carga hasta la turbina.

A continuación pasamos a calcular estas pérdidas y luego la altura útil.

#### 4.4.2.1 Cálculo de las pérdidas de carga

a) Pérdida a la entrada de la tubería  
Las pérdidas a la entrada de la tubería incluyen; la altura requerida para crear la velocidad inicial y vencer las fricciones por remolinos de entrada a la misma velocidad, las pérdidas en la rejilla y en la compuerta.

Como se trata de una entrada que estará sumergida y ya sea abierta o cerrada totalmente y la compuerta ha sido diseñada de tal manera que no modifique la velocidad ni la sección, consideramos nulas las pérdidas en la compuerta.

Para la altura de velocidad y pérdidas por remolino tenemos:

$$\frac{V^2}{2g}$$

donde :  $K_1 = 0.135$  y  $V = 2\text{m/seg}$   
que corresponde al caudal máximo.  
Reemplazando valores tenemos:

$$h_1 = 0.23\text{m}$$

Las pérdidas en la rejilla son:

$$h_2 = \frac{0.35 V^2}{2g} \quad h_2 = 0.07\text{m}^2$$

b) Pérdidas en la tubería de presión  
Serán calculadas mediante la fórmula de Darcy donde :

$$h_3 = \frac{f L V^2}{D 2g}$$

$$l = 27 \text{ m.} \quad D = 0.80 \text{ m.} \quad V = 2\text{m/seg}$$

c) Pérdidas en la válvula de mariposa

La válvula estará normalmente abierta y ocasionalmente totalmente cerradas. Cuando este abierta las pérdidas se expresan por:

$$h_4 = \frac{K V^2}{2g}$$

donde  $K = 0.05$  (Según Viejo Zubicaray)

Luego tenemos:  $h_4 = 0.01\text{m}$

#### 4.4.2.2 Altura neta

La suma **total de** las pérdidas desde la

cámara de carga hasta la turbina será:

$$h_p = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

$$h_p = 0.23 + 0.07 + 0.09 + 0.01 = 0.40\text{m}$$

Luego la altura neta será:

$$H_n = H_b - h_p$$

$$= 13.1 - 0.40 = 12.70\text{m}$$

#### 4.4.2.3 Campo de utilización de las Turbinas

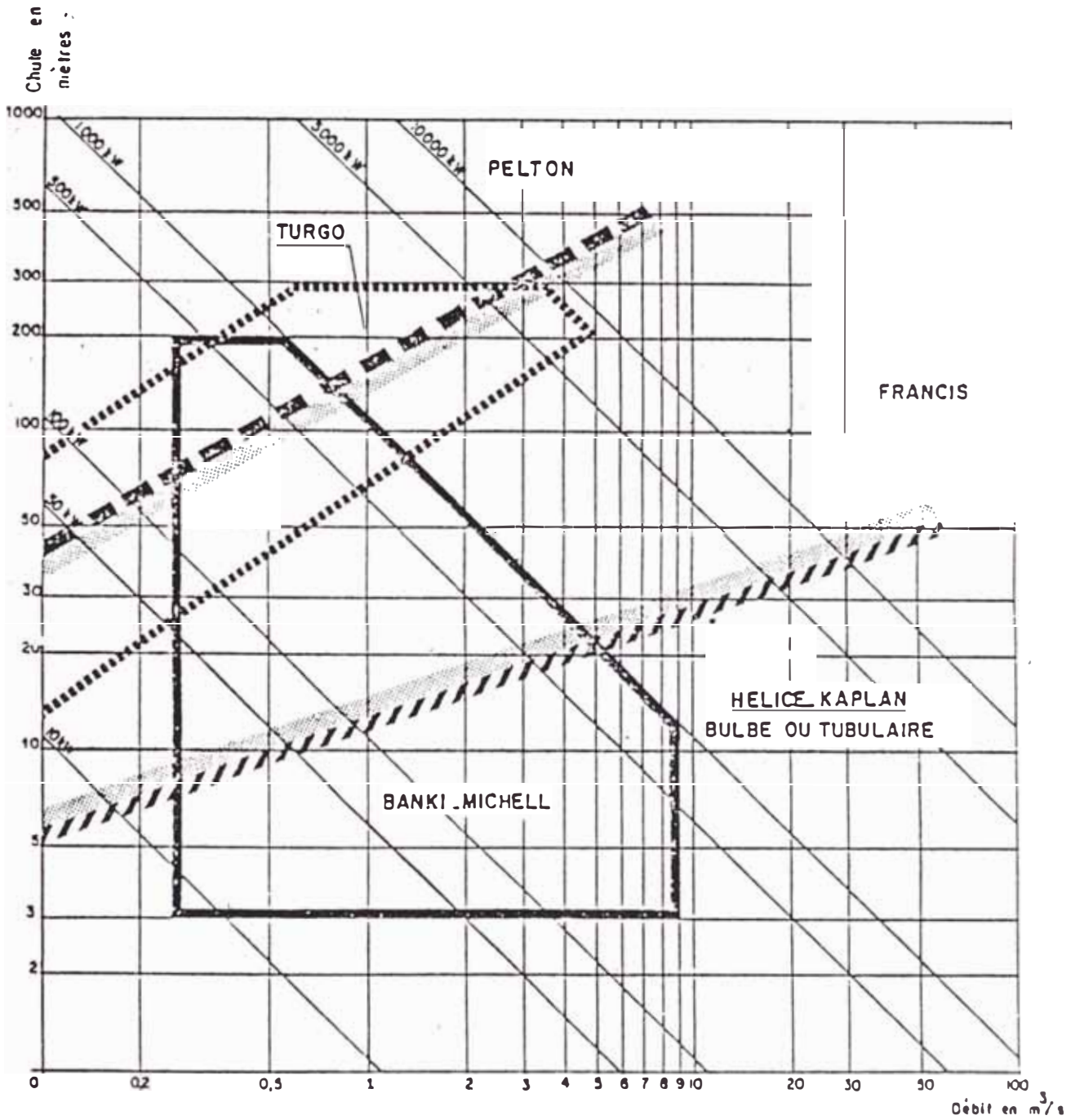
Los saltos hidráulicos de baja potencia, como es el caso del presente proyecto, se caracterizan por alturas pequeñas y caudales también pequeños y fluctuantes durante el año.

El aprovechamiento económico de estos saltos requiere la selección de turbinas capaces de operar con buena eficiencia dentro de un amplio rango de caudales, es decir que ofrezcan curvas de eficiencia us. Caudal bastante planas. Dentro de las turbinas modernas **que** cumplen este requisito podemos mencionar las siguiente:

- a. Turbinas Pelton
- b. Turbinas Kaplan
- c. Turbinas de flujo transversal: Michell Banki.

Las turbinas Pelton son aptas para operar

DOMAINE D'UTILISATION HABITUELLE DES PETITES TURBINES



Légende : Limite d'utilisation des turbines

-  HELICE - KAPLAN - BULBE - TUBULAIRE
-  FRANCIS
-  PELTON
-  TURGO
-  BANKI - MICHELL

Fuente: Les Petits  
Aménagements hydro-  
Electriques

SOCIETE HYDROTECHNIQUE DE  
FRANCE 1987

Gráfico No. 4.15 Campo de Utilización de Pequeñas Turbinas

con grandes caídas y pequeños caudales, lo que no es el caso en este proyecto.

Las turbinas Kaplan operan con saltos bajos y grandes caudales que tampoco es el caso de la presente microcentral.

Finalmente las turbinas de flujo transversal o Michell-Banki, se les puede considerar como las más aptas para operar en las microcentrales de nuestro medio, como la del presente proyecto por su facilidad de construcción, montaje y mantenimiento.

En la fig. 4.15 se muestran los campos de utilización de las pequeñas turbinas.

(Tomado de: Les Petits Amenagements Hydro Electriques. Societe Hydrotechnique de France).

#### 4.4.2.4 Selección de la Turbina

El esquema de la fig. 4.15 ha sido elaborado en base a la experiencia de los fabricantes de turbinas y las zonas delimitadas pueden traslaparse más extensamente en función de la técnica desarrollada por cada constructor.

De este esquema vemos que para el caso del presente proyecto donde  $H_n = 12.70$  y

$Q = 0.975 \text{ m}^3/\text{seg}$  podemos escoger entre la turbina Francis y la turbina **Michell Banki**. Optamos por **seleccionar** esta última en consideración a las siguientes ventajas que presenta respecto de la de Francis:

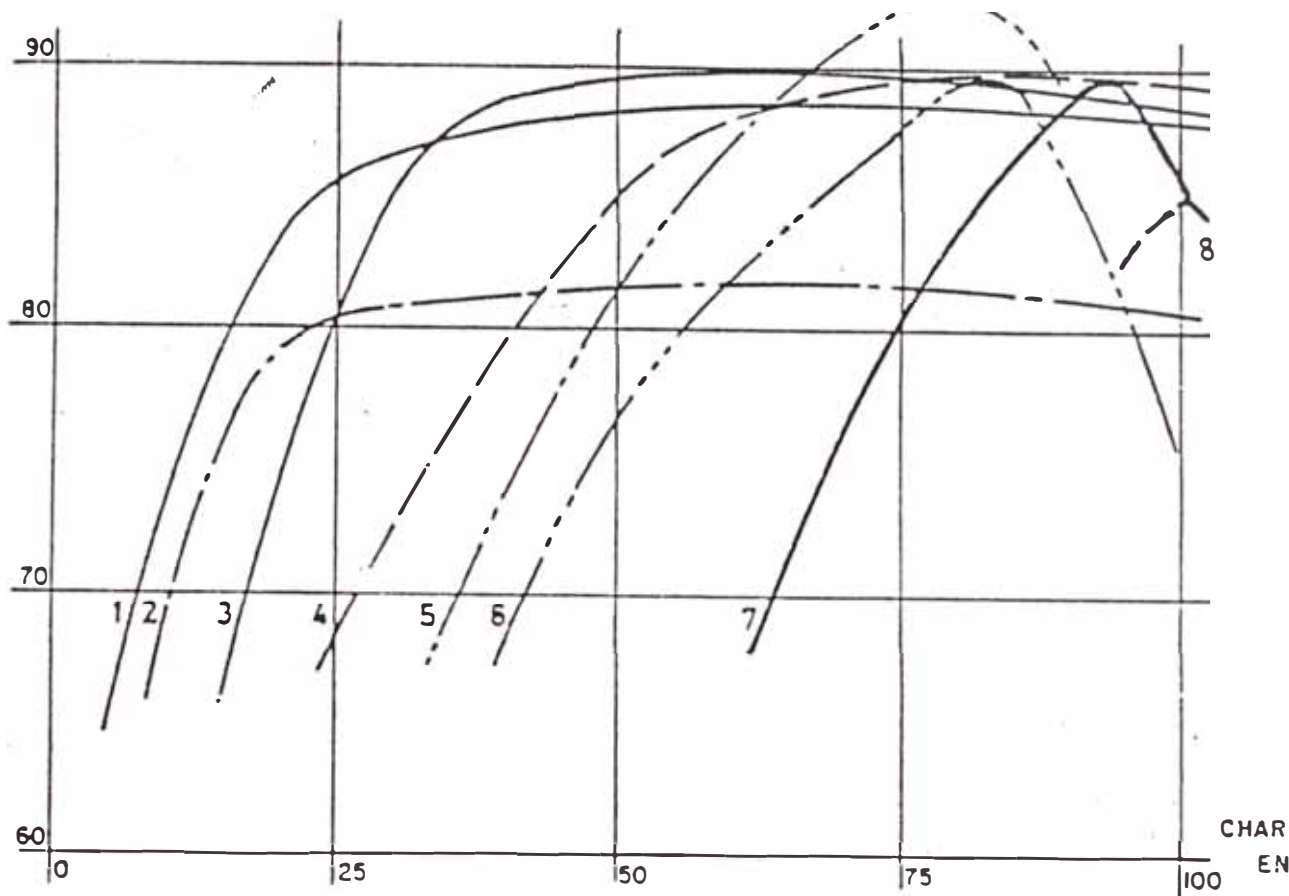
a) Facilidad de construcción, **operación y mantenimiento** ya que para su reparación solo se emplean **conocidos procesos mecánicos y** de soldadura en **acero** que están al alcance de pequeños talleres mecánicos.

Mientras que las turbinas Francis requieren **talleres y personal** más especializado para **poder llevar a cabo** reparaciones y mantenimientos en un rotor más complejo que el motor Michell-Banki.

b) Si bien es **cierto que** las turbinas Francis alcanzan rendimientos mayores que las **Michell-Banki**, estas mantienen su eficiencia constante para cargas parciales hasta del 25% del caudal máximo, mientras que en la turbina Francis la eficiencia cae rápidamente **debajo de** media carga; como se puede observar en la fig. 4.16; **curva Nro 10**

## FORME DES COURBES DE RENDEMENT DES TURBINES

RENDEMENTS  
EN %



Fuente: Les Petits Amenagements Hydro-electriques  
SOCIETE HYDROTECHNIQUE DE FRANCE 1987

- 1 - Pelton
- 2 - Banki
- 3 - Kaplan à double réglage
- 4 - Kaplan à distributeur fixe
- 5 - Francis
- 6 - Hélice à distributeur mobile
- 7 - Hélice à distributeur fixe
- 8 - Pompe inversée

Gráfico No. 4.16 Curvas de Eficiencia de Turbinas v.s.  
Carga Porcentual

que incide en el mejor **aprovechamiento** del recurso hídrico.

c) Para la misma **potencia** una turbina Michell Banki es menos **costosa** que una Francis debido a que el **proceso de fabricación** es más **sencillo** no requiriendo de fundición para fabricar el **rodete** como si lo requiere la Francis.

En la actualidad **los constructores de Turbinas Michell Banki** fabrican máquinas cuyas características se encuentran dentro de los siguientes valores:

$H_n = 1$  a 100 m

$Q = 0.025$  a  $13 \text{ m}^3/\text{seg}$

$P = 1$  a 1500 Kw

Para este tipo de turbinas la velocidad específica,  $N_s$  varía entre los siguientes límites: (Turbinas de flujo transversal. A.F.Coiz. IV Conimera)

$N_s = 40$  a 160

#### 4.4.2.5 Dimensionamiento de la Turbina

En los siguientes acápite trataremos de dar un dimensionamiento **básico** de la turbina que servirá de guía para que el



fabricante realice el diseño definitivo de esta.

Determinaremos sucesivamente la velocidad de rotación; velocidad de embalamiento, dimensiones del rodete, velocidad específica y potencia desarrollada.

#### 4.4.2.6 Velocidad de rotación

La velocidad de rotación en la turbina **Michell Banki** esta relacionado al diámetro exterior del rodete y a la altura neta por la siguiente expresión: (tomada de: Turbina de flujo Transversal. A.F.Coiz IV Conimera).

$$N = \frac{39.66 \sqrt{H}}{D_e}$$

De

donde:

H: altura neta = 12.7m

De: diámetro exterior del rodete en metros

N: velocidad de rotación en rev/min.

Dado que tenemos dos magnitudes variables como son la velocidad de rotación y el diámetro exterior; fijamos los valores de

uno de ellos  $H$  y calculamos el otro. Si tanteamos los diámetros del rodete en las dimensiones preferidas por los fabricante tendríamos:

De(m)	0.20	0.30	0.40
N(rpm)	707	471	353

De esta tabla escogemos como diámetro  $De=0.40m$  lo que nos dá una velocidad de giro 353 rpm; valor que concuerda con los valores recomendados de velocidad de rotación vs. Salto disponible. Tomado de: Turbinas de Flujo Transversal; A.S.Coiz IV Conimera.

Se puede ver también que pretender asignar velocidades sincronas del orden de 3600 a 1200 rpm a la turbina, es impráctico ya que se obtendría valores muy pequeños del diámetro del rotor que serían muy pequeños.

#### 4.4.2.7 Velocidad de embalamiento

Cada tipo de turbina se caracteriza por una velocidad de embalamiento máxima que se produce cuando el par resistente de la turbina se hace nulo, a consecuencia de

una súbita supresión de carga eléctrica en el generador, es bueno recordar que esta velocidad influye en el costo de los generadores y cajas reductoras.

Para el caso de la turbina Michell Banki; al igual que las Pelton esta velocidad teórica es el doble de la velocidad nominal de turbina. En la práctica no se alcanza este valor debido a la fricción en los cojinetes, prensaestopas etc. siendo este valor alrededor de  $N_{emb} = 1.8$  N; luego tenemos:

$$N_{emb} = 1.8 \times 353 = 635 \text{ rpm}$$

#### 4.4.2.8 Potencia desarrollada por la turbina

La potencia desarrollada por la turbina esta dada por la expresión:

$$P_T = \frac{\rho Q H_n}{76}$$

donde:

Pt = potencia de la turbina en HP

$\gamma$  = peso específico del agua  $10^3$   
Kg/m<sup>3</sup>

H = altura neta en metros = 12.70

h = eficiencia total de la turbina

Q = caudal en m<sup>3</sup>/seg=0.975m<sup>3</sup>/seg

Consideramos que la eficiencia total sea de 0.65: **valor que puede ser mejorado** tratándose de turbinas diseñadas por fabricantes especializados.

Reemplazando valores en la expresión de potencia tenemos :

$$Pt = \frac{10^3 \times 0.975 \times 12.70 \times 0.65}{76}$$

76

$$Pt = 105 \text{ HP} = 78 \text{ Kw}$$

#### 4.4.2.9 Velocidad específica de la turbina

Expresada por la siguiente expresión :

$$Ns = \frac{N \sqrt{P}}{H^{1.25}}$$

donde :

N = rpm de la turbina

P = potencia desarrollada en HP

H = salto neto en m

$$N_s = \frac{353 \sqrt{105}}{12.7^{1.25}} = 151 \text{ rpm}$$

Vemos que la velocidad específica se encuentra en el rango recomendado de  $N_s = 40$  a  $160$ .

#### 4.4.2.10 Dimensiones del Rodete

Completando el dimensionamiento básico de la turbina calcularemos ahora el **ancho del rodete**.

Esta magnitud está determinada por la siguiente expresión : (Ref : Turbina de flujo transversal, A.F.Coiz. IV Conimera)

$$B = 0.03 \frac{QN}{H}$$

donde :

$$N = \text{velocidad de rotación nominal} \\ = 353 \text{ rpm}$$

$$Q = \text{caudal máximo} = 0.975 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$H = \text{salto neto} = 12.70 \text{ m}$$

reemplazando obtenemos como ancho del rotor :

$$B = 0.81 \text{ m}$$

Resumiendo las características de la turbina - Michell son :

- Salto neto :  $H_n = 12.7\text{m}$
- Caudal :  $0.975\text{ m}^3/\text{seg}$
- Potencia :  $P = 105\text{ HP}$
- Velocidad de rotación :  $N = 353\text{ rpm}$
- Diámetro del rodete :  $D_e = 0.40\text{ m}$
- Ancho del rodete :  $B = 0.80\text{ m}$
- Velocidad de embalamiento:  $N_{em} = 635\text{ rpm}$
- Velocidad específica :  $N_s = 151$

#### 4.4.2.11 Tubo de de Succión

Este elemento **normalmente** no es fundamental en los saltos altos, pero si en los saltos bajos como el del presente **proyecto**. Su función es recuperar parte de la altura libre de montaje entre la parte inferior del rodete y el nivel del agua de evacuación.

El agua que sale de la turbina a través del tubo de succión crea una depresión **razón por** la cual la carcasa debe ser hermetica para impedir que se inunde el rodete.

Esta situación se controla instalando una válvula de resorte en la carcasa. Generalmente en las turbinas **Michell-Banki** el tubo es de forma cilíndrica. Las dimensiones definitivas del **tubo** de

succión serán definidas por el constructor **quien** debera diseñarlo considerando evitar la cavitación.

#### 4.4.3 Regulacion de la velocidad

##### 4.4.3.1 Generalidades

Cuando se produce una variación de carga en la turbina se produce la variación del torque resistente que actúa sobre ella dando lugar a una variación de la velocidad de rotación del grupo turbina-generador

En caso de aumento del torque resistente, la velocidad disminuye y en el caso de disminución del torque resistente la velocidad aumenta.

Esta variación de velocidad se podrá evitar graduando el caudal de agua que pasa por la turbina, de tal manera que la velocidad se mantenga constante y por ende la frecuencia eléctrica de la tension generada.

En los pequeños grupos esto se logra con dos tipos de regulación :

##### a) Por accion sobre el caudal

Consiste en adaptar para cada instante la abertura de órgano de

regulación de caudal que en este caso es el o los alabes móviles a la carga de la turbina **por medio** del regulador de velocidad.

b) Por absorción de energía

Consiste en generar una **potencia** constante en la turbina, para que no varíe la velocidad de **rotación**. Cuando la **potencia** tomada por la red, es **inferior** la **potencia** generada, el exceso se disipa en resistencias eléctricas variables, en frenos electromagnéticos mecánicos refrigerados. En este tipo de regulación se desperdicia energía potencial de la caída, y no se empleara en el presente proyecto por no disponer a lo largo del año de un caudal constante que permita generar potencia constante.

Para el presente proyecto se prevee que para la regulación de frecuencia se realice mediante un regulador de velocidad.

#### 4.4.3.2 Selección de Regulador de velocidad

Los reguladores **empleados** en el



caudal de turbinas hidráulicas son de tipo estáticos o isódromos ,es decir que la velocidad de la turbina permanece constante para cualquier potencia.

De acuerdo a su estructura los reguladores se dividen en : hidromecánicos, electromecánicos y eléctrico-electrónicos.

Para aplicaciones en turbinas de baja potencia se emplean los hidromecánicos, electrohidráulicos y eléctrico-electrónicos.

Para el presente proyecto seleccionaremos que el fabricante equipe la turbina con un regulador hidromecánico por ser de gran confiabilidad y sencillez de operación y mantenimiento.

El parametro básico de selección del regulador es su capacidad de trabajo "A" expresado por el producto de la máxima fuerza por el desplazamiento que se requiere a abrir cerrar completamente el paso del agua por la turbina con los alabes

directrices. Su magnitud está determinada en forma aproximada por la fórmula siguiente para turbinas Michell:

$$A = 31DeQ (H)^{1/2}$$

donde :

A: coeficiente de capacidad de trabajo en Kg-m

De: diametro exterior del rodete (m)

Q: caudal máximo de la turbina; en m<sup>3</sup>/seg

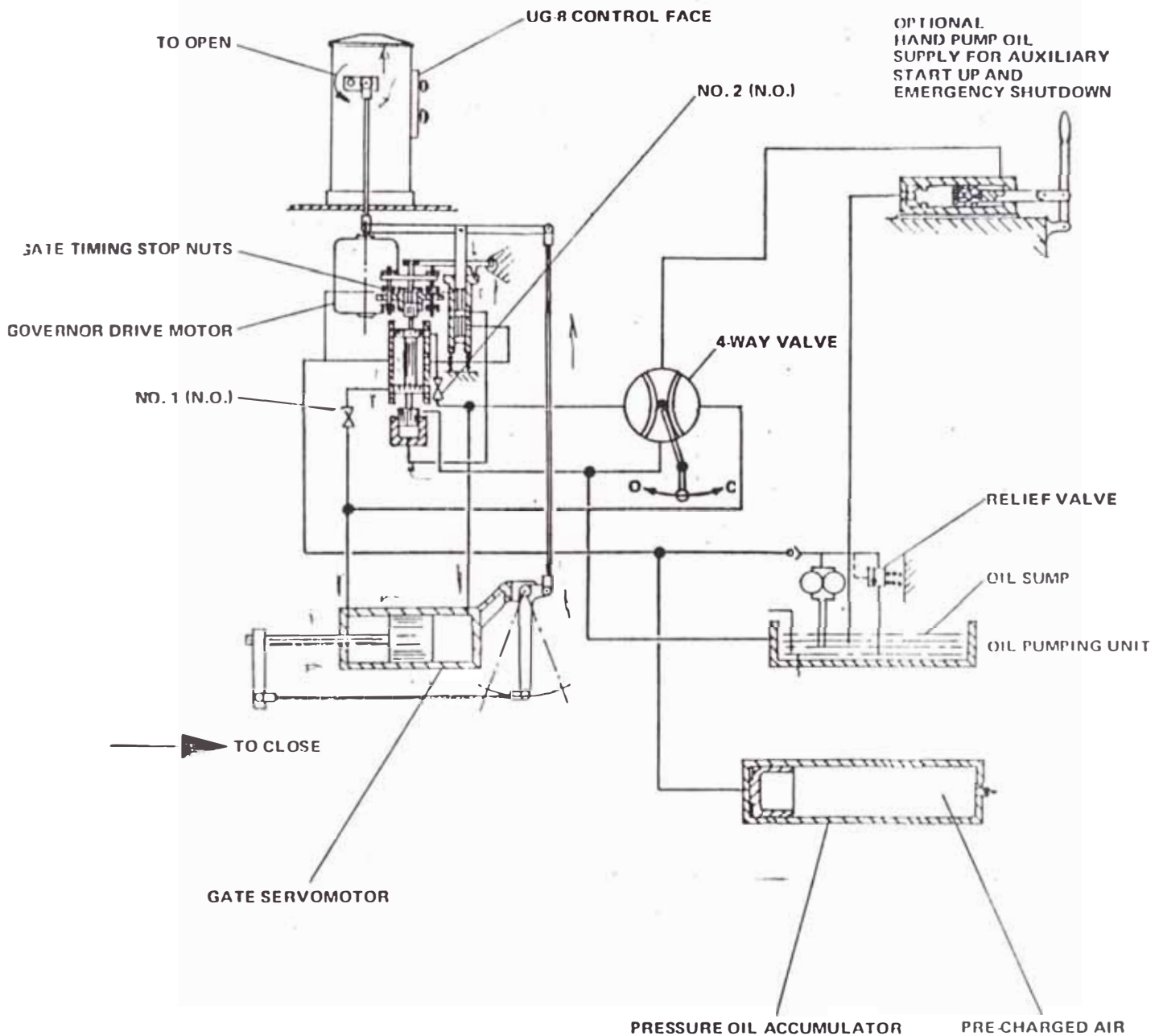
H: altura neta, m

Reemplazando valores tenemos :

$$A = 31 \times 0.4 \times 0.975 \times \sqrt{12.70}$$

$$A = 43.1 \text{ Kg-mt}$$

A modo referencial se muestra en la fig. 4.17 un esquema del regulador hidromecánico Woodward modelo UG-8. Estos reguladores combinan en una sola unidad el sensor de velocidad, el gobernador, un amplificador hidráulico de potencia, que consiste en una válvula distribuidora y un servomotor para operar el álabe directriz de la turbina hidráulica.



Type UG Control Schematic with Optional Hand Pump

Gráfico No. 4.17 Esquema de un Regulador de Velocidad Hidromecánico Woodward

este tipo de regulador es de masas giratorias y de acción indirecta. Actúa sobre una válvula distribuidora, la cual a su vez acciona un servomotor, que multiplica la fuerza de accionamiento empleado de aceite a presión; y abre o cierra el álabe directriz de la turbina.

El sensor de velocidad puede ser impulsado por un motor eléctrico de inducción alimentado de la salida del generador o por medio de una transmisión de polea y faja en "V" tomando potencia del eje de la turbina.

Escogemos la segunda modalidad, es decir la faja y polea ya que es un sistema más simple, abierto y más fácil de mantener que un motor eléctrico cuya reparación es más complicada.

El regulador Woodward tiene los siguientes equipos auxiliares para completar su operación:

a) Sistema de Presión

Consiste en una bomba de engranajes, tanque de almacenamiento y un acumulador de presión. La **bomba de engranajes** está impulsada a través de una **trasmisión de faja y polea que toma potencia** del eje de la turbina. El acumulador de presión, consiste en un **cilindro** de aire comprimido que actuando **sobre un pistón puede** suministrar el volúmen requerido de aceite para cerrar el álabe directriz en caso de falla del sistema de presurización normal.

b) **Motor de Regulación de la Velocidad**

**Ubicado en la parte superior del regulador,** permite regular manualmente y en **forma remota** la velocidad de la turbina para operación aislada de **ésta** para puerta en paralelo con otros grupos. Se trata de un **motor universal de C.C. 110v. con inversión de giro.**

c) Solenoide de parada automática en caso de baja presión del aceite del remomotor accionada también con C.C.

de 110v

d) Dispositivo de Parada de Emergencia

Constituido por una bomba manual que **proporciona** la suficiente **presión de aceite** para cerrar el álabe móvil mediante el servomotor.

Las especificaciones técnicas del regulador se detallan en el capítulo 6.

#### 4.4.4 Selección del Generador

##### 4.4.4.1 Tipos de generadores

En las pequeñas centrales se puede emplear **dos tipos** de generadores actualmente disponibles **como son el** generador síncrono y el generador de inducción.

Para el presente **proyecto** emplearemos un generador **síncrono** por ofrecer ventajas sobre el de inducción al **operar en** un sistema aislado de generación, **como es nuestro caso.**

Las desventajas del generador de inducción son:

a) La máquina solo entrega potencia

activa que limita las cargas inductivas que se puede conectar a la red, es decir motores.

b) Tiene un factor de potencia inferior al de un generador asíncrono de igual potencia.

c) Requieren una fuente de energía reactiva para su funcionamiento; banco de condensadores.

d) Carecen de regulación de tensión.

e) De acuerdo a experiencias de Electroperú y Delcrosa solo se recomienda en aplicaciones hasta de 50Kw. y en el presente proyecto la potencia es mayor.

#### 4.4.4.2 Velocidad del Generador

Dado que el costo de los generadores se reduce, en tanto la velocidad de éstos se incrementa, optamos por escoger un generador con velocidad sincrónica elevada. Consideramos una máquina de 6 polos es decir que gire 1200 RPM. Como la turbina gira a 353 RPM como se vió en el punto 4.2.6, requerimos una transmisión

mecánica multiplicadora entre la turbina y el generador con el fin de que este alcance la velocidad síncrona de 1200 RPM.

#### 4.4.4.3 Cálculo de la transmisión mecánica

##### Grupo Turbina-Generador

En grupos pequeños como del presente proyecto se puede emplear transmisiones de faja en "V" o cajas multiplicadoras de engranajes. De estos dos tipos de transmisiones escogemos la caja porque ofrece las siguientes ventajas sobre las fajas:

a) No hay resbalamiento, **originado** por el alargamiento de las fajas.

b) La caja tiene mayor eficiencia de transmisión que las fajas; aproximadamente 98% **contra** 80% de las fajas.

c) La caja de engranaje tiene una vida útil mucho mayor que las fajas.



d) Ofrece mayor seguridad al personal de operación ya que todo el mecanismo se encuentra bajo una cubierta.

e) No esta expuesta al medio ambiente, humedad, polvo, temperatura, etc.

Para facilitar la construcción de la caja multiplicadora empleamos engranajes helicoidales con numero de dientes estandarizados de modo que una combinacion de estas nos de una relación de trasmision que permita operar la turbina a una velocidad muy cercana a la óptima con un error no mayor del 7% de esta velocidad para evitar una caída de la eficiencia de la turbina.

Los parámetros para el diseño de la caja son:

- La velocidad del generador 1200 RPM
- La velocidad de la turbina 353 RPM
- La potencia a transmitir 105 HP.

Luego la relación de transmisión requerida es:

$$r = \frac{1200 \text{ RPM}}{353 \text{ RPM}} = 3.4$$

De acuerdo a las tablas que da el SInq. C. Hernández en el documento OLADE: Estandarización de turbinas par P.C.H.; escogemos que la caja tenga 2 trenes de engranajes así la relación de transmisión será:

$$r_t = r_1 \times r_2$$

donde:

$r_t$ : relación de transmisión final

$r_1$ : relación de transmisión del primer tren de engranajes

$r_2$ : relación de transmisión del segundo tren de engranajes

Si escogemos de la tabla Nro 7 el número de dientes:

	Piñon	Engranajes
Primer tren	15	27
Segundo tren	15	27

tenemos:

$$r_1 = \frac{27}{15} \qquad r_2 = \frac{29}{15}$$

$$r_t = 3.48$$

De esta manera con ésta caja de transmisión tendremos que girando el generador a 1200 RPM la turbina girará a:

$$\text{RPM turbina} = \frac{1200}{3.48} = 345 \text{ RPM}$$

velocidad que difiere en 2% de la velocidad óptima de la turbina no afectando de esta manera la eficiencia de ésta.

De la tabla Nro de la misma referencia para la potencia y la RPM del generador seleccionamos el ancho y el módulo de los dientes de los engranajes; que serán fabricados en acero SAE 1320 que tiene una dureza 140 BHN y esfuerzo a la tracción de (500-1100)Kg/cm<sup>2</sup>; que serán:

$$\text{Modulo} \qquad m = 12$$

$$\text{Ancho del diente} = 6 \times \text{modulo} = 72 \text{mm.}$$

#### 4.4.4.4 Tensión de Generación

Dado que el nivel de potencia que la turbina puede entregar es relativamente bajo, escogemos una tensión de generación normalizada nominal de 380/220 v. sistema trifásico a 4 hilos de acuerdo a lo prescrito en el código Nacional de Electricidad y a las normas de la Empresa Regional de Energía; Sociedad Eléctrica Sur Oeste.

#### 4.4.4.5 Potencia

La potencia del generador estara dado por:

$$P_g = P_t \times \eta_{\text{tras.}} \times \eta_G$$

donde:

$P_g$  : potencia entregada por el generador en kw

$P_t$  : potencia desarrollada por la turbina= 78 kw

tras: eficiencia de trasmisión de la caja multiplicadora = 0.98

$\eta_G$ : eficiencia del generador, que en modelos pequeños es aproximadamente del 91%.

Luego la potencia desarrollada por el generador será:

$$P_g = 78\text{Kw} \times 0.98 \times 0.91 = 70 \text{ Kw.}$$

La potencia aparente d el generador  $S_g$  suponiendo que opere con un factor de potencia de 0.8 será:

$$S_g = P_g / 0.8$$

$$S_g = 87.5 \text{ KVA}$$

#### 4.4.4.6 Sistema de excitación del generador

El sistema de excitación de un generador **síncrono** que esta conectado a una carga; sirve para controlar el voltaje en los terminales del generador al **variar** la carga.

Por muchos años este sistema a estado constituido por un generador de C.C. montado en el mismo eje de la máquina síncrona alimentado con C.C. al bobinado de excitación ubicado en el rotor, mediante escobillas de carbón y anillos rozantes; con los consiguientes problemas inherentes a este sistema como son: desgaste de las escobillas y anillos, ensuciamiento, chisporroteo, etc. requiriendo un

mantenimiento exigente.

El desarrollo de diodos y tristoros de potencia ha permitido sistemas de excitación nuevos que han superado en eficiencia y confiabilidad al sistema convencional antes descrito. Uno de estos sistemas de excitación estática es el de diodos rotatorios. El esquema de este sistema se muestra en la fig. 4.8 .

Escogemos este sistema de excitación para el generador síncrono por las ventajas que ofrece respecto al sistema tradicional de excitación rotatoria, al eliminar escobillas y anillos rozantes.

Las partes principales de este sistema son:

RAV: Regulador automático de voltaje

TI: Transformadores de corriente para alimentación del regulador de tensión

TP: Transformadores de tensión para detección

T1: Transformadores de alimentación al puente rectificador P1

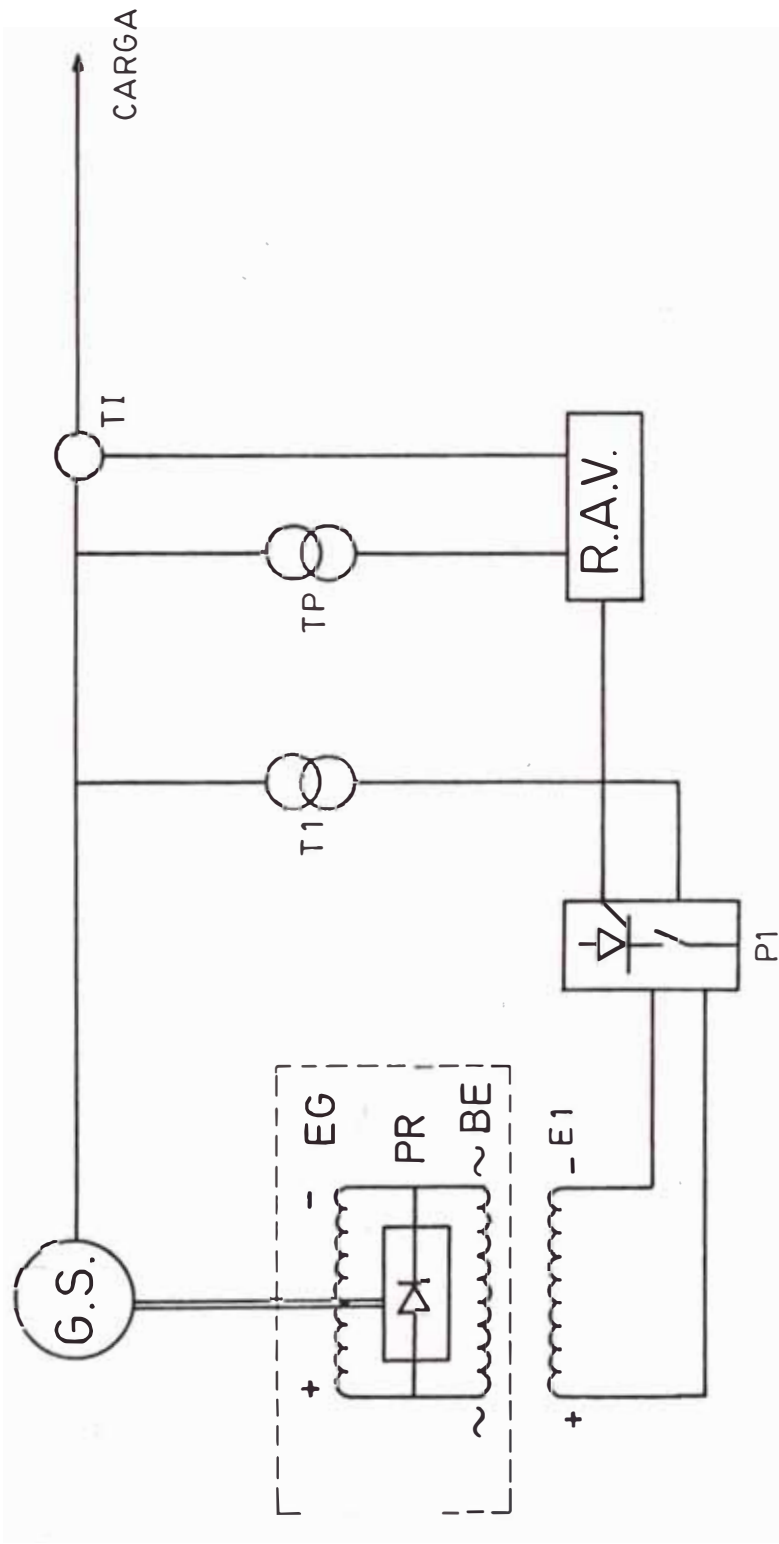


GRAFICO 4.18 SISTEMA DE EXITACION POR DIODOS ROTATORIOS

P1: Puente rectificador que alimenta el bobinado de excitación auxiliar E1 en el estator.

BE: Bobinado fijado en el rotor donde se induce tensión alterna.

PR: Puente rotatorio de diodos de silicio que alimenta al bobinado de excitación principal del generador síncrono.

EG: Bobinado de excitación del generador síncrono.

G : Generador síncrono.

#### 4.4.4.7 Regulador de tensión

El regulador de tensión es el elemento más importante del sistema de excitación del alternador. Su función principal es controlar el voltaje de salida del generador y la energía reactiva suministrada por este.

El regulador debe poder mantener automáticamente la tensión en bornes dentro de 1% de su valor fijado, para cualquier factor de potencia entre 1 y 0.8 en atraso. Estara igualmente equipado con un reostato



que permita regular manualmente la tensión desde el tablero de control respectivo.

#### a) Principio de Operación

El tipo de regulador seleccionado para el generador del presente proyecto es de tipo electrónico consistiendo de rectificadores de silicio transistores transformadores dictados, resistencias, condensadores que son relativamente inafectados por la temperatura, humedad y vibraciones.

En la fig. 4.19 se muestra un diagrama de bloques con los principales elementos constitutivos del regulador.

El principio general de funcionamiento es el siguiente: el regulador acepta el voltaje generado, compara un valor rectificado de este voltaje con un voltaje de referencia; de un diodo zener y control a la corriente de campo requerida para mantener constante la relación predeterminada

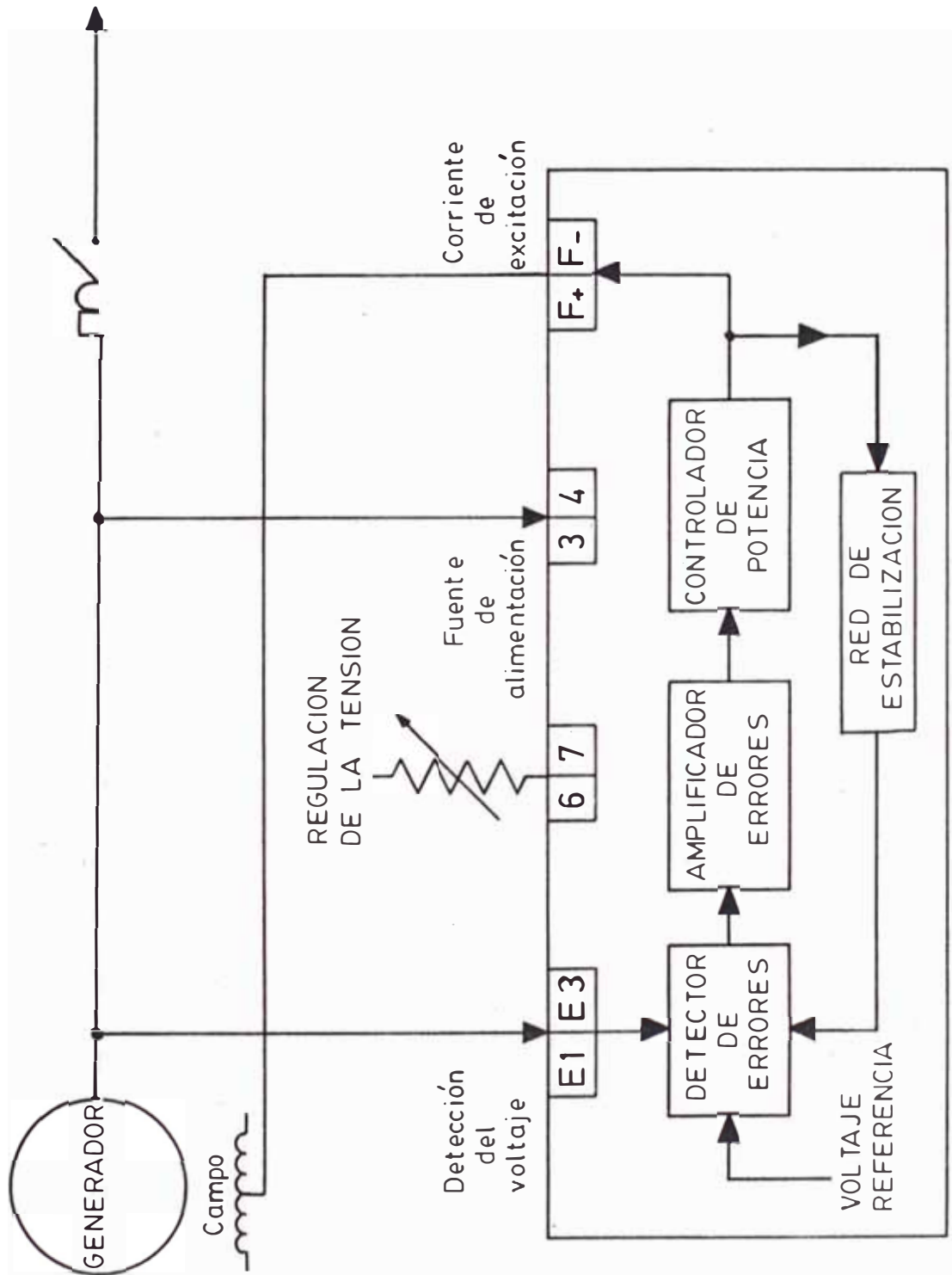


GRAFICO 4.19 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL REGULADOR DE TENSION

entre el voltaje del generador y el voltaje de referencia. Consiste de cinco circuitos básicos:

- Circuito detector: sensa el voltaje del generador lo rectifica y filtra para inyectarlo al detector de error.

- Detector de error: proporciona una señal de C.C proporcional al voltaje del generador y lo inyecta al amplificador de error.

- Amplificador de error: amplifica e inyecta una señal con fase controlada al circuito de cebado del controlador de potencia.

Controlador de Potencia: este circuito se puede comparar un rectificador variable y su salida depende del tiempo de cebado y de la resistencia de campo de la excitatriz. Está ubicado entre la fuente de poder (terminales 3y 4) y la excitación del campo (terminales F+ y F-)

- Circuitos Estabilizadores: para mantener una operación estable bajo diferentes condiciones de trabajo y previene oscilaciones.

El regulador de tensión definitivo tendrá lógicamente un esquema propio que dependerá del fabricante; sin embargo deberá seguir los lineamientos antes expuestos.

#### 4.5 Equipos de Control y Protección

Estos equipos eléctricos permiten la operación de la central; la medición y protección necesaria para garantizar la seguridad y la buena conservación del grupo generador.

Están integrados por los siguientes tableros:

a) Tablero de control y medición (T-1)

b) Tablero de señalización y protección (T-2)

c) Tablero de salida de S.E. en M.T., (T-3)

d) Tablero de Servicios Auxiliares (T-4)

A continuación pasamos a dimensionar cada uno de ellos. Las respectivas especificaciones técnicas se dan en forma detallada en el capítulo No.VI. Especificaciones técnicas.

#### 4.5.1 Tablero de control y medición (T-1)

Integrado por los siguientes elementos; detallados en la fig.4.20

##### 4.5.1.1 Interruptor Principal (1B)

Será del tipo termomagnético; su función es conectar y desconectar la red al generador en condiciones normales y anormales como sobrecarga, corto circuitos, sobretensiones y fallas. Deberá tener mecanismo de disparo automático mediante Solenoide, accionado por redes.

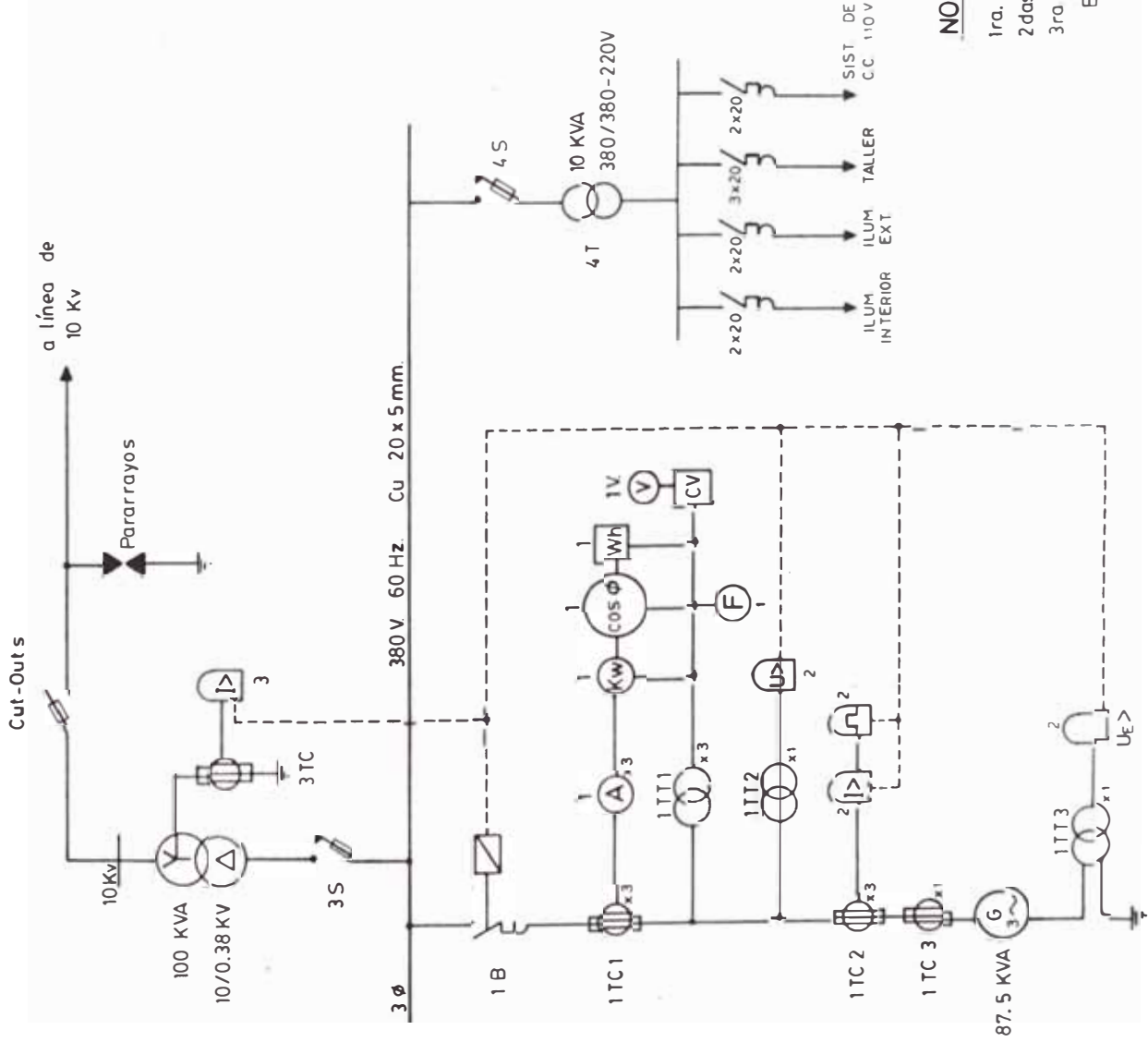
Su corriente nominal será:

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3}V}$$

S : pot. del generador 87.5KVA

v = 380v

$$I_N = \frac{87500}{\sqrt{3} \times 380} = 133 \text{ amp.}$$



LEYENDA	
	CORTA CIRCUITOS FUSIBLES 10 Kv (Cut-out)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO
	SECCIONADOR FUSIBLE EN B.T.
	RELE DE SOBRETENSION
	RELE DE SOBRECORRIENTE
	RELE DE SOBRECARGA
	RELE DE FALLA A TIERRA DEL ESTATOR
	BOBINA DE DISPARO INTERRUPTOR PRINCIPAL
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
	TRANSFORMADOR DE TENSION

**NOMENCLATURA:**

- 1ra. cifra indica tablero o celda
  - 2das. dos letras indican tipo de equipo
  - 3ra. cifra: correlativo
- Ejemplo: 1TC2: Celda 1  
 TC: Transformador de corriente  
 2: 2da. transformador

GRAFICO 4.20 ESQUEMA ELECTRICO UNIFILAR

Seleccionamos un interruptor comercial de 250 Amp, 500V.

La capacidad de cortocircuito calculada en el párrafo 4.6.4.1.; sera como mínimo de 5 KA.

#### 4.5.1.2 Transformadores de Corriente

Serán para montaje interior, tipo toroidal, B.T.

Emplearemos 3 juegos de 3 T.C.

a) El primer juego formado por 3 unidades de relación  $K = 150/5A$ . clase 1.0 de 5VA. de potencia que alimentará a los instrumentos de medición amperímetro, vatímetro, fasímetro y medidor de energía.

b ) El segundo juego de 3 T.C., (TC2)

alimentarán los reles de sobrecarga y sobre corriente.

Serán de relacion  $K = 150/5A$ , clase 5P20.

c) Adicionalmente colocamos 1 T.C.

de relación 150/1A clase 1.0, 5VA., que alimentará al regulador automático de tensión.

## 4.5.1.3 Transformadores de Tensión

Serán también de montaje interior, monofásicos conectados en 2 juegos de T.T:

a) El primero (TT1) constituído por tres unidades monofásicas de relación 380/100 que alimentará

$$\sqrt{3} \sqrt{3}$$

los siguientes instrumentos:

voltímetro, vatímetro, medidor de energía, fasímetro y frecuencímetro

b) Se dispondrá de un T.T. (TT2), monofásico de relación 380/100v. que alimentará al relé de sobretensión.

c) Un T.T. a relación 220/100v. de puesta a tierra del neutro del alternador.

4.5.1.4. Instrumentos de Medicion

a) Amperímetro (1A)

Se emplearán 3; tipo de cuadro, sistema de Fe móvil, para operación con T.C. de 5A. Clase de precisión 1.5 consumo 0.5 VA. Valor máximo de escala 200A., 60 hz permitirán lecturas de las



tres corrientes de línea de salida del generador.

b) Voltímetro con Conmutador

Voltimétrico (1V)

Será del tipo de cuadro, sistema de Fe móvil, tensión nominal 100V., para **operar** T.T. clase 1.5, consumo 4.5 VA. valor máximo de escala 400V., 60 hz.

El **conmutador** voltimétrico permitirá tomar lecturas de las tensiones de líneas y de fase.

c) Vatímetro (1w)

Instrumento de cuadro de sistema electrodinámico, para sistema trifásico a hilos. Tensión nominal 100v., corriente nominal 5A; para operar con T.C. y T.T. Escala de 100 Kw. Clase 1.5.

d) **Medidor** de energía activa (1Kw-H)

Será un instrumento de inducción para sistema trifásico a 4 hilos tensión 100 v., corriente nominal 5A., frecuencia 60 hz.

e) Frecuencímetro

Será del tipo de lenguetas vibrantes, de cuadro. Tensión nominal 100v. Rango de medición (56-64)hz clase de precisión 0.5.

f) Cosfímetro

Instrumento logométrico trifásico para usar con T.C. de 5A y T.T de 100v., 60 hz con rango de medición de 0.5 en adelanto a 0.5 en atraso.

4.5.2 Tablero de Señalización y protección  
(T-2)

El sistema eléctrico esta expuesto diferentes condiciones anormales de operación tales como sobretensiones atmosféricas internas, fallas, etc. La protección por medio de reles permiten que el sistema tenga un mínimo de interrupciones del servicio, y la conservación de los equipos electromecánicos.

En este tablero se instalarán las protecciones del alternador contra perturbaciones de origen externo e interno como son:

4.5.2.1 Protección contra Sobrecorriente (I<sub>2</sub>)

Dada por un relé de sobrecorriente;

protegiendo al **alternador** contra corto circuito.

Este relé accionará la bobina de apertura del interruptor **termomagnético** del alternador en **forma** instantánea y del circuito de excitación del **alternador**, proponemos el relé B.B.C. tipo ISM 21; que es un relé electromecánico cuya I nominal será 5A1, 60 hz, 1 rayo de calibración (1-2)In.

Deberá tener **indicadores** visuales de disparo.

#### 4.5.2.2. Protección contra Sobrecarga (I)

Emplearemos el relé térmico B.B.C. tipo STf, para protección contra **sobrecarga** del alternador. Cuando el incremento de temperatura del elemento bimetalico excede el **valor** prefijado, el relé dispara; provocando la apertura del interruptor del **alternador**.

Este relé dispone de calibraciones para la constante de tiempo, corriente nominal 5A, 60 hz, para operar con T.C.

La regulación se hara conociendo la curva de calentamiento del alternador.

#### 4.5.2.3 Protección contra Sobretensión (U)

Las sobretensiones de origen interno en los alternadores se producen a consecuencia de la pérdida de carga.

Emplearemos un relé de sobretensión de acción retardada con una regulación de disparo en 110% de la tensión nominal. Este relé también podrá regularse para que dispare con subtensión del 65% de la tensión nominal. Seleccionamos el relé BBC UM3/y, de tensión nominal 100v., 60 hz, rango de regulación (0.6-1.60 Un, que al disparar produce la apertura del interruptor principal del alternador y del circuito de excitación del alternador.

#### 4.5.2.4. Protección contra falla a Tierra (UE >) del Estator

Condición importante para el accionamiento de esta protección a que el neutro del alternador este puesto a tierra. En esta conexión se instala en T.T que alimenta por su secundario a un relé de falla a tierra.

Cuando se produce la falla del estator la corriente induce una tensión que es leída por el relé, el cual dispara abriendo el interruptor principal y el circuito de

excitación. Seleccionamos el relé BBC UBX 117, tipo estático con  $U_n = 100v$ , 60 hz rayo de regulación ( 2.5 - 6.5% ) $U_n$ .

#### 4.5.3 Tablero de Salida a SE de M.T. (T-3)

En esta celda se dispondrá de los siguientes equipos:

##### 4.5.3.1 Seleccionador-Fusible (3S)

Que servirá para aislar al transformador elevador de la S.E. manteniendo energizadas las barras colectoras de BT del lado del alternador permitiendo operar los servicios auxiliares.

Seleccionamos el seccionador fusible B.B.C tipo SLP1, 250AL, 660v., 60 hz con fusibles de 250A, de montaje vertical en el panel frontal del tablero.

##### 4.5.3.2 Protección de Sobrecorriente a tierra lado de M.T.

Esta protección está dada por un transformador de corriente y un relé de sobrecorriente conectado al neutro del transformador de M.T. que alimenta a la línea de subtransmisión. El T.C sera de relación 150/5A, clase 5P10, 10Kv. y el relé será el modelo BBC ISM2/, tipo electromecánico de  $I_n = 5A$ , 60hz, rayo de

calibración (1-2)In, el cual disparará y causará la apertura del interruptor principal del alternador.

#### 4.5.4 Tablero de Servicios Auxiliares (T-4)

Este tablero servirá para satisfacer la demanda de servicios auxiliares de la central que se distribuye de la siguiente manera:

- a) Iluminación interna                    1.0 KVA
- b) Iluminación externa                    1.5KVA
- c) Salidas de fuerza para  
      mantenimiento                        : 3 KVA
- d) Sistema de C.C.                        :0.5 kVA

La demanda total es 7.0KVA, la que será atendida con tensión trifásica 380/220v.

Este tablero llevara los siguientes equipos:

#### 4.5.4.1 Transformador de Potencia (4T)

Será una unidad trifásica de 10KvA **conectado** las barras **colectoras** principales de B.T. en 380 v. Para **disponer** las cargas monofásicas en 220v., la conexión será triángulo (380v) en el primario y estrella con **neutro corrido** (380/220v) en el secundario.

Dada la reducida **potencia** consumida en servicios auxiliares y la baja tensión de trabajo emplearemos un transformador tipo seco con refrigeración natural por aire.

#### 4.5.4.2 Seccionador Fusible (4S)

Tipo extraíble marca B.B.C. operable bajo carga, modelo SPL00 de 125 A. con fusibles de 63 A., **conecta** al **transformador** de servicios auxiliares a las **lanas** colectoras principales del **alternador** y brinda protección contra corto circuito y sobrecarga.

#### 4.5.4.3 Interruptores termomagnéticos para

##### Circuitos derivados (4B)

Serán del tipo de caja **moldeada**, tripolares y **bipolares** con capacidad mínima de **cortocircuito** 5KA, 380v. Su corriente **nominal** y **circuitos** que

alimentan se indican en el esquema No 4.20.

#### 4.6 Subestacion de Salida en M.T.

Para la transmisión de la energía eléctrica desde la central hasta el poblado de consumo, se requiere transmitir en la tensión más económica, a una distancia aproximada de 1.2 Km que esta dada por la formula empírica de Still:

$$U = 5.5 \sqrt{\frac{L}{1.609} + \frac{P}{100}}$$

donde:

U: Tensión de transmisión más económica de línea en Kv.

L: Longitud a transmitir en Km.

P: Potencia a transmitir en Kw.

Reemplazando:

$$L = 1.2\text{Km} \quad P = 70\text{Kw}$$

Tenemos:

$$U = 6.6\text{Kv.}$$

por lo que se requiere de una Sub-estación elevadora en M.T. que operara la tensión normalizada más cercana a 6.6Kv que es 10Kv, de acuerdo al C.N.E.

Con objeto de disminuir el costo de la central; fijamos que la Sub-estación



elevadora esté a la intemperie rodeada de una malla metálica de protección.

Para simplificar las labores de montaje, mantenimiento y **manipulación** de **transformador** elevador, disponemos que este se fije al nivel del suelo eliminando la necesidad de grúas, tecles, aparejos, etc., que se hubieran requerido si hubiera estado montado en una subestación biposte.

La subestación estara compuesta de los siguientes equipos: transformador de potencia; cortacircuitos fusibles (cut-outs) en M.T. y pararrayos.

El montaje de la subestación se muestra en el plano No. IE-01.

#### 4.6.1 Selección del Transformador de Potencia

**Siendo la** máxima potencia de generación 87.5 KVA seleccionamos un transformador de potencia nominal igual **superior**. Escogemos el de 100 **KVA por ser el más cercano que** está normado por el C.N.E. y otras normas como C.E.I. etc.

El grupo de conexión **del transformador** sera YNd5 que permitirá poner a tierra el

neutro del lado de 10Kv con objeto de disponer en esta conexión un T.C. que permita el accionamiento del rele de sobrecorriente en caso de falla de una o dos fases a tierra.

Característica importante en este transformador será la impedancia de cortocircuito cuyo valor lo fijamos como mínimo en 5% con objeto de limitar en caso de cortocircuito los efectos térmicos y dinámicos en el transformador.

El transformador estará refrigerado en baño de aceite y deberá estar equipado con tanque conservador y trampa contra la humedad. Irá Montado sobre una loza de concreto apropiada y tendrá un canal debajo de el con objeto de captar fugas de aceite.

Tendrá una válvula en la parte inferior de la cuba con objeto de poder tomar muestras del aceite dieléctrico.

#### 4.6.2 Cortacircuitos Fusibles de la S.E.Elevadora (Cut-Outs)

Son dispositivos de maniobra capaces de interrumpir en forma visible la continuidad del circuito; pueden ser

maniobrables bajo tensión pero sin corriente. Deben cumplir con garantizar aislamiento dieléctrico a tierra, conducir en forma continua la corriente nominal. Los fusibles que forman parte del Cut-Out brindan protección contra corto-circuitos y sobrecargas en el circuito de media tensión; mediante la fusión del elemento fusible que es la parte fundamental y que determina sus características. En nuestro caso emplearemos Cut-Outs unipolares de accionamiento manual con pertiga montadas en crucetas como se muestra en el plano No. IE-01. Las características principales serán: tensión nominal 15Kv, corriente nominal de 100A; fusibles de  $1.5I_N$ , del transformador que es 10A; capacidad de ruptura 10KA.

#### 4.6.3 Protección contra Sobretensiones en la Red de M.T. - Pararrayos

Las sobretensiones que afecten a la red de M.T. son de origen externo e interno.

De origen externo son las descargas atmosféricas y de origen interno son las sobretensiones por maniobras de interruptores.

Como protección del transformador contra estas sobretensiones disponemos la instalación de pararrayos de tipo autovalvular unipolares, a la salida de la línea de 10Kv.

Las funciones de los pararrayos son de operar sin sufrir daño por tensiones en el sistema y corrientes que circulen por él; y de reducir las sobretensiones peligrosas o valores que no dañen el aislamiento del equipo.

Las características principales para la selección del pararrayos son:

a) Tension nominal

Que se calcula de acuerdo a la expresión:

$$V_n = K_e V_{max}$$

donde:

$V_{max}$ : Tensión máxima del sistema entre fases: 12Kv.

$K_e$  : Factor de conexión a tierra; que en sistemas con neutro sólido a tierra vale 0.80

Luego tenemos:

$$V_n = 12 \times 0.8 = 9.6 \text{ Kv.}$$

Comercialmente se especifica como tensión nominal:

$V_n = 10\text{Kv.}$

b) Corriente de descarga

Para un pararrayos ubicado al extremo de la línea, la corriente de descarga está dada por la ecuación:

$$I_d = \frac{2}{Z_0} (\text{NBI})$$

Donde:

NBI : nivel básico de aislamiento de la línea en KV; y de acuerdo a normas.

$V_r$  : Tensión residual del pararrayos en Kv.

$Z_0$  : Impedancia característica de la línea en obras.

Para nuestro caso:

C.N.E.T.IV, tabla 3, II

$\text{NBI} = 75\text{Kv}$

$Z_0 = 600 \text{ ohms}$

Tenemos:

$$I_d = \frac{2 \times 75\text{Kv}}{600} = 0.25\text{KA}$$

Comercialmente los pararrayos de menor capacidad son de  $I_d = 2\text{KA}$  que es el que seleccionamos.

#### .6.4 Cálculo de la Corriente de Corto-circuito

El cortocircuito es una situación

indeseable en un sistema eléctrico pero que lamentablemente puede presentarse teniendo diversos orígenes como por ejemplo; una **sobretensión** por descarga atmosférica, una falla del aislamiento por envejecimiento prematura, maniobras erróneas, etc., y en estas condiciones se debe estar en posibilidad **de conocer** en todos los puntos de una instalación las magnitudes de las corrientes de **corto-circuito**.

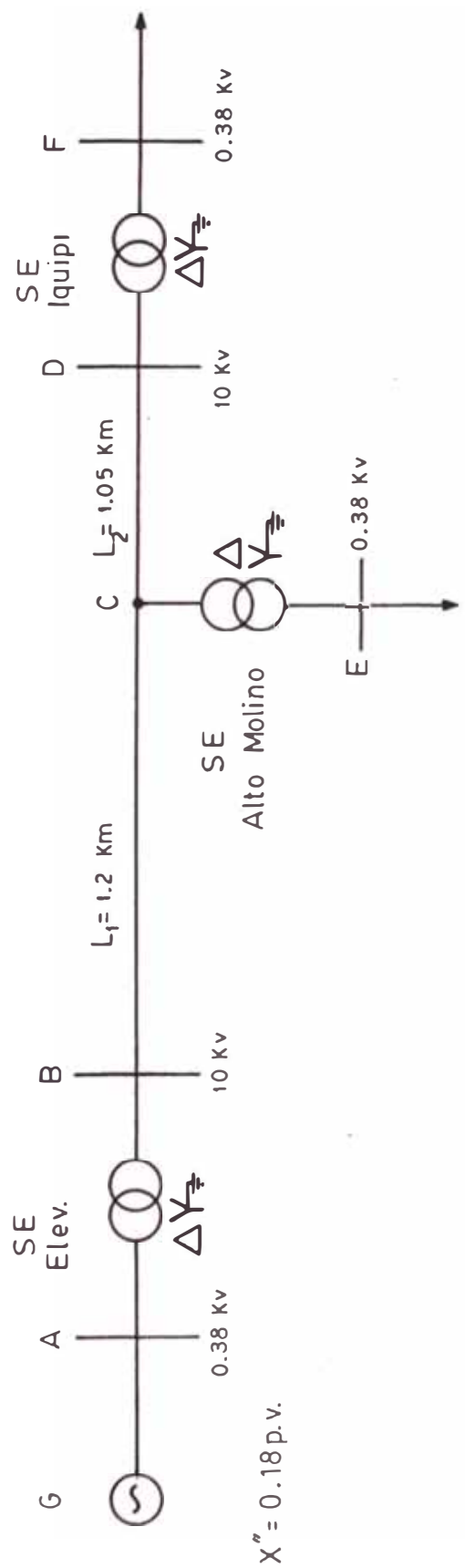
El estudio de corto-circuito sirve para:

a) Determinar las características interruptivas de **los elementos** de desconexión como son interruptores fusibles, etc. que permitan una selección adecuada de equipo.

b) Hacer los estudios térmicos y dinámicos debidos a los efectos de las corrientes de **corto-circuito** en algunos elementos de la red, como son sistemas de barras, tablero, cables.

Para la red eléctrica del presente proyecto representamos el sistema en la figura 4.21 en forma unifilar.

Se toman en **cuenta** las siguientes



$X'' = 0.18 \text{ p.v.}$

GRAFICO 4.21 ESQUEMA UNIFILAR DEL SISTEMA

consideraciones:

a) La tensión en el punto de falla se toma como 1.0 p.u

b) Solo se consideran reactancias en serie, se desprecia la capacidad de las líneas.

c) Para el generador se considera la reactancia subtransitoria.

La falla a estudiarse será la falla trifásica porque a pesar de ser la de menor ocurrencia es la que somete a los equipos a los esfuerzos más severos.

Las reactancias de los elementos del sistema son:

Generador G :  $X'' = 18\%$ , 87.5KVA, 0.38KV.

Transformador Elevador

T1 :  $X_{T1} = 5\%$ , 100KVA, 0.30/10KV.

Transformador S.E Alto

Molino T2 :  $X_{T2} = 4.8\%$ , 50KVA, 10/0.38/23Kv.

Transformador S.E Iquipi

T3 :  $X_{T3} = 4.8\%$ , 75KVA, 10/0.38/0.23LV

Línea de Sub-Transmisión:

La reactancia esta dada por la siguiente



expresión:

$$x = w (0.5 + 4.6 \log D_{mg}) 10^4 \text{ ohm / Km}$$

donde :

$D_{mg}$  : distancia media geométrica de los tres conductores de la línea de 10 KV en m.

$$D_{mg} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{13}}$$

$r$  : radio del conductor en m.

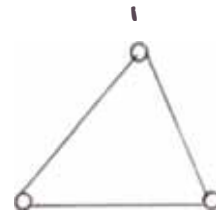
Considerando una configuración triangular de conductores :

$$D_{12} = 0.943\text{m}$$

$$D_{23} = 1.00 \text{ m}$$

$$D_{13} = 0.943\text{m}$$

$$D_{mg} = 1.021\text{m}$$



Empleando conductor de cobre de  $10\text{mm}^2$  tenemos que el radio del conductor cableado es  $r$  donde :

$$r = \frac{4.05}{2} \text{ mm} = 2.025$$

2

Reemplazando valores tenemos :

$$x = 0.4875 \text{ ohm / Km}$$

#### 4.6.4.1. Cálculo de las Corrientes de Corto

##### Circuito por Falla Trifásica.

Con los valores de reactancia de todos los elementos del sistema ya definidos elaboramos el circuito unipilar en p.u. tomando como bases : la potencia y la tensión del generador :

$$S_B = 87.5 \text{ KVA}$$

$$V_B = 0.38 \text{ Kv}$$

Reactancias en p.u. : a) Generador :

$$X_g'' = 0.18 \text{ p.u.}$$

b) Transformador elevador (T1)

$$X_{t1} = 0.05 \frac{(100) (0.38^2)}{87.5 \cdot 0.38^2}$$

$$X_{t1} = 0.057 \text{ p.u.}$$

c) Línea de Sub-trasmisión :

Tramo BC :

Longitud : 1.2 Km

$$X_{L1} = 0.4875 \frac{\text{ohm}}{\text{Km}} \times 1.2 \text{ Km} = 0.585 \text{ohm}$$

Tramo CD :

longitud : 1.050 Km

$$X_{L2} = 0.4875 \frac{\text{ohm}}{\text{Km}} \times 1.050 \text{ Km} = 0.512 \text{ohms}$$

La impedancia de base para la línea es :

$$Z_b = \frac{V_B^2}{S_B}$$

$$Z_B = 1143 \text{ ohms}$$

Luego :

$$X_{L1} = 0.585 \text{ ohms} = 0.001 \text{ p.u.}$$

$$X_{L2} = 0.512 \text{ ohms} = 0.004 \text{ p.u.}$$

$$1143 \text{ ohms}$$

d) Transformador de la S.E. de distribución Alto Molino :

$$X_{t2} = 0.048 (50/87.5) (10/50)^2 = 0.041 \text{ p.u.}$$

e) Transformador de la S.E. de distribución Iquipi :

$$\begin{aligned} X_{t3} &= 0.048 (75/87.5) (10/10)^2 \\ &= 0.041 \text{ p.u.} \end{aligned}$$

El diagrama de impedancia en p.u. se muestra en la figura 4.22.

Con objeto de calibrar la protección del generador, dimensionar el sistema de barras del tablero T-1 y determinar el poder de ruptura del interruptor principal calcularemos la corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ) y las potencias de cortocircuito ( $S_{cc}$ ) en los sgtes puntos:

A : Barras de tablero de salida

B : S.E. Elevadora

E : S.E. de Distribución-Alto Molino

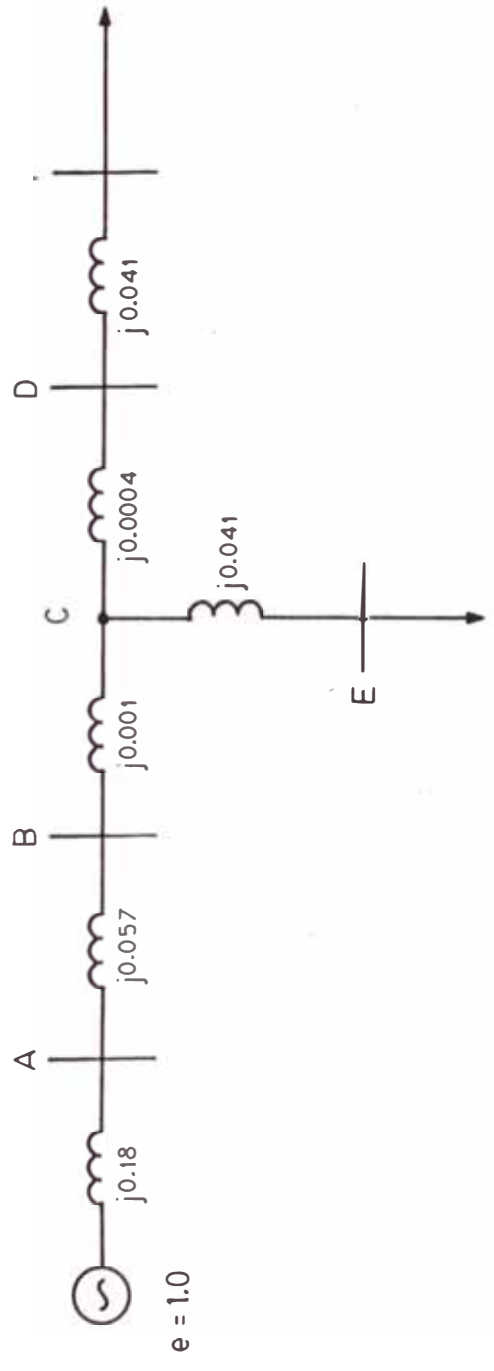


GRAFICO 4.22 ESQUEMA DE IMPEDANCIAS DEL SISTEMA EN P.U.

F : S.E. de Distribución-Iquipí

Icc en A :

$$i_{ccA} = e = \frac{1.0}{X_g} = 5.55 \text{ p.u.}$$

$$X_g = 0.18$$

$$I_{\text{base}} = \frac{S_B}{\sqrt{3} V_B} = \frac{87.5 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 0.38 \text{ Kv}} = 133 \text{ A}$$

$$I_{\text{base}} = \frac{87.5 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 0.38 \text{ Kv}} = 133 \text{ A}$$

$$I_{ccA} = 5.55 \times 133 = 0.738 \text{ K A.}$$

$$I_{dinA} = 1.8 \sqrt{2} I_{ccA} = 1.879 \text{ KA}$$

$$S_{ccA} = i_{ccA} \times e = 5.65 \text{ p.u.}$$

$$S_{ccA} = 5.55 \times 87.5 = 486 \text{ KVA}$$

Por tanto el poder de ruptura mínimo del interruptor será de 486 K.V.A.

Icc en B :

$$i_{ccB} = \frac{e}{X_g + X_{t1}} = \frac{1.0}{0.18 + 0.057} = 4.219$$

$$I_{\text{base}} = \frac{S_B}{\sqrt{3} V_B} = \frac{87.5 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 10 \text{ Kv}} = 5.05 \text{ Amp}$$

$$I_{ccB} = 4.21 \times 5.05 \text{ A} = 21.3 \text{ Amp}$$

$$I_{dinB} = 1.8 \sqrt{2} I_{ccB} = 54.22 \text{ Amp}$$

$$S_{ccB} = 369 \text{ KVA}$$

Icc en E:

$$i_{ccE} = \frac{e}{X_g + X_{t1} + X_{L1} + X_{t2}}$$

$$1$$

$$0.18 + 0.57 + 0.001 + 0.041$$

$$i_{ccE} = 3.58 \text{ p.u}$$

$$I_{\text{base}} = \frac{87.5 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 10 \text{ Kv}} = 5.05 \text{ Amp}$$

$$I_{ccE} = 3.58 \times 5.05 \text{ A} = 18.08 \text{ Amp}$$

$$I_{dinE} = 1.8 \sqrt{2} \times I_{ccE} = 46.02 \text{ Amp}$$

$$S_{ccE} = i_{ccE} \times e = 3.58 \text{ p.u}$$

$$S_{ccE} = 313 \text{ KVA.}$$

Por consiguiente los seccionadores fusibles de protección de la S.E. Alto Molino deberán interrumpir la :

$$I_{cc} = 18.08 \text{ Amps, en } 10 \text{ Kv.}$$

$I_{cc}$  en F:

$$i_{ccF} = \frac{e}{X_{\theta} + X_{T1} + X_{L2} + X_{T3}}$$

$$i_{ccF} = \frac{1}{0.18 + 0.57 + 0.001 + 0.041} = 3.56 \text{ p.u}$$

$$I_{\text{base}} = 5.05 \text{ Amp}$$

$$I_{cc} = 3.56 \times 5.05 \text{ A} = 17.9 \text{ Amp}$$

$$I_{dinF} = 1.8 \sqrt{2} \times 17.9 \text{ Amp} = 45.5 \text{ A}$$

$$S_{ccF} = i_{ccF} \times e = 3.56 \text{ p.u}$$

$$S_{ccF} = 3.56 \times 87.5 \text{ KVA} = 311 \text{ KVA}$$

Los seccionadores fusibles de protección en la S.E. Iquipi deberán interrumpir la:

$$I_{ccF} = 17.9 \text{ Amp en } 10 \text{ Kv.}$$

4.6.4.2 Cálculo de los esfuerzos Electro-dinámicos

:

Dimensionado de las Barras de B.T.

La corriente de cortocircuito dinámica  $I_{din}$  es la que establece los criterios de diseños en las instalaciones eléctricas en este caso el juego de barras del **tablero de B T** de salida y la S.E. elevadora de la central.

**Consideramos** que empleamos barras de **cobre de** sección rectangular de 20x5mm dispuestas como se muestran en la figura 4.23 y que la  $I_{din} = 1.879 \text{ K A}$ .

La fuerza electrodinámica esta dada por la siguiente expresión.

$$p = 2.04 \frac{I^2}{d} \quad \begin{array}{l} I: \text{ en KA} \\ P: \text{ en Kg/m} \\ d: \text{ en cm} \end{array}$$

reemplazando tenemos:

$$p = \frac{2.04 \times 1.879^2}{20} = 0.4 \text{ Kg/m}$$

20

**Si consideramos** que las barras corren a lo largo de 4 celdas; estando los aisladores espaciados 90 cm entre si, tendremos que la fuerza esta distribuida en cada **tramo; se** puede remplazar por

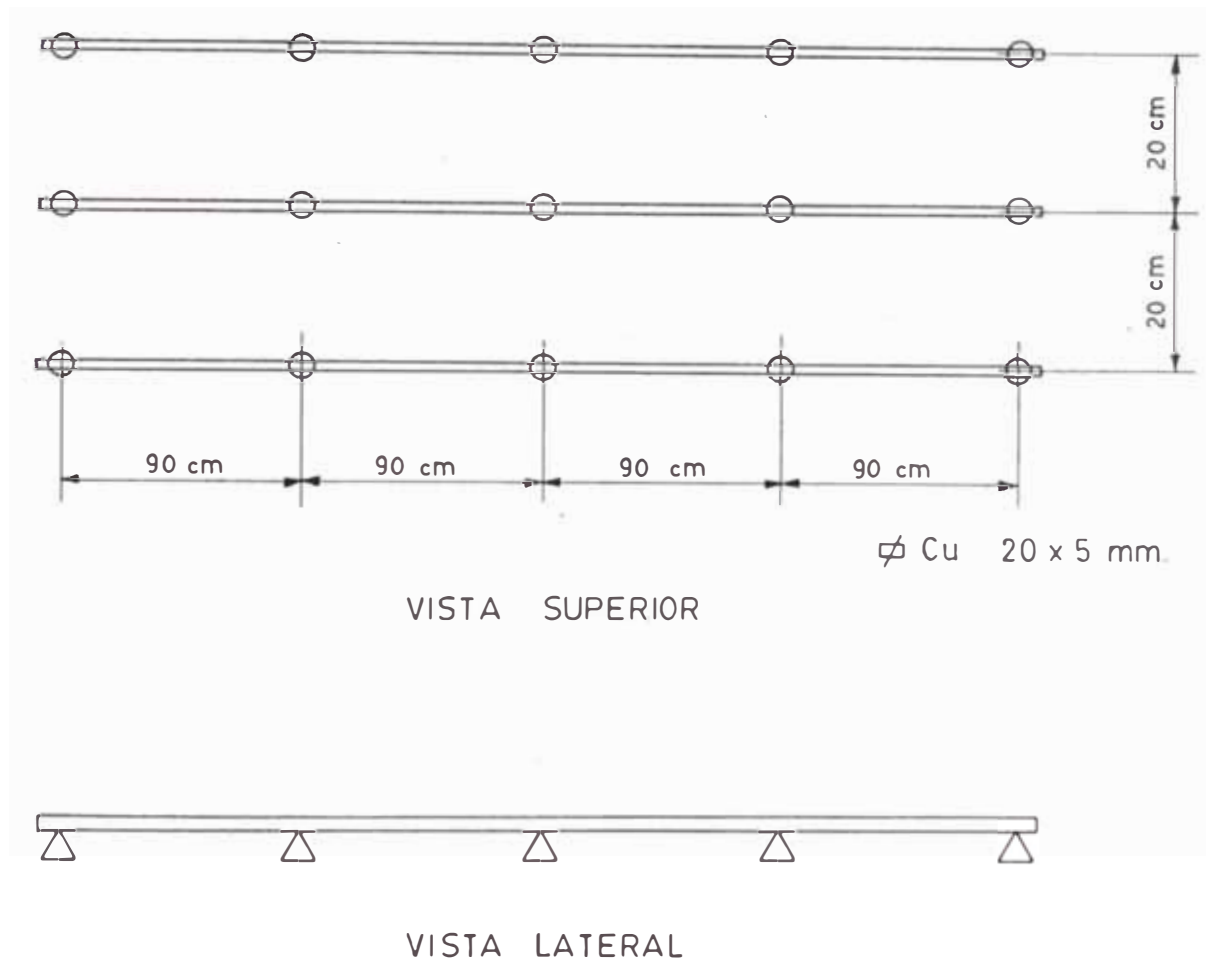


GRAFICO 4.23 CONFIGURACION DE LAS BARRAS DEL TABLERO GENERAL DE B.T.



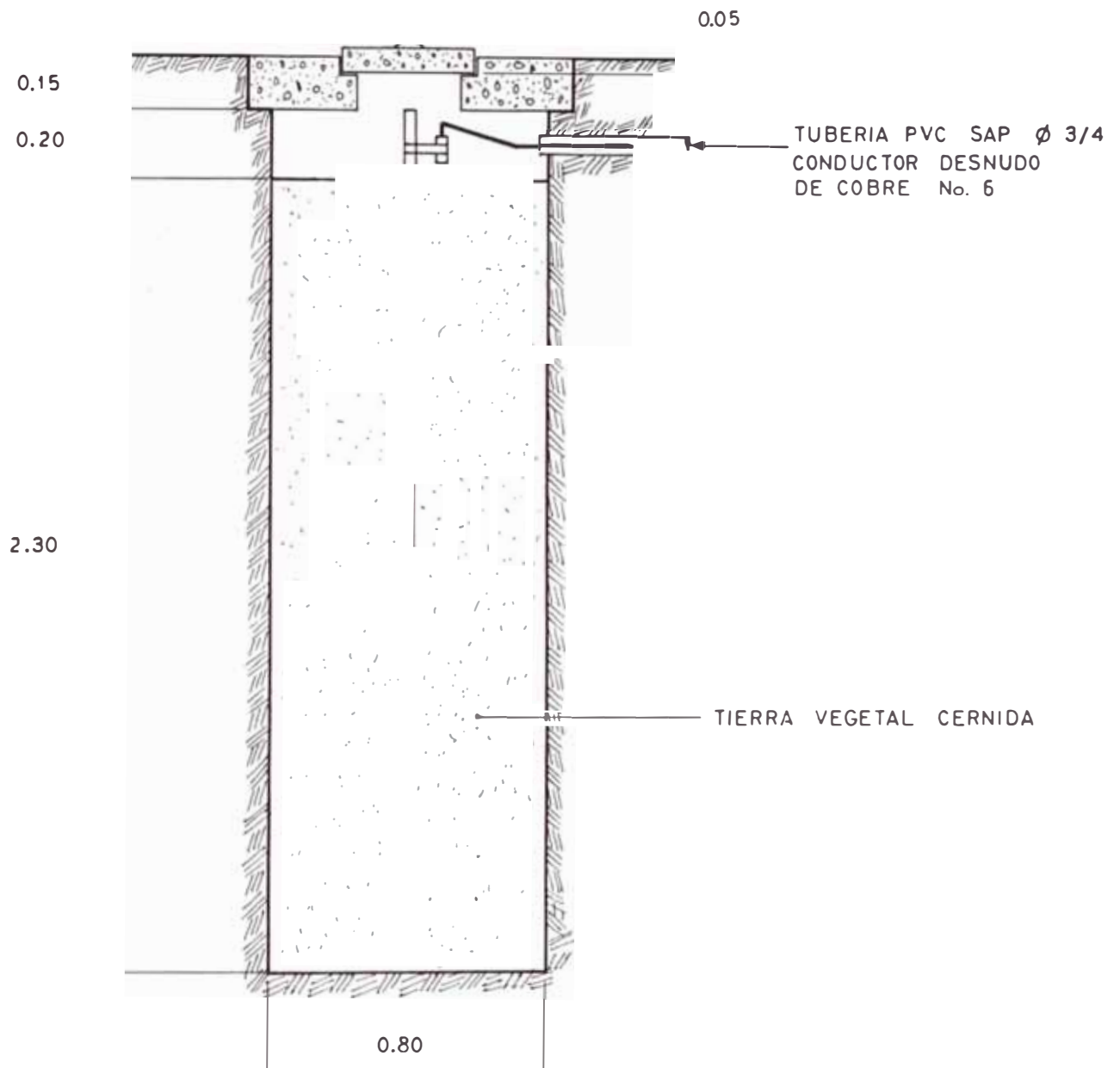


GRAFICO 4.24 ELECTRODO DE TIERRA DE PROTECCION

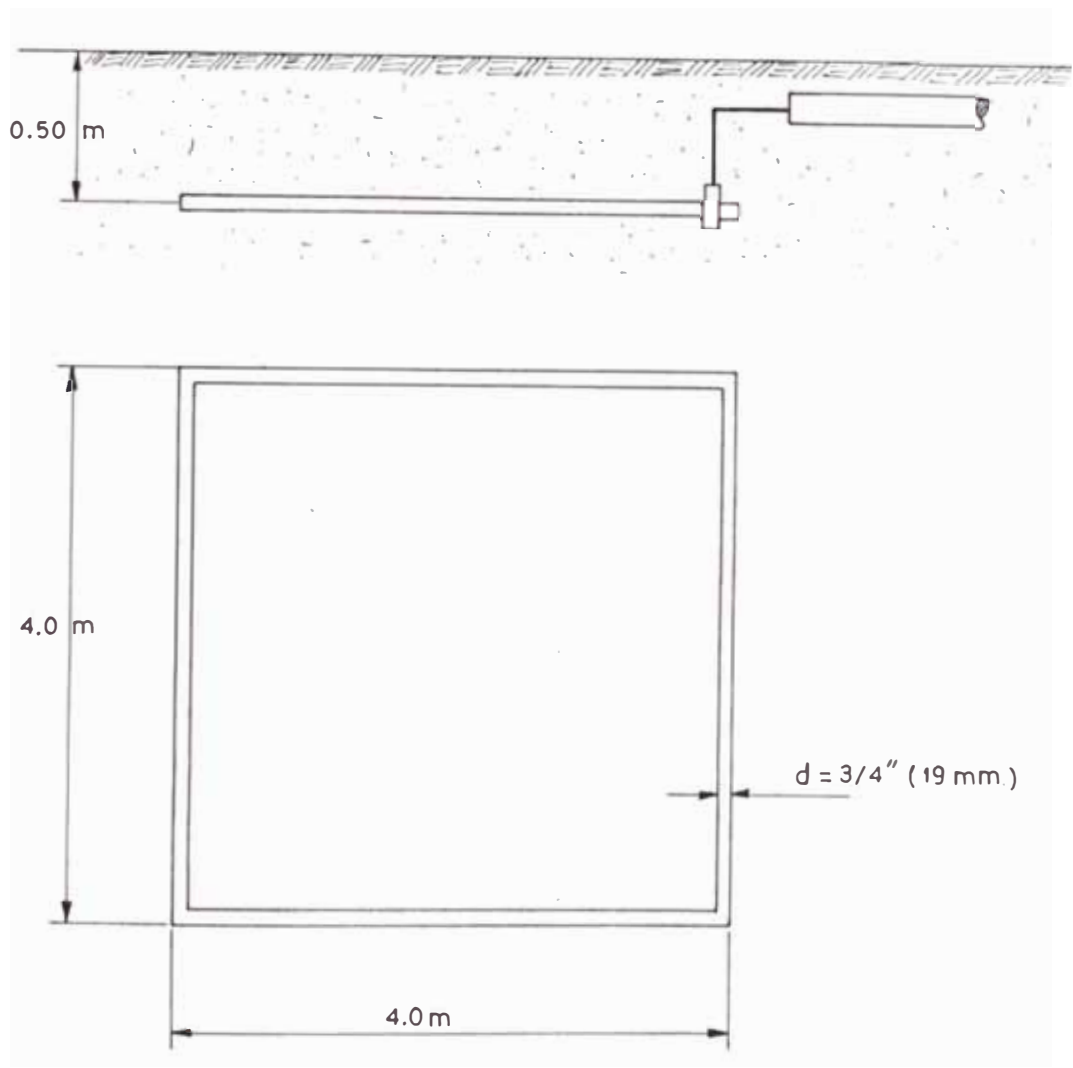


GRAFICO 4.25 ELECTRODO DE TIERRA DE FUNCIONAMIENTO

una fuerza aplicada en el punto medio de cada tramo.

$$P = pL = 0.4 \times 0.9 = 3.6 \text{ Kg}$$

El momento flector para una viga continua esta dado por la expresi3n:

$$M = \frac{PL}{16} \text{ Kg-cm}$$

$$16$$

$$M = \frac{3.6 \times 90}{16} = 20.25 \text{ Kg-cm}$$

$$16$$

El momento resistente de la barra es:

$$W_b = M$$

donde:

M: momento flector Kg-cm

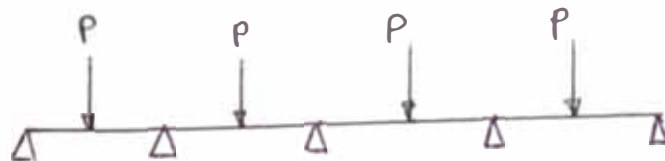
$\sigma$ : esfuerzo permisible en el cobre  
tomamos = 1100 Kg/cm<sup>2</sup>

$$W_b = \frac{20.25 \text{ Kg-cm}}{1100 \text{ Kg/cm}^2} = 0.020 \text{ cm}^3$$

$$1100 \text{ Kg/cm}^2$$

El momento resistente para la secci3n rectangular de barra de 20x5mm es:

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{2 \text{ cm} \times 0.5 \text{ cm}^2}{6} = 0.167 \text{ cm}^3$$



comprobamos que  $W > W_b$

$$0.167 \text{ cm}^3 > 0.020 \text{ cm}^3$$

El coeficiente de seguridad para esta condición de trabajo es:

$$\text{C.S.} = \frac{W}{W_b} = \frac{0.167 \text{ cm}^3}{0.020 \text{ cm}^3}$$

$$\text{C.S.} = 8.35$$

De lo que concluimos que la sección seleccionada es satisfactoria.

A continuación calculamos la frecuencia de oscilación de la barra:

$$f = \frac{112}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{g}}$$

donde:

$l$ : longitud entre apoyos = 90cm

$E$ : modulo de elasticidad

$$1.25 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$J$ : momento de inercia =  $\frac{hb^3}{12}$

$$12$$

$g$ : peso de la barra = 0.0084Kg/cm

Reemplazando valores tenemos:

$$f = 23.65 \text{ c/seg}$$

El peligro de resonancia mecánica se da cuando la frecuencia natural está dentro

de los rangos siguientes:

$$60 \pm 10\% \text{ hz} \quad 54 < f < 66 \text{ hz}$$

$$120 \pm 10\% \text{ hz} \quad 108 < f < 132 \text{ hz}$$

Vemos que no es el caso y que no hay peligro de resonancia mecánica.

#### 4.6.4.3 Efectos térmicos del cortocircuito

Debido al cortocircuito se produce una elevación de temperatura y se asume que nada del calor generado se libera.

Este incremento de la temperatura está dado por la expresión :

$$\theta = K \frac{I_{cc}^2}{A^2} (t + \Delta t)$$

donde:

K: cte. del material

$$Cu = 0.0058$$

$$I_{cc}: 1,879 \text{ Amp}$$

$$t: 3 \text{ seg}$$

$$\Delta t: \left( \frac{I_{cc}^2}{A^2} \right) T \quad T = \text{cte de tiempo} = 0.6$$

$$t: (1.879)^2 \cdot 0.6 = 3.9 \text{ seg}$$

$$A: 100 \text{ mm}^2$$

$$\theta: 14.1 \text{ C}$$

Si consideramos que la temperatura ambiente es de 30 C; la temperatura final será:

$$T_{\text{final}} = 30 + 14.1 = 44.1 \text{ C}$$

que es menos que la temperatura máxima admisible de la barra de cobre que es de 200 C.

$$44.1 \text{ C} < 200 \text{ C}$$

#### 4.7 Calculo de la red de tierra

Toda instalación eléctrica debe estar diseñada para prevenir el peligro de cualquier contacto accidental de las partes metálicas con los elementos que se encuentran bajo tensión. Si aún con estas medidas de seguridad las partes aisladas entran en contacto con las partes bajo tensión aparecen potenciales respecto al suelo o tierra que son riesgosos para el personal y los equipos.

Esto se puede eliminar estableciendo "una puesta a tierra" con una resistencia  $R_T$  con un determinado valor que limite la máxima caída de tensión  $U_T$ ; que puede aparecer entre una estructura y el suelo

o valores fijados por las normas de seguridad.

Calcularemos dos tipos de puesta a tierra:

#### 4.7.1 Puesta a tierra para protección

Donde se conectarán las partes metálicas de las instalaciones, los tableros eléctricos, tanque de transformadores y red primaria.

El valor máximo de RT según el C.N.E. T IV Art 3.2.3.5. será:

$$R_{t1} \leq 25 \text{ ohms}$$

#### 4.7.2 Puesta a tierra para funcionamiento

Donde se conectará el neutro del alternador; de los transformadores conectados en estrella y de los pararrayos.

Las normas VDE recomiendan que  $R_{T2} =$  ohms  
Consideremos la resistividad del terreno orgánico como:

$$\rho = 50 \text{ ohm} \cdot \text{metro}$$

Si adaptamos un electrodo en forma de varilla de Copperweld de 5/8" de diámetro x 2.40 de largo como se muestra en la figura 4.24, la  $R_{T1}$  esta dada por la siguiente expresión:

$$R_{T1} = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{r} - 1 \right) \text{ ohms}$$

$$R_{T1} = 20.2 \text{ ohms} < 25 \text{ ohms}$$

y para  $R_{T2}$  adoptamos la configuración de la figura 4.25, un cuadrado con el objeto de alcanzar la  $R_{T2}$  requerida, hecho de varilla de cobre de 3/4 pul. (19mm) de diámetro y enterrado a 0.5 m de profundidad donde la  $R_{T2}$  esta dada por la expresión:

$$R_{T2} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left( \frac{l^2}{dh} \right) \text{ ohms}$$

donde:

d: diámetro de la varilla = 0.019 m

h: profundidad de enterramiento = 0.5m

l: longitud del conductor de cobre = 16m

Reemplazando valores tenemos:



$$R_{T2} = 50 \left( \frac{\ln \frac{16^2}{2 \times 16}}{0.019 \times 0.50} \right) = 5.0 \text{ Ohms}$$

que ratifican los requerimientos de seguridad

El detalle constructivo, se muestra en las figuras 4.24 y 4.25.

## CAPITULO 5

### DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCION

#### 5.1 Redes Primarias

##### 5.1.1 Trazo

La línea de subtransmisión en M.T., 10 Kv; se inicia en el S.E. **Elevadora** en la central y luego sigue un **recorrido** de 1.2Km hasta llegar a la primera S.E. de distribución en Alto Molino, continuando después un **recorrido** de 1.050Km hasta llegar a la segunda S.E. de distribución en el poblado de Iquipí.

En la figura 5.1 se muestra la configuración de la red en 10 Kv.

##### 5.1.2 Cálculo eléctrico de la Red Primaria

Las bases para este cálculo son :

a) La máxima demanda **de potencia** considerando el último año de estudio en proyección determinada en el capítulo 3; Estudio de mercado eléctrico es :

S.E. Alto Molino : 33.331 Kva

- S.E. Iquipí : 45.55 Kva

b) Nivel de tensión según la norma DGE-009 - TD-2 es:

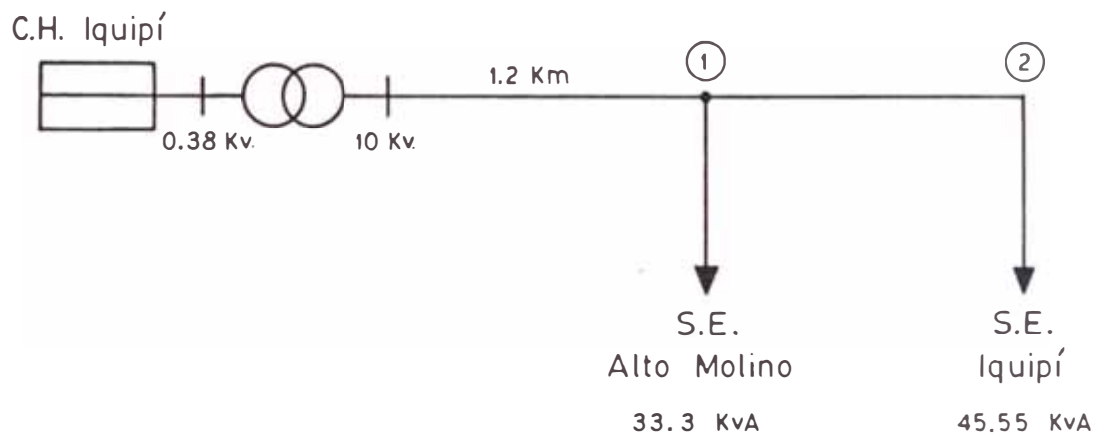


GRAFICO 5.1 ESQUEMA UNIFILAR DE LA RED DE DISTRIBUCION PRIMARIA

Sistema trifásico en 10Kv, 3 conductores

c) Distancia entre conductores del circuito:

Adoptando la disposición mostrada vemos que son mayores que la distancia mínima requerida por el C.N.E.T.IV. Art. 2.2.3.1, que es de:0.40m

d) Factor de potencia : 0.9 en atraso

e) Caída de tensión permisible : 6% V nominal C.N.E.T.IV Art. 2.13

f) Nivel básico de aislamiento: aisladores.

De acuerdo a las normas CEI-71-1 el nivel de aislamiento para la tensión nominal de 10Kv(Max tensión de la red, 12Kv) es :

-Tensión de impulso 1.2/50 us : 75Kv.  
pico

-Tensión de prueba a frecuencia:28Kv industrial

-Distancia mínima de los conductores (según el C.N.E) al apoyo:

$$L = 0.1 + \sqrt{VN}$$

$$150$$

$$L = 0.1 + \frac{10}{100} = 0.16m$$

$$150$$

Elegimos  $L = 0.20\text{m}$

g) Distancias de seguridad : según el C.N.E.

- Del punto más bajo del conductor más bajo a otro conductor de B.T. 1.20m

- Del conductor mas bajo al suelo 5.50m

#### 5.1.2.1 Cálculo de los Parámetros Eléctricos

a) Resistencia (R)

Considerando que la máxima temperatura del conductor sea  $50^\circ\text{C}$  la resistencia se calcula con:

$$R_{50^\circ\text{C}} = R_{20^\circ\text{C}} \times (1 + \Delta\alpha t)$$

donde:

$R_{20^\circ\text{C}} = 1.86 \text{ ohm/Km}$  (conductor de  $10\text{mm}^2$ )

$\alpha$ : coeficiente de dilatación térmica

$$0.003821/^\circ\text{C}$$

$\Delta t$ : incremento de la temperatura:  $30^\circ\text{C}$

b) Reactancia Inductiva (X) calculada con:

$$X = 0.3769 (0.05 + 0.4605 \log D_{mg}) \text{ ohm/Km}$$

re

donde:

$$D_{mg} = \sqrt[3]{D \times D \times L} \quad \text{m} = 0.961 \text{ m}$$

$$re = 5 \times 10^{-9} \text{ m} = 0.001784\text{m}$$

c) Caída de tensión (V%)

$$\Delta V\% = \frac{KVA \times L \times Z}{10V^2}$$

donde:

V: tensión de línea Kv

L: Vano en Km

Z: impedancia de la línea en ohm/Km

$$Z = R \cos \theta + X \sin \theta$$

Reemplazando los valores calculamos los parámetros de la línea que son los siguientes:

Sección Nominal :	10 mm <sup>2</sup>
R <sub>20°C</sub> :	1.86 ohm/Km
R <sub>50°C</sub> :	2.07 ohm/Km
Dmg :	0.961 m
re :	0.001784 m
X :	0.492 ohm./Km
Z :	2.077 ohm/Km
Cap. de I :	90 Amp

Refiriendonos a la figura 5.1 calculamos la caída de tensión para la red:

	P	P	L	S	ΔV%	ΣΔV%
TRAMO	KVA	KVA	Km	mm <sup>2</sup>	v	v
2-1	45.55	45.55	1.050	10	0.099	0.099

1-C.H 33.33 78.88 1.2 10 0.197 0.296

La caída de tensión es de 0.296% < 6%.

Verificamos la sección escogida del conductor por capacidad de corriente:

$$I_{ch} = \frac{78.88}{3 \times 10} = 4.6A < 90A$$

3x10

### 5.1.3 Cálculos Mecánicos de la Red Primaria

#### 5.1.3.1 Hipótesis del Cálculo

Establecemos las siguientes hipótesis:

a) Hipótesis 1: Máximos esfuerzos

- Temperatura : 5 C

- Velocidad del viento : 90Km/hr

b) Hipótesis 2: Condiciones de templado

- Temperatura : 10° C, 15° C

20° C, 25° C

- Presión del viento : Nula

c) Hipótesis 3: Flechas máximas

- Temperatura : 40° C

- Presión del viento : Nula

#### 5.1.3.2 Cálculo de Esfuerzos

a) El esfuerzo máximo admisible en la hipótesis 1 según el C.N.E. para conductores de cobre duro cableado

$$T_1' = 16.8 \text{ Kg/mm}^2$$

b) Esfuerzos en las Hipótesis 2 y 3.

Según la tensión de cada día (T.C.D) de

la zona, consideramos el esfuerzo de templado ( $T_2'$ ) como el 20% del esfuerzo de rotura a partir de  $T_2'$  fijado, calculamos  $T_1'$  y  $T_3'$  mediante la ecuación de cambio de estado:

$$T_b'^2 \left( \frac{T_b' - T_a}{S} + E \alpha \Delta t + \frac{E}{24} \frac{(W_{a,r} L)^2}{T_a} \right) = E \frac{(W_{b,r} L)^2}{24 S}$$

donde:

$T_a$ : esfuerzo en la hipótesis inicial  
: Kg/mm<sup>2</sup>

$T_b$ : esfuerzo en la hipótesis final: Kg/mm<sup>2</sup>

$T_{a,b}$ : tiro hipótesis inicial, final : Kg

$W_{a,r}$ : peso resultante en la hipótesis inicial  
: Kg/m

$W_{b,r}$ : peso resultante en la hipótesis final

$t_{a,b}$ : temperatura inicial , final : °C

$\alpha$ : coeficiente de dilatación lineal  
: 1/° C

$E$ : módulo de elasticidad del material  
: Kg/mm<sup>2</sup>

$L$ : vano : m

$S$ : Sección del conductor : mm<sup>2</sup>

Haciendo:

$$R = E \left( \alpha \Delta t + \frac{1}{24} \frac{(W_{a,r} L)^2}{T_a} \right)^2$$



$$M = \frac{T_a}{S} - R$$

$$N = E \left( \frac{WbL}{24 S} \right)^2$$

Luego tenemos:

$$T_b'^2 (T_b' - M) = N$$

c) Peso resultante del conductor ( $W_r$ )

$$W_r = \sqrt{W^2 + P_v^2}$$

$$P_v = 0.0042V^2D$$

W: peso propio del conductor : Kg/m

V: velocidad del viento : Km/hr

D: diámetro exterior del conductor : m

$P_v$ : peso adicional por presión del viento : Kg/m

d) Cálculo de la flecha:

$$f = \frac{W_r L^2}{8 S T_b'}$$

$$8 S T_b'$$

$W_r$ : peso resultante del conductor : Kg/m

L: vano

S: sección del conductor : mm<sup>2</sup>

$T_b'$ : esfuerzo en la hipótesis considerada : Kg/mm<sup>2</sup>

Seguidamente resumimos las características y parámetros eléctricos del conductor de la red primaria.

## Conductor de cobre:

- Tipo : Desnudo
- Temple : Duro
- Calibre : 10mm<sup>2</sup>
- Nro de hilos : 7
- Diámetro exterior : 0.00405 m
- Peso propio (W) : 0.090Kg/m
- tiro de rotura : 391Kg
- Esfuerzo de rotura : 39.1Kg/mm<sup>2</sup>
- Peso resultante (Wr) : 0.165Kg/m
- Coeficiente de dilatación :  $17 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- Módulo de elasticidad (E) : 11,500Kg/mm<sup>2</sup>
- Velocidad del viento : 90Km/hr
- Peso adicional por viento
- (Pv) : 0.138Kg/m
- Vano (L) : 40.50,60,70,  
80,90,m.

A continuación remplazando valores obtenemos los esfuerzos y flechas para cada hipótesis, que se muestran en los cuadros I y II.

CUADRO I

ESFUERZOS EN EL CONDUCTOR S= 10mm <sup>2</sup> EN Kg/mm <sup>2</sup>						
HIPOTESIS I		HIPOTESIS II				HIPOTESIS III
VANO mt.	v=90 Km/h t=5 C	Sin Viento				Sin Viento 40 C
		10 C	15 C	20 C	25 C	
40	10.06	8.62	<b>7.82</b>	7.07	6.37	4.71
50	10.17	8.54	7.82	7.15	<b>6.54</b>	5.09
60	10.29	8.46	7.82	7.23	6.70	5.41
70	<b>10.39</b>	8.39	7.82	7.30	6.83	5.69
80	<b>10.49</b>	8.32	7.82	7.36	6.95	5.93
90	10.58	8.26	7.82	7.42	7.05	6.14

TCD = 0.20 T' rotura a 15 C

CUADRO II

FLECHAS DEL CONDUCTOR 10mm <sup>2</sup> EN METROS						
HIPOTESIS I		HIPOTESIS II				HIPOTESIS III
VANO mt.	v=90 Km/h t=5 C	Sin Viento				Sin Viento 40 C
		10 C	15 C	20 C	25 C	
40	0.26	0.21	0.23	0.25	0.28	0.38
50	0.40	0.33	0.36	0.39	0.43	0.55
60	0.57	0.48	0.52	0.56	0.60	0.75
70	0.77	0.66	0.70	0.76	0.81	0.97
80	1.00	0.87	0.92	0.98	1.04	1.21
90	1.25	1.10	1.17	1.23	1.29	1.48

Podemos observar que en la hipótesis I de máximos esfuerzos ninguno de los esfuerzos sobrepasa el valor de  $16.8 \text{ Kg/mm}^2$  fijado por el C.N.E.

#### 5.1.3.3 Cálculo Mecánico de las Estructuras

Dadas las condiciones de humedad del terreno donde se ubicarán las redes por la proximidad de canales de regadío y la presencia de hongos y microorganismos por ser tierra de cultivo; hacen que no se considere postes de madera para el presente proyecto por ser susceptibles a la descomposición orgánica; empleandose en su lugar postes de concreto armado centrifugado por ser de mayor disponibilidad en el mercado nacional.

a) Selección de la longitud del poste

Considerando que un poste de M.T. lleve conductores de B.T., un pastoral tipo Sucre, y por condiciones de flecha máxima tenemos que la longitud sera como se observa en la figura 5.2 considerando:

- Flecha máxima red de M.T :  $f = 1.48\text{m}$
- Distancia minima de un conductor al

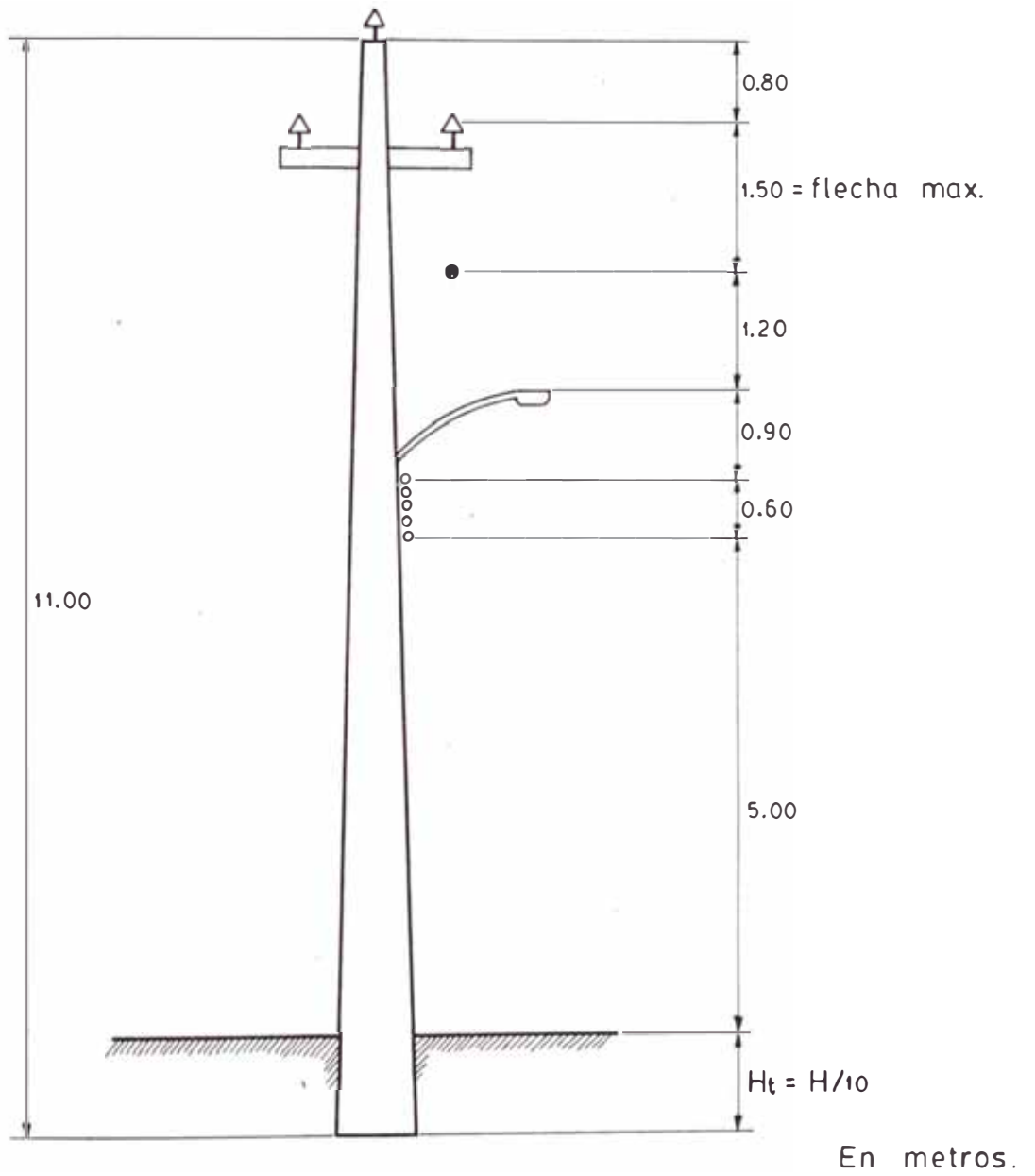


GRAFICO 5.2 POSTE DE RED PRIMARIA

suelo según el C.N.E. redes rurales:5m

tenemos:

$$H = 0.80+1.48+1.20+0.90+0.60+5+H/10$$

$$H = 11.01m.$$

Elegimos: Postes de 11 m de longitud.

Luego:

$$H_e = 1.1m$$

#### b) Cálculo de los Esfuerzos

En la red de M.T. existen postes de alineamiento y de cambio de dirección. Se les considera como:

Alineamiento : (0-5)  
- De ángulo :

Poste	grados
A1	11.5
A2	17
A3	9
A4	18
A5	8.5
A6	11
A7	10.5
A8	14.5
A9	26.5

Las cargas actuantes en los postes son:

- Fuerzas debidas al viento:  $V=90\text{Km/hr}$
- Tracción de los conductores
- Fuerza del viento sobre el poste  $F_{vp}$   
y su punto de aplicación:  $Z$

$$F_{vp} = P_v \times A_{pv}$$

$$A_{pv} = H_{pv} \frac{(d_p + d_e)}{2}$$

2

$$Z = \frac{H_{pv} \cdot (d_e + 2d_p)}{3}$$

$$3 \quad d_e + d_p$$

**Donde:**

$P_v$ : presión debida al viento  $\text{Kg/m}^2$

$A_{pv}$ : área del poste expuesta al viento  $\text{m}^2$

$H_{pv}$ : altura del poste expuesta al viento m

$d_p$ : diámetro del poste en la punta

$d_e$ : diámetro del poste en el empotramiento

$Z$ : punto de aplicación de  $F_{vp}$

$$P_v: 0.0042V^2 = 34.02 \text{ Kg/m}^2$$

$$d_e = d_b - \left( \frac{d_b - d_p}{H_t} \right) \times H_t$$

$$H_{pv} \times H_t$$



**Donde:**

db: diámetro del poste en la base :m

dp: diámetro del poste en la punta :m

Ht: altura de empotramiento :m

A continuación presentamos las características de los postes de la red primaria.

Longitud	Ht	Hpv	dp	de	de	Z	Carga
m	m	m	m	m	m	m	Kg
11	1.10	9.9	0.14	0.305	0.29	4.4	200
11	1.10	9.9	0.14	0.305	0.29	4.4	300

Emplearemos postes de 200Kg en la punta para alineamiento y 300 Kqs en la punta para armado en ángulo.

- Tracción de los conductores (Tc)

$$Tc = 2T \sin \alpha \text{ (Kg)}$$

donde:

T: máximo tiro de la línea:Kg

$\alpha$  : ángulo de la línea

- Fuerza del viento sobre los conductores

(Fvc)

$$Fvc = L \times D \times P_v \times \cos \alpha \text{ (Kg)}$$

donde:

L: vano básico de regulación :m

De: diámetro exterior del conductor :m

Pv: presión del viento :Kg/m<sup>2</sup>

- Fuerza total sobre los conductores :Fc

$$F_c = T_c + F_{vc}$$

$$F_c = \frac{2T \sin \alpha}{2} + L D_e P_v \cos \alpha \quad (\text{Kg})$$

2

c) Diagrama de distribución de fuerzas

Los puntos de aplicación de las fuerzas estan indicados en la fig 5.3

Donde:

Fcs : fuerza en el conductor superior

de M.T. :Kg

Fci: fuerza en el conductor inferior

de M.T. :Kg

Fp: fuerza en la punta del poste :Kg

- Cálculo del momento total(M):

$$M = M_{vp} + M_c$$

$$M = F_{vp} \times Z + 10.18 F_{cs} + 2 \times 9.18 F_{ci} + 5.60 F_{c1}$$

$$+ 5.40 F_{c2} + 3 \times 5.15 \times F_{c3} \quad (\text{Kg-mt})$$

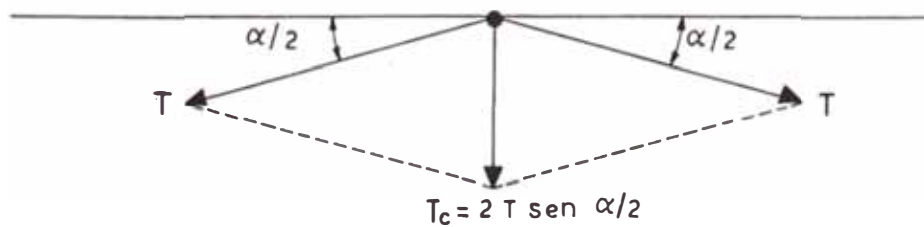
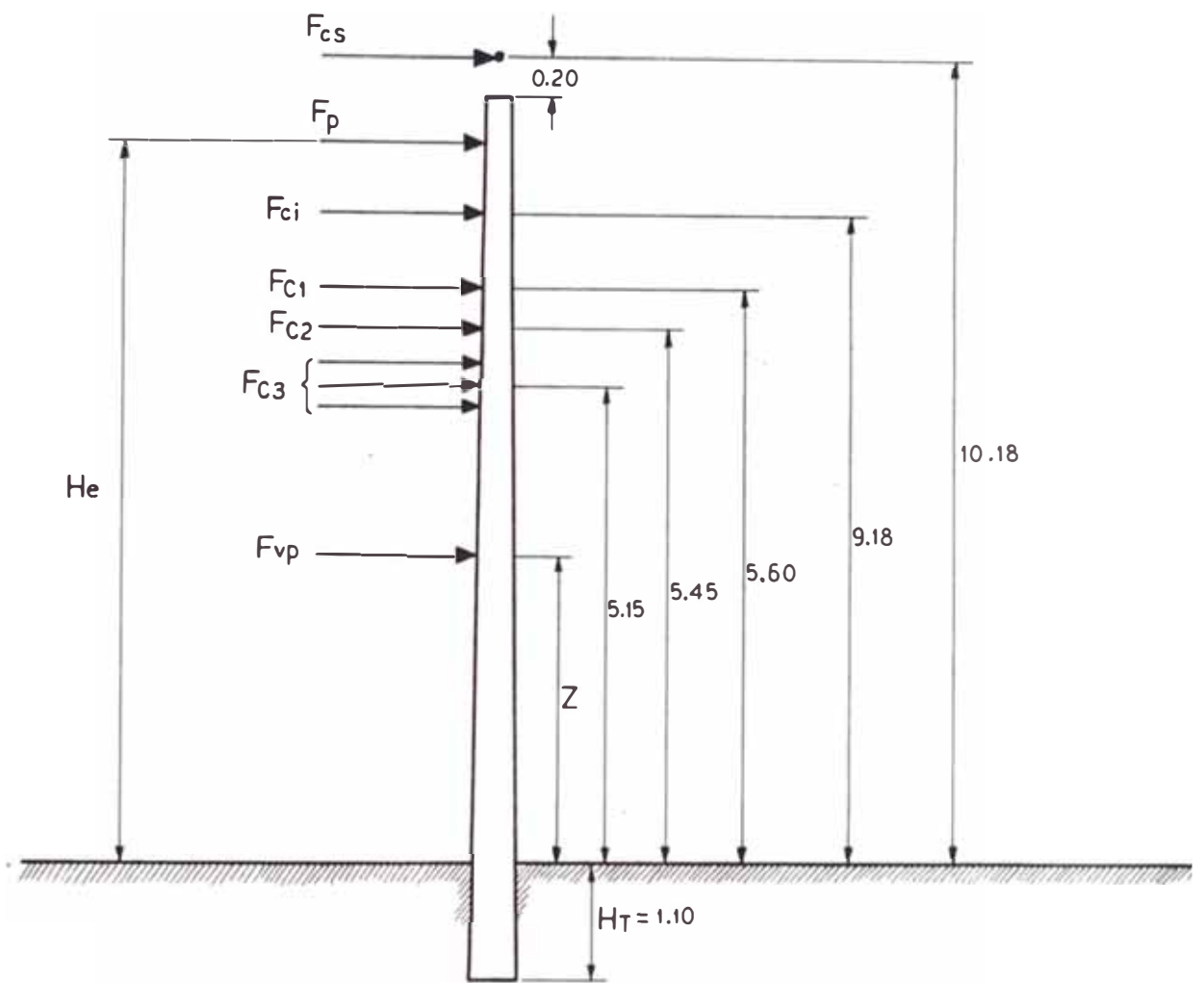


GRAFICO 5.3 DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE FUERZAS  
POSTE DE RED PRIMARIA

- Cálculo de la fuerza en la punta del poste (Fp):

$$F_p = M \quad (\text{Kg})$$

$$H_e$$

En los postes de concreto armado, la Fp se refiere a 10cm. de la punta del poste:

$$H_e = 10.08m$$

El caso más exigente es cuando los conductores son:

- Red primaria : 3x10mm<sup>2</sup>
- Red secundaria : 3x16mm<sup>2</sup>+2x10mm<sup>2</sup>

Remplazando valores y tabulando los resultados de Fp, y M tenemos el cuadro III

Observamos que los postes A1, A2, A4, A6, A7, A8, A9 deben llevar retenida.

#### d) Cálculo de la retenida

Para compensar las fuerzas mayores a 200Kg. en los postes, se emplearán retenidas cuyas características serán :

- Material : acero galvanizado
- Nro de hilos : 7
- Diámetro de cable : 9.53mm (3/8pul)
- Carga de rotura : 3,159 Kg
- Factor de seguridad : 2

En la figura 5.4 se muestra el diagrama de fuerzas.

Se cumple que :

$$T_R \text{ sen } 30^\circ \times H_R = F_p \times H_e$$

Luego la máxima  $F_p$  que puede soportar el cable será:

$$F_p = \frac{T_R \text{ sen } 30^\circ \times H_R}{H_e} \quad (\text{Kg})$$

$$F_p = 748 \text{ Kg.}$$

valor que es superior al mayor valor de  $F_p$  que se da en la red primaria.

#### 5.1.3.4 Cálculo de la Cimentación

Para determinar las dimensiones del **bloque de** concreto emplearemos el método Francés o de Valenci que garantiza la estabilidad cuando se cumple que:

Momento actuante ( $M_a$ )  $\leq$  Momento resistente ( $M_r$ )

$$F_p(h+t) \leq P/2 ( a - 4P/3b ) + cbt^3$$

donde:

$F_p$ : fuerza en la punta : 300Kg

$P$ : peso del poste, bloque y equipos

$C$ : coeficiente de densidad y ángulo

de talud del terreno : 960Kg/m<sup>3</sup>

$h$ : altura libre del poste : 9.9m

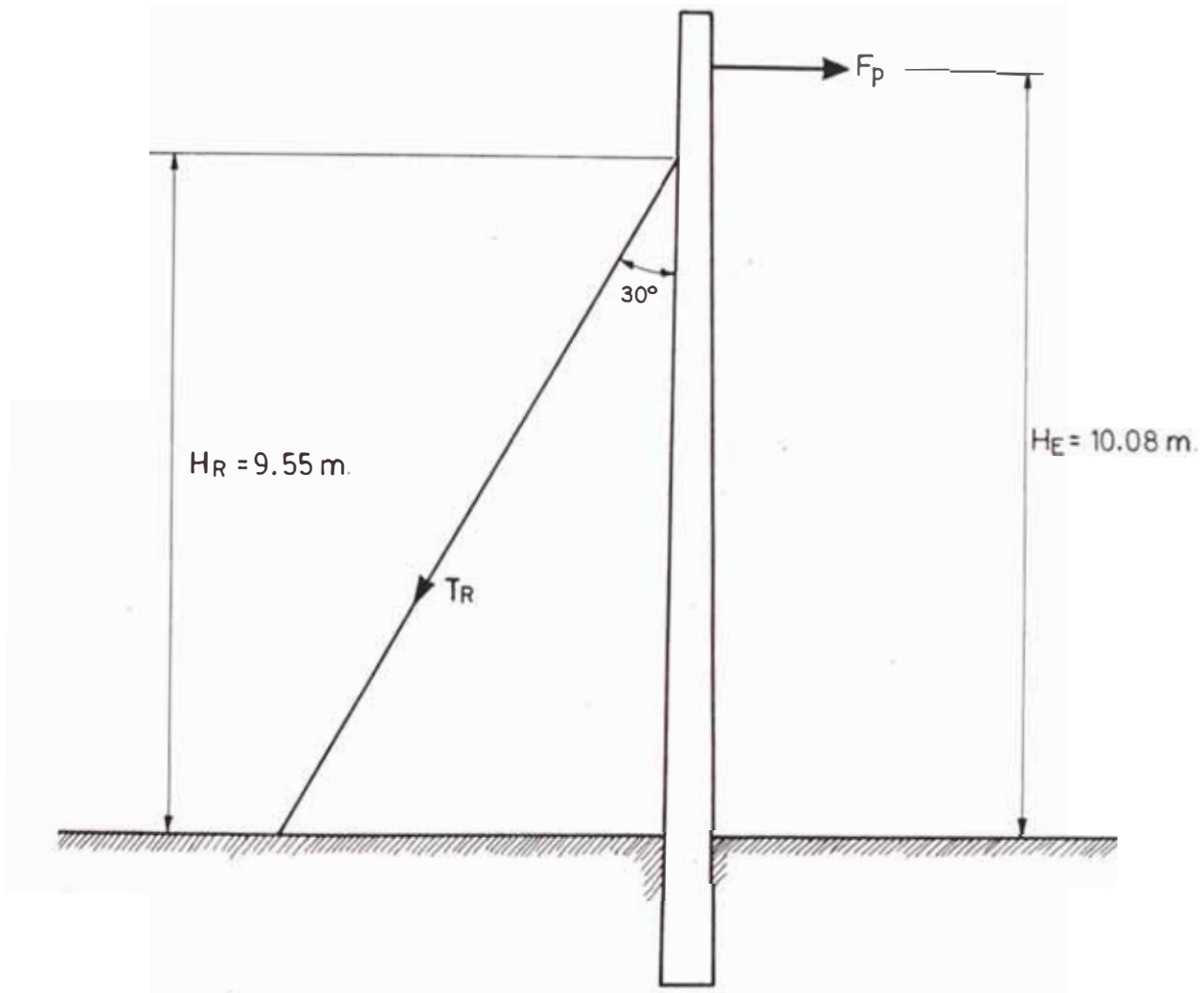


GRAFICO 5.4    RETENIDA RED PRIMARIA  
DIAGRAMA DE FUERZAS

: presión admisible del terreno : 1.5Kg/m<sup>2</sup>

a: ancho del macizo : 1.0m

b: largo del macizo : 1.0m

t<sub>1</sub>: profundidad enterrada del  
poste : 1.1m

t: profundidad del macizo : 1.40m

$\gamma_c$ : peso específico del  
concreto : 2200Kg/m<sup>3</sup>

Sabemos que:

Peso del macizo:

$$P_m = (\text{Vol macizo} - \text{Vol. tronco cónico}) \gamma_c$$

$$\text{Vol. tronco cónico} = t_1/3 (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$$

$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi \times 0.29^2}{4} = 0.066 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{\pi \times 0.305^2}{4} = 0.073 \text{ m}^2$$

$$\text{Volúmen tronco cónico} = 0.076 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen del macizo} = a \times b \times t \gamma_c = 1.40 \text{ m}^3$$

$$P_m = (1.40 - 0.076) 2200 = 2913$$

$$\text{peso de equipos} = 100 \text{ Kg} \quad \text{Peso del poste} = 770$$

$$P = 2913 + 100 + 770 = 3793 \text{ Kg}$$

Luego:

$$M_a = 300(1.4 + 9.9) = 3390 \text{ Kg-m}$$

$$M_r = \frac{3793}{2} \times \left( \frac{1 - 4 \times 3793}{3 \times 1 \times 15000} \right) + 960 \times 1 \times 1.40^3$$

$$M_r = 3891 \text{ kg-m}$$

$$M_r > M_a$$

#### 5.1.4 Diseño de las Sub-estaciones de Distribución

Las sub-estaciones de **distribución** de Iquipí y Alto Molino son de tipo Biposte **por tratarse** de potencias pequeñas y ser las más económicas en el uso rural.

El esquema eléctrico unifilar de estas subestaciones se muestra en la figura 5.5

##### 5.1.4.1 Transformadores de potencia

Se emplearán transformadores de potencia **trifásicos** de relación 10/0.38-0.22 Kv para **montaje** al exterior sobre un barbotante biposte. De acuerdo al estudio de demanda eléctrica **seleccionamos transformadores** con **potencias normalizadas**.

- a) S.E. Alto Molino :50Kva 10/0.40-0.23Kv
- b) S.E. Iquipí :75Kva 10/0.40-0.23Kv

Los transformadores tendrán refrigeración **en baño** de aceite. La regulación de la tensión se hará con cambiador de tomas en el **lado** de 10 Kv, sin carga de 5



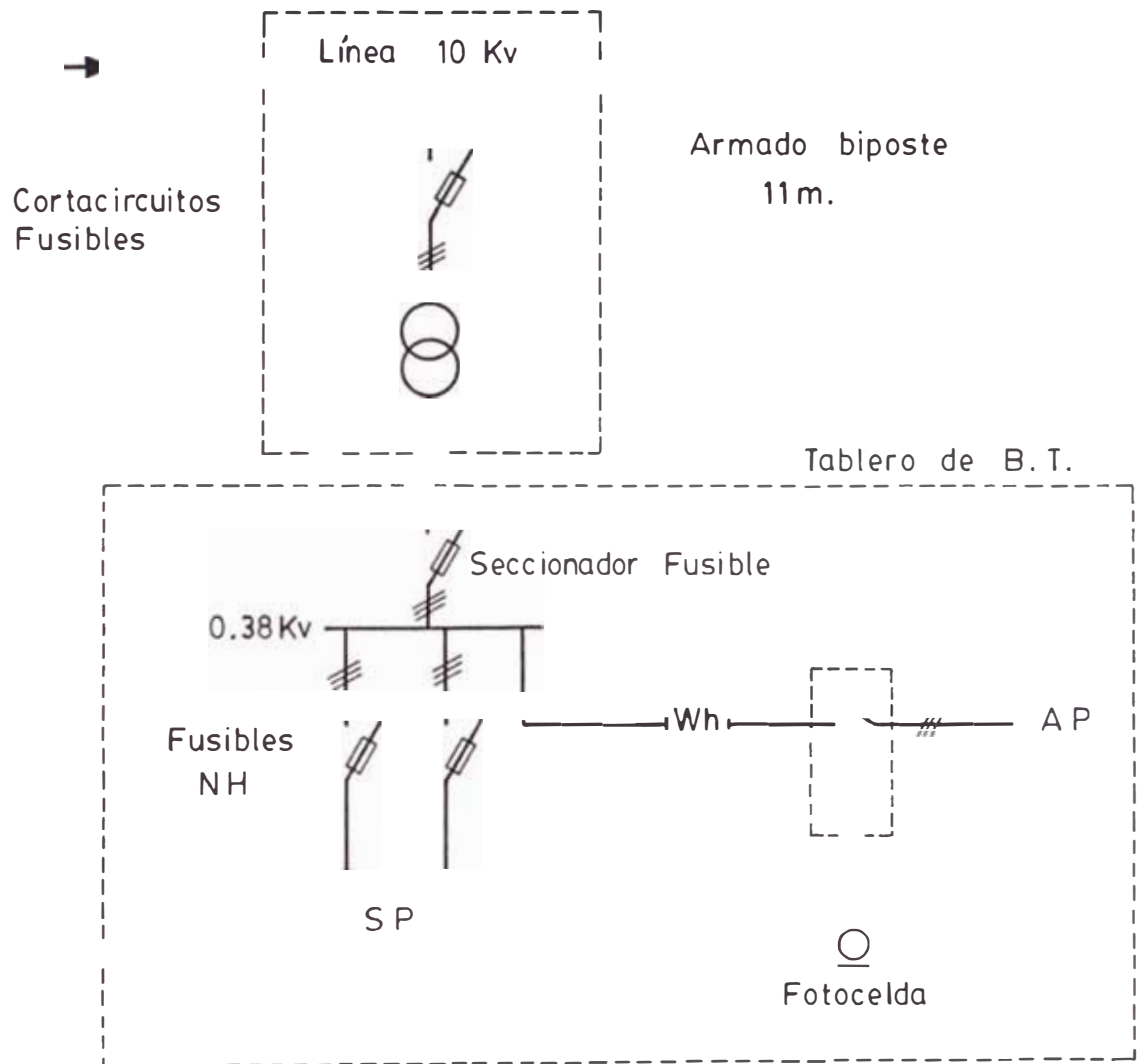


GRAFICO 5.5

S.E. AREA DE DISTRIBUCION  
ESQUEMA UNIFILAR

posiciones. Estarán protegidos contra cortocircuito tanto en el primario como en el secundario. Las respectivas especificaciones técnicas se dan en Cap.6

#### 5.1.4.2 Protección contra sobrecorriente

##### a) En el lado primario:

Estará constituida por cortacircuitos fusibles de montaje aéreo en cruceta, comunmente denominado "cut-outs".

Los fusibles estarán calibrados según el art. 3.5.1.1.a T.IV del C.N.E. en no más del 150% de la corriente primaria nominal del transformador que será :

$$I_T = \frac{KVA}{\sqrt{3} \times 10 \text{ Kv}}$$

I fusibles = 1.5 I<sub>T</sub>

S.E.	KVA	I <sub>T</sub>	I fusibles (A)	I comercial
Alto Molino	50	2.90	4.35	5A
Iquipí	75	4.33	6.5	7A

Los cortacircuitos fusibles serán de tensión nominal 12Kv, corriente nominal 100A; de accionamiento con pértiga.

##### b) En el lado secundario

Según el art. 3.5.1.2 T.IV C.N.E. la

protección en el secundario pueden ser seccionadores fusibles con los fusibles regulados al 150% de la corriente nominal del transformador. Emplearemos seccionadores fusibles extraíbles tipo NH, montados en un tablero de B.T. fijado a uno de los postes de la S.E. serán de accionamiento manual

La corriente nominal será :

S.E.	kVA	$I_T$	I	I
	(A)	fusible(A)	comercial(A)	
Alto Molino	50	76.1	114	125
IQUIPI	75	114.1	171	200

#### 5.1.4.3 Tablero de B.T.

Tablero metálico fijado a uno de los postes de la S.E. Este tablero llevará los siguientes equipos:

- a) Seccionador fusible de protección en B.T. Tipo extraíble con fusibles NH.
- b) Seccionador fusible del mismo tipo al anterior para seccionamiento y protección de los circuitos de servicio particular.
- c) Fotocelda, Contactor con relé de sobrecarga y medidor de energía para el circuito de Alumbrado Público.

#### 5.1.4.4 Sistema de puesta a tierra

Cada S.E. tendrá dos pozos de tierra; uno para operación y otro de protección.

El cálculo de los electrodos se han realizado en el párrafo 4.7. El neutro del transformador en B.T. se conectará al pozo de operación y la masa de los equipos y tablero de B.T. al pozo de protección.

### 5.2 Redes Secundarias

Las redes de distribución en B.T. del pueblo de Iquipí y del anexo Alto Molino, son áreas, apoyándose sobre postes de concreto armado centrifugado y servirán para atender las necesidades del servicio particular y del alumbrado Público.

#### 5.2.1 Cálculo Eléctrico de la red secundaria

Las bases para el cálculo eléctrico de las redes de S.P. y A.P. son las siguientes :

a) Tensión : 380/220 4 hilos

- b) Disposición de los conductores : 5
- |      |        |
|------|--------|
| A.P. | 0.15 m |
| N.   | 0.15 m |
| R.   | 0.15 m |
| S.   | 0.15 m |
| T.   |        |
- c) Factor de potencia : 0.9 en atraso
- d) Caída de tensión
- |           |         |
|-----------|---------|
| admisible | : 5% Vn |
| S.P.      | : 19 V  |
| A.P.      | : 11 V  |
- e) Factor de simultaneidad  
según R.M. No 530-70  
EM/DGE : 0.6
- f) Calificación eléctrica  
según el párrafo 3.1.11  
del capítulo 3 ;Estudio  
del Mercado Eléctrico : 562 w/lote

g) Cargas especiales	:
Colegio	: 2 Kw
Posta	: 3 Kw
Iglesia	: 1.8 Kw
Concejo	: 1.8 Kw
Carceleta	: 1.0 Kw
Local social	: 2.0 Kw
Camal	: 2 kw
h) Alumbrado Público	:
Potencia por lámpara	: 90 w
Tensión de servicio	: 220 v
Factor de simultaneidad	: 1.0
Tipo de lámpara	: Vapor de Mercurio

La caída de tensión se determina por :

$$\Delta V = P \times L \times FCT \quad (\text{voltios})$$

Donde :

P : potencia total en kw

L: Longitud del tramo en m

FCT: factor de caída de tensión del  
circuito

$$FCT_{\phi} = \frac{R \cos \phi + X \sin \phi}{3V \cos \phi}$$

$$FCT_{1\phi} = \frac{R \cos \phi + X_{1\phi} \sin \phi}{V \cos \phi}$$

Donde:

R: Resistencia del conductor a la temperatura máxima de operación: 75 °C  
Art. 2.2.3.2 T.IV C.N.E.

X: Reactancia de los conductores

V: Tensión de operación

$\phi$ : Angulo del factor de potencia

La resistencia del conductor a 75 °C

se calcula por :

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = R_{20^{\circ}\text{C}}(1 + \alpha \Delta t)$$

Donde :

$R_{20^{\circ}\text{C}}$  : Resistencia del conductor a 20 °C

$R_{75^{\circ}\text{C}}$  : Resistencia del conductor 75°C

$\alpha$  : Coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura  
= 0.00393 1/°C

$\Delta t$  : diferencias de temperaturas

La reactancia viene dada por la expresión

$$X_{3\phi} = 0.3769(0.05 + 0.4605 \log \frac{Dm_{3\phi}}{re}) \text{ ohm/Km}$$

re

$$X_{1\phi} = 0.3769(0.05 + 0.4605 \log \frac{Dm_{1\phi}}{re}) \text{ ohm/Km}$$

re

$$Dm_{3\phi} = \sqrt[3]{d \times d \times 2d} = \sqrt[3]{2d^3}$$

$D_m$  : distancia media geométrica (m)

$r_e$  : radio equivalente (m)

$$r_e = \frac{S}{\pi} \times 10^{-3} \text{ (m)}$$

$S$  : sección del conductor en  $\text{mm}^2$

En el cuadro IV se muestran las características y los parámetros eléctricos de los conductores con aislamiento  $W_p$  que se emplearán en las redes secundarias.

A continuación calculamos la caída de tensión para los circuitos de S.P y A.P. de las dos S.Es. Alto Molino e Iquipi, donde la potencia Consumida esta dada por la expresión :

$$P_{(WP)} = \frac{\sum N_c \times F_s \times P_{con}}{1000} \text{ (KW)}$$

donde :

$N_c$  : número de consumidores

$F_s$  : factor de simultaneidad

$P_{con}$  : potencia de consumidor en (watts)

Los resultados para todos los circuitos de S.P. y A.P. de las dos S.Es. se muestran en las tablas 5.1; 5.2; 5.3; 5.4; 5.5; 5.6;5.7;5.8 en las fig.5.6,5.7.



CUADRO III

POSTE	ANGULO ( $\alpha$ )	M (Kg-m)	Fp (Kg)
Alin	0.0	792.6	78.6
A1	11.5	2,158.3	214.1
A2	17.0	2,805.7	278.3
A3	9.0	1,862.5	184.8
A4	18.0	2,922.9	290.0
A5	8.5	1,803.3	178.9
A6	11.0	2,099.2	208.3
A7	10.5	2,040.1	202.4
A8	14.5	2,512.1	249.2
A9	26.5	3,909.7	387.9

CUADRO IV  
 CARACTERISTICAS ELECTRICAS  
 CONDUCTORES CON AISLAMIENTO WP

Calibre Metrico	16 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>
R 20 °C ohm/Km	1.170000	1.860000
R 75 °C ohm/Km	1.417000	2.252000
Dm 3 0 mt	.189000	.189000
Dm 1 0 mt	.150000	.150000
X 3 0 ohm/Km	.352800	.370500
X 1 0 ohm/Km	.332500	.353100
re mt	.002250	.001780
FCT 3 0	.002406	.003684
FCT 1 0	.007174	.001101

TABLA 5.1

S.E. ALTO MOLINO SERVICIO PARTICULAR  
CIRCUITO: C-1

PUNTO	1	1.1	1.2	1.3	2	3	4
Nc		2	2	2	2	3	1
Nc	12	6	4	2	6		1
P(sp) Kw	4.118	2.059	1.373	.686	2.089	1.373	.343
P(ce) Kw	2		-				
P(tot) Kw	6.118	2.059	1.373	.686	2.059	1.373	.343
S mm <sup>2</sup>	10	10	10	10	10	10	10
L mt	10	40	35	35	35	35	25
V	.225	.303	.177	.088	.265	.177	.032
V	.225	.528	.705	.793	.490	.667	.699

< 19 v

TABLA 5.2

## S.E. ALTO MOLINO : SERVICIO PARTICULAR

CIRCUITO: C-2

PUNTO	1	2	2.1	3	3.1	3.2	3.3	4	5	6	7
Nc	1	1	1	2	6	5		2	1	1	1
Nc	21	20	1	18	11	5		5	3	2	1
P(sp) Kw	7.207	6.864	.343	6.178	3.775	1.716	-	1.716	1.030	.686	.343
P(ce) Kw	-	-			-					-	
P(tot) Kw	7.207	6.864	.343	6.178	3.775	1.716	-	1.716	1.030	.686	.343
S mm <sup>2</sup>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
L mt	30	20	30	10	40	40	40	35	25	20	30
V	.797	.506	.379	.228	.556	.253		.221	.095	.051	.038
V	.797	1.308	1.682	1.531	2.087	2.034	-	1.752	1.847	1.898	1.936

&lt; 19 v

TABLA 5.3

S.E. IQUIPI : SERVICIO PARTICULAR  
CIRCUITO: C-1

PUNTO	1	2	3	4
Nc	3		2	3
Nc	11	8	5	
P(sp) Kw	3.775	2.746	1.716	1.030
P(ce) Kw	-	-		
P(tot) Kw	3.775	2.746	1.716	1.030
S mm <sup>2</sup>	10	10	10	10
L mt	35	35	35	20
V	.487	.354	.221	.076
V	.487	.841	.062	1.138
				< 19 v

TABLA 5.4

S.E. IQUIPI : SERVICIO PARTICULAR

CIRCUITO: C-2

PUNTO	1	2	2.1	2.2	2.2.1	2.2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	3
Nc	2	1	-	-	2	1	1	4	4	2	-
Nc	41	39	14	14	3	1	11	10	60	2	25
P(sp) Kw	14.071	13.385	4.805	4.805	1.030	.343	3.775	3.432	2.059	.686	8.580
P(ce) Kw	-		1.8	1.0			-		2.0		5
P(tot) Kw	27.671	26.985	9.605	7.805	1.030	.343	5.775	5.432	4.059	.686	17.380
S mm <sup>2</sup>	16	16	10	10	10	10	10	10	10	10	16
L mt	20	20	20	10	30	30	10	30	20	25	15
V	1.332	1.299	.462	.188	.074	.025	.139	.392	.195	.041	.627
V	1.332	2.631	3.093	3.281	3.355	3.380	3.420	3.812	4.007	4.048	3.258
						< 19 v				< 19 v	

TABLA 5.4

S.E. IQUIPI : SERVICIO PARTICULAR

SIGUE CIRCUITO: C-2

PUNTO	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	
Nc		2	2	5	4	2	-	2	2	2	2	
Nc	25	25	23	21	16	12	10	10	8	6	4	
P(sp) Kw	8.580	8.580	7.984	7.207	5.491	4.118	3.432	3.432	2.746	2.059	1.373	.686
P(ce) Kw	1.8	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-	-	
P(tot) Kw	12.380	10.580	9.894	9.207	7.491	6.118	5.432	5.432	4.746	12.259	1.373	.686
S mm <sup>2</sup>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
L mt	25	30	25	35	35	30	30	35	25	40	35	30
V	.745	.759	.595	.775	.631	.442	.392	.457	.285	.198	.116	.050
V	4.003	4.762	5.357	6.132	6.763	7.205	7.597	8.054	8.339	8.537	8.653	8.703

< 19 v







TABLA 5.7

S.E. IQUIPI: ALUMBRADO PUBLICO  
CIRCUITO: C-1

PUNTO	1	2	3	4	5
P(ap) Kw	.090	.090	.090	.090	.090
P(tot) Kw	.540	.360	.270	.180	.090
S mm <sup>2</sup>	10	10	10	10	10
L mt	35	35	35	20	20
V	.017	.014	.010	.004	.002
V	.017	.031	.041	.045	.047
				< 11 v	

TABLA 5.8

## S.E. IQUIPI : ALUMBRADO PUBLICO

## CIRCUITO: C-2

PUNTO	1	2	2.1	2.2	2.2.1	2.2.2	2.2.A	2.2.B	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
P(ap) Kw	.09	.09	.09	.09	.09	.09	.18	.18	.09	.09	.09	.09	.18	.18
P(tot) Kw	1.53	1.44	1.35	1.26	.18	.09	.36	.18	.72	.63	.54	.45	.36	.18
S mm2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
L mt	5	20	20	10	30	30	15	20	10	30	20	25	10	20
V	.080	.032	.030	.014	.006	.003	.006	.004	.008	.021	.012	.012	.004	.004
V	.080	.112	.142	.156	.162	.165	.162	.166	.164	.185	.197	.209	.203	.217

&lt; 11 v





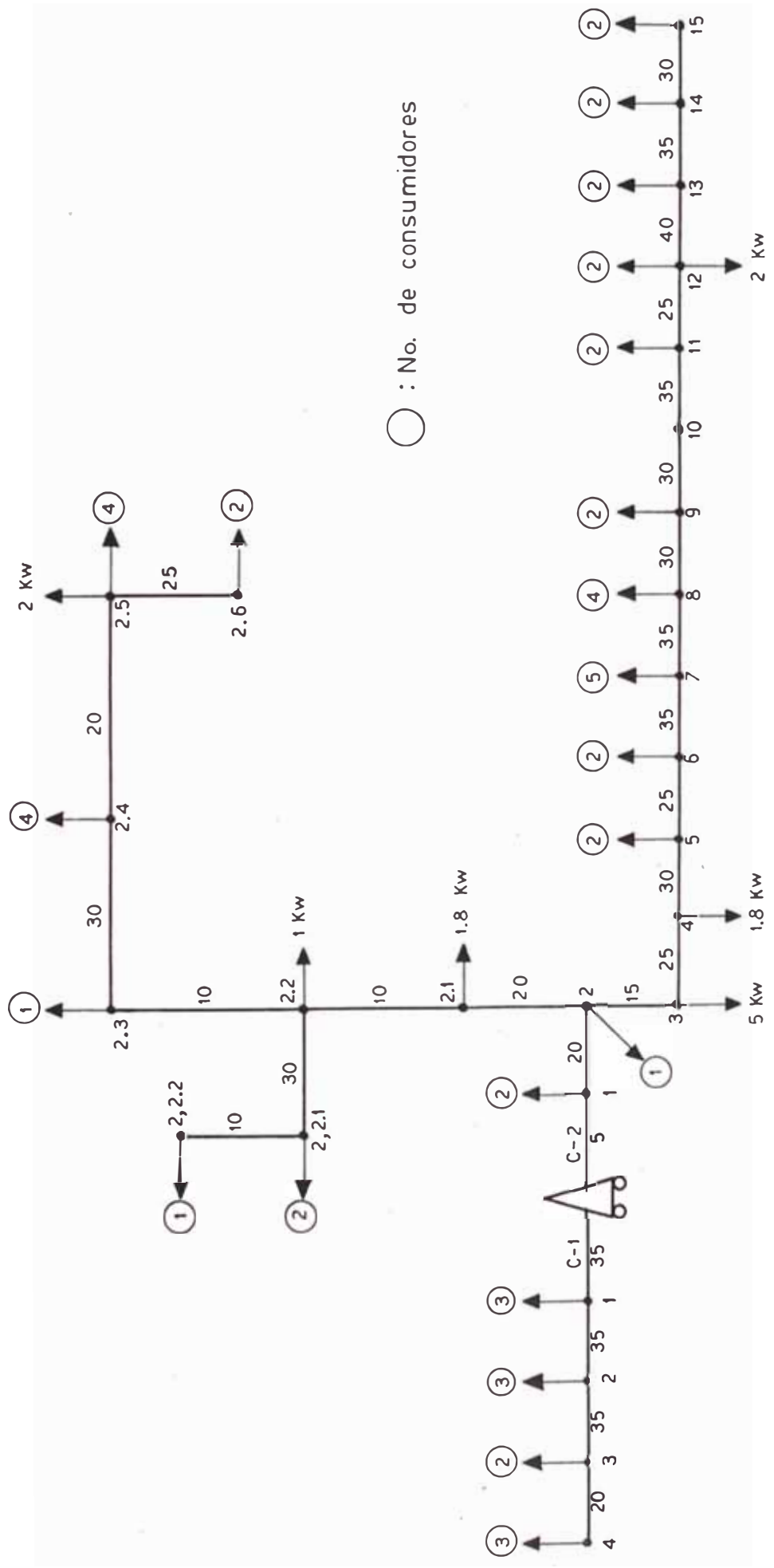


GRAFICO 5.7 S.E. IQUIPI : DIAGRAMA DE CARGAS SERVICIO PARTICULAR

### 5.2.2 Cálculo del alumbrado Público

El cálculo se realiza según las disposiciones del C.N.E. Las bases para este cálculo son:

- a) Distancia entre luminarias : 35 m
- b) **Disposicion** : unilateral
- c) Luminarias a usarse : Josfel  
MRH -64
- d) Lámpara de vapor de mercurio de alta presión de 80w;  
flujo luminoso : 3800 lumens
- e) La altura de montaje de las luminarias : 6.80 m
- f) Tipo de iluminación (art.

5.2.3. Tabla 5-III, CNE.T.IV: Tipo IV

g) Nivel de iluminación media

(Tabla 5-III. Art. 5.2.

C.N.E. T.IV ) : 5 lux

El nivel de iluminación promedio según la norma M.E.M./D.G.E. 016-AP-1 está calculado por el método del flujo luminoso y se expresa por :

$$E_m = \frac{\phi_L \times F_u}{D \times L}$$

Donde :

$E_m$  : iluminación media en lux

$\phi_L$  : flujo luminoso de la lámpara en lumens

$F_u$  : **factor** de utilización dado con los datos fotométricos de la luminaria

$D$  : distancia entre luminaria.

$L$  : ancho de la pista en metros.

Reemplazando los siguientes valores tenemos como se ve en la figura.

$$\phi_L = 3800 \text{ lumens}$$

$$D = 35 \text{ m}$$

$$F_u = 0.29$$

$$L = 5.20$$

$$E_m = \frac{3800 \times 0.29}{35 \times 5.20} = 6.1 \text{ lux}$$

que está de acuerdo a lo exigido por el C.N.E.



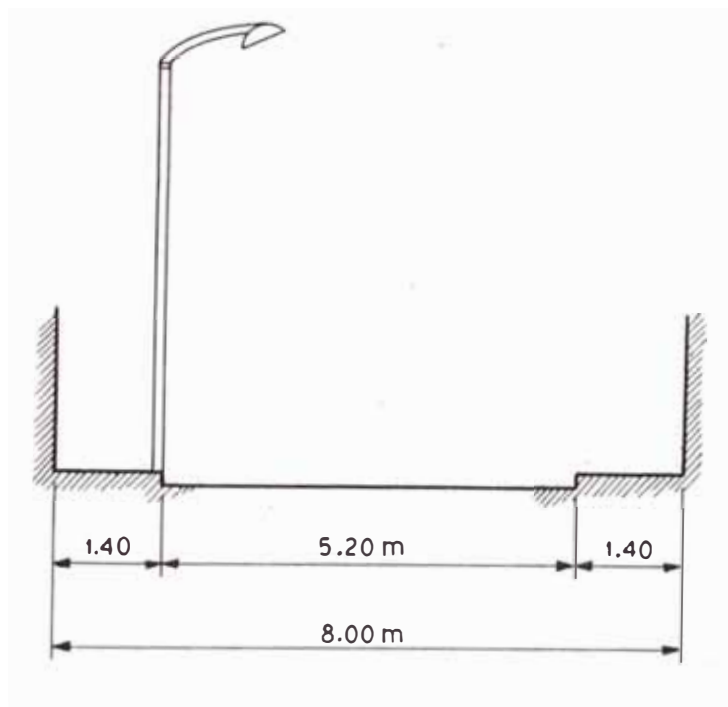


GRAFICO 5.8 DISPOSICION UNILATERAL DE LUMINARIAS  
RED DE ALUMBRADO PUBLICO

### 5.2.3 Cálculo Mecánico de la Red

#### Secundaria

#### 5.2.3.1 Cálculo Mecánico de los

#### Conductores

Las características de los conductores a emplearse en las redes secundarias son las siguientes :

-Conductor	:	Cobre
- Tipo	:	WP
- Calibre Métrico	:	16mm. <sup>2</sup> 10mm. <sup>2</sup>
- No. de hilos	:	7            7
- Diámetro exterior(m):	:	0.0067    0.00565
- Peso (Kg/ m)	:	0.0165    0.105
Tipo de rotura (Kg)	:	517        326
- Coef. de Dilatación		
(1/°C)	:	17x10. <sup>-6</sup> 17x10. <sup>-6</sup>
- Módulo de Elasticidad		
(Kg/mm. <sup>2</sup> )	:	11,500    11,500
- Temple	:	Semiduro    Semiduro

a) Hipótesis de Cálculo

- Hipótesis I : Condición de máximo esfuerzo
- Temperatura : 5.°C
- Velocidad del viento : 90km/hr
- Coeficiente de seguridad : 3
- Hipótesis II : **Condiciones de**  
Templado
- Temperatura : 10,20,30,40 °C
- Sin viento
- Hipótesis III: Condición de máxima flecha
- Temperatura : 50°C

b) Cálculo de los Esfuerzos

Los vanos son todos a nivel.

Esfuerzo admisible en la hipótesis I:

$$T' = \frac{T_r}{C_s \cdot A} \quad \text{Kg/mm}^2$$

Donde:

$T_r$ : Tiro de rotura del conductor, Kg.

$C_s$ : Coeficiente de seguridad

$A$  : Sección del conductor, mm<sup>2</sup>

- Peso resultante del Conductor :  $W_r$

$$W_r = \sqrt{W^2 + P_v^2} \quad \text{Kg/m}$$

$$P_v = 0.0042V^2D \quad \text{Kg/m}$$

Donde:

W: peso propio del conductor, Kg/m.

V: Velocidad del viento, Kg/hr

D: Diámetro exterior del conductor, m

Pv: peso adicional por presión  
del viento, Kg/m.

c) Esfuerzos en las Hipótesis II y III

A partir del esfuerzo en la hipótesis I y mediante la ecuación de cambio de estado; calculamos los esfuerzos en el conductor para las hipótesis II y III.

La ecuación de cambio de estado es:

T'a : esfuerzo admisible en la condición  
inicial Kg/mm<sup>2</sup>

Tb : esfuerzo admisible en la condición  
final Kg/m

W<sub>ra</sub> : Peso resultante en la condición  
inicial Kg/m

W<sub>rb</sub> : Peso resultante en la condición  
final Kg/m

ta : Temperatura de la condición  
inicial; °C

tb : Temperatura de la condición  
final; °C

E : Módulo de elasticidad, Kq/mm<sup>2</sup>

S : Sección del conductor, mm<sup>2</sup>

L : Vano: 25, 30, 35 y 40 m.

Simplificando la ecuación tenemos:

$$R = E \left[ (t_b - t_a) + \frac{1(Wr_1 \times L)^2}{24 S \times T_a} \right]$$

$$M = T_a' - R$$

$$N = E/24 (Wr_2 \times L)^2/S$$

## C U A D R O    I I I

-----  
 ESFUERZOS EN EL CONDUCTOR DE 16mm<sup>2</sup>: Kg/m<sup>2</sup>

Vano	H: I		H: II				H: III	
	V=90	Sin	Sin				Sin	
Km/hr	Viento				Viento			
m	5°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C		
25	10.77	9.36	7.59	5.98	4.62	3.61		
30	10.77	9.16	7.51	6.01	4.78	3.88		
35	10.77	9.00	7.41	6.04	4.93	4.11		
40	10.77	8.81	7.32	6.06	5.06	4.3		

## C U A D R O I V

FLECHAS DEL CONDUCTOR : 16mm<sup>2</sup> en metros

H: I	H: II		H: III			
	Vano	V=90	Sin		Sin	
	Km/h	Viento			Viento	
m	5°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
25	0.13	0.09	0.11	0.13	0.17	0.22
30	0.18	0.13	0.15	0.19	0.24	0.30
35	0.25	0.18	0.21	0.26	0.32	0.38
40	0.33	0.23	0.28	0.34	0.41	0.48

C U A D R O V

ESFUERZOS EN EL CONDUCTOR DE 10 mm<sup>2</sup> (Kg/mm<sup>2</sup>)

Vano	H: I	H: II			H: III	
	V=90Km/hr	Sin viento			Sin Viento	
	5°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
25	10.86	9.33	7.57	5.97	4.63	3.63
30	10.86	9.108	7.44	5.96	4.76	3.87
35	10.86	8.87	7.305	5.958	4.89	4.09
40	10.86	8.62	7.17	5.95	5.00	4.28



C U A D R O   V I  
 FLECHAS DEL CONDUCTOR : 10mm<sup>2</sup>    (m)

Vano	H: I		H: II		H: III	
	V=90Km/hr	Sin Viento	Sin Viento	Sin Viento	Sin Viento	Sin Viento
m	5°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
25	0.13	0.09	0.11	0.14	0.18	0.23
30	0.19	0.13	0.16	0.20	0.25	0.30
35	0.27	0.18	0.22	0.27	0.33	0.39
40	0.35	0.24	0.29	0.35	0.42	0.49

La flecha que el conductor hace para cada condición final está dada por la expresión:

$$f = \frac{W_r L^2}{6 S T'}$$

donde:

$W_r$ : peso resultante de conductor kg/m

$L$ : Vano, m

$S$  : Sección del conductor, mm<sup>2</sup>

$T'$ : Esfuerzo en la hipótesis considerada, Kg/mm<sup>2</sup>

reemplazando valores numéricos, obtenemos los esfuerzos y flechas para cada hipótesis que se muestran en los cuadros siguientes: II, IV, V y VI.

#### 5.2.3.2 Cálculo Mecánico de la E estructura:

##### Red Secundaria

Todas las redes secundarias emplean como apoyos postes de concreto armado centrigugado por estar standarizados y ser de fácil disponibilidad en el mercado nacional.

### a) Selección de la longitud del Poste

Considerando que un poste de la red de B.T. lleve un pastoral tipo Sucre portalíneas para cinco conductores, que la flecha máxima para la hipótesis III es 0.50m; que la distancia mínima de un conductor al suelo según el C.N.E. Art.4.2.4.3 T.IV, en zonas rurales puede ser 4.50m y que la profundidad empotrada cuando se emplea macizo de concreto es 1/10 de la longitud total del poste tenemos que ésta es:

$$L = L + 4.50 + 0.50 + 0.60 + 0.30$$

7

$$L = 6.88 \text{ m}$$

Adoptemos un poste comercial de:

$$L = 7.0 \text{ m}$$

Como se observa en la figura 5.9

### b) Cálculo de los Esfuerzos

En la red secundaria existen postes de alineamiento y de cambio de dirección.

Se considera:

- Alineamiento : (0-5°)
- De ángulo : 5°

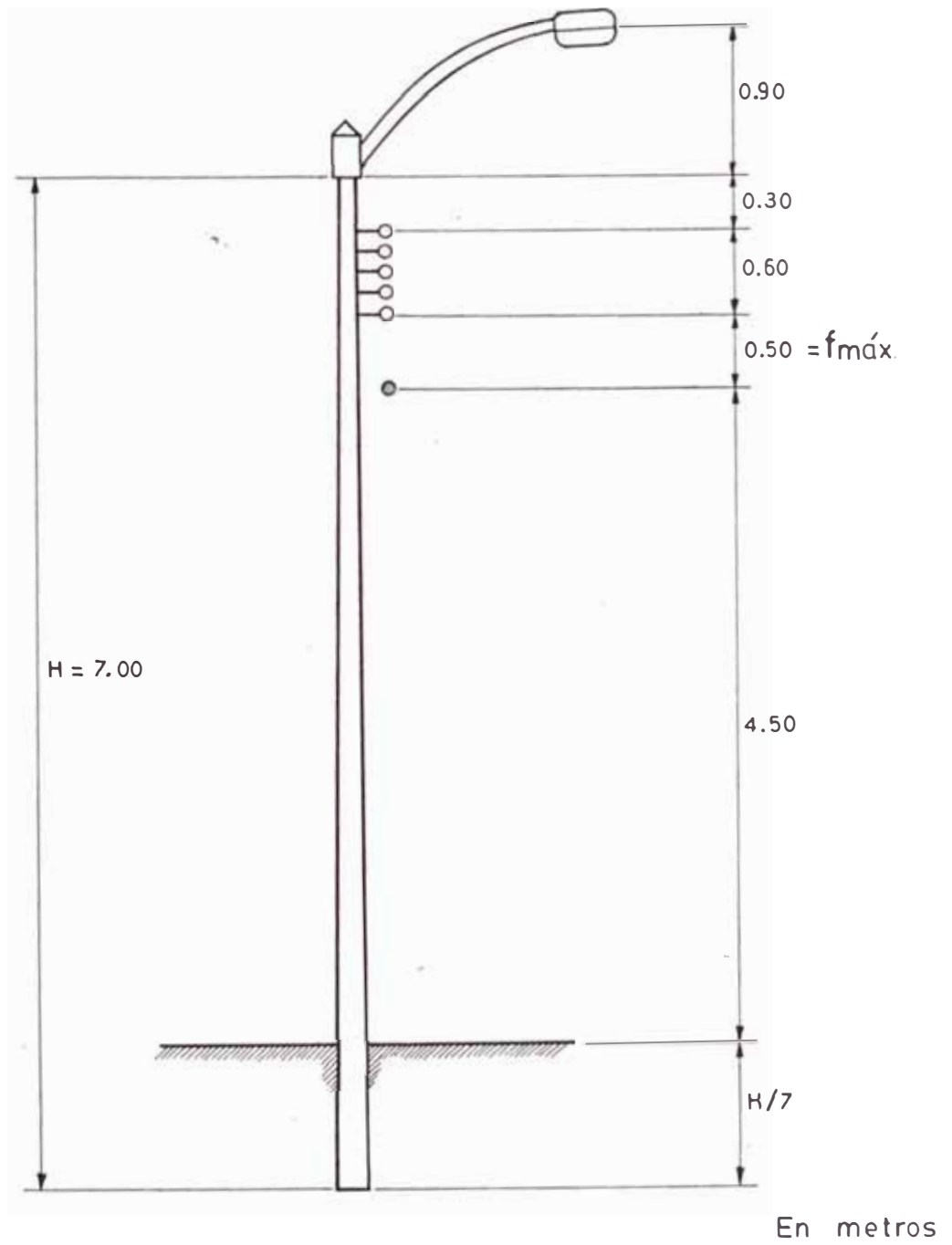


GRAFICO 5.9 POSTE DE RED SECUNDARIA

Las cargas actuantes en los postes son :

- Fuerzas debidas al viento

$$V = 90 \text{ Km/hr}$$

- Tracción de los conductores

La fuerza del viento sobre el poste:  $F_{vp}$

y su punto de aplicación:  $Z$

Se definen por:

$$F_{vp} = P_v \times A_{pv}$$

$$A_{pv} = \frac{H_{pv}(d_p+d_e)}{3}$$

$$Z = \frac{H_{pv}}{3} \times \frac{(d_e+2d_p)}{d_e+d_p}$$

Donde:

$P_v$  : presión debida al viento  $\text{Kg/m}^2$

$A_{pv}$ : Area del poste expuesta al viento  $\text{m}^2$

$H_{pv}$ : Altura del poste expuesta al viento: m

$d_p$ : Diámetro del poste en el empotramiento: m

$Z$ : Punto de aplicación de  $F_{vp}$ .

$$P_v = 0.0042V^2 = 34.02 \text{ Kg/m}^2$$

$$d_e = d_b - \frac{(d_b-d_p)}{H_{pv}+h_t} \times H_t$$

Donde:

$d_b$ : diámetro del poste en la base; m

$d_p$ : diámetro del poste en la punta; m

Ht: altura de empotramiento m

Las características de los postes de la red secundaria se presentan a continuación:

L	Ht	Hpv	dp	db	de	Z	Carqa
m	m	m	m	m	m	m	Kg
7	1.0	6.0	0.12	0.225	0.21	2.72	200

Peso del poste: 345 Kg.

Tracción de los conductores (Tc)

$$Tc = \frac{2T \operatorname{sen} \alpha}{2} \quad (\text{Kg})$$

Donde:

T : tiro máximo de la red; Kg.

$\alpha$  : Angulo de la línea

Fuerza del viento sobre los conductores (Fvc) :

$$Fvc = \frac{L \times De \times Pv \times \cos(\alpha)}{2} \quad \text{Kg}$$

Donde:

L: vano básico de regulación; m

De: diámetro exterior del conductor; m

Pv: presión del viento: Kg/m<sup>2</sup>

Fuerza total sobre los conductores:  
(Fc)

$$Fc = Tc + Fvc$$

$$F_c = \frac{2T \sin \alpha}{2} + \frac{L \times D \times \rho \times P \times v \times \cos \alpha}{2} \text{ (Kg)}$$

c) Diagrama de Distribución de Fuerzas

**Donde:**

Fc1: Fuerza en el conductor de A.P.

Fc2: Fuerza en el conductor neutro

Fc3: Fuerza en los conductores de S.P.

- Cálculo del Momento total: (M)

$$M = M_{vp} + M_c$$

$$M = F_{vp} \times Z + F_{c1} \times 5.7 + F_{c2} \times 5.55 + 3F_{c3} \times 5.25 \text{ Kg-m}$$

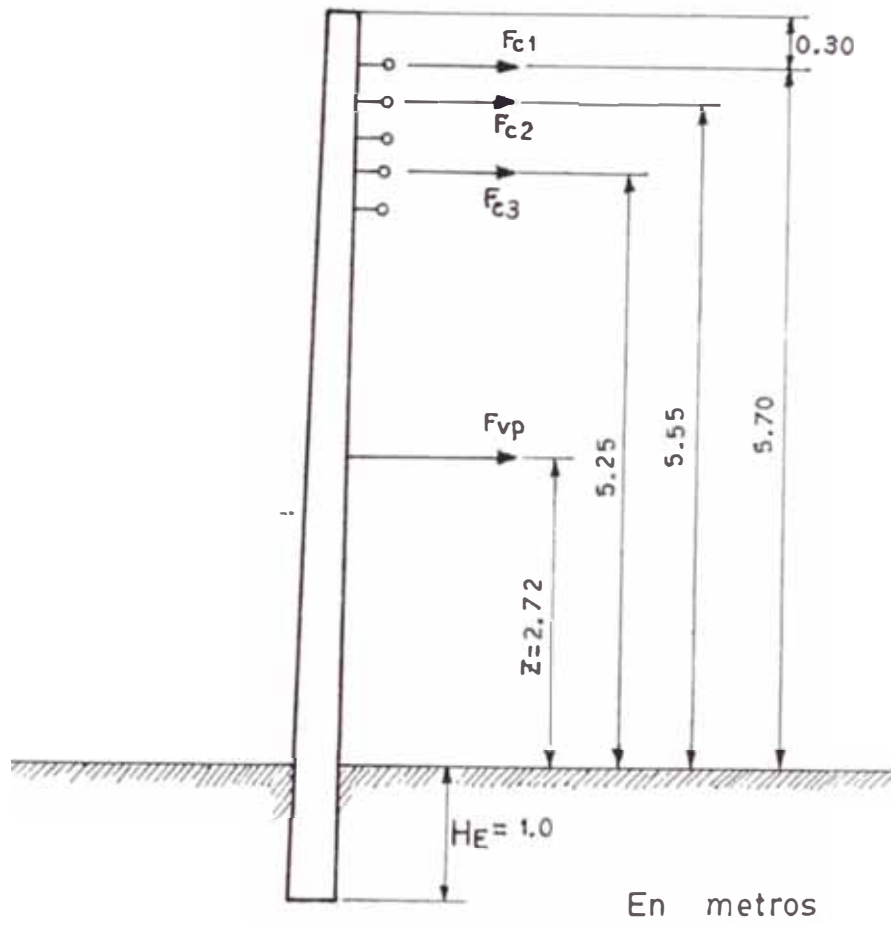
- Cálculo de la fuerza en la punta del poste (Fp):

$$F_p = M \text{ (Kg)}$$

He

En los postes de concreto armado la Fp se refiere a 10 cm de la punta del poste:

$$He = 5.90 \text{ m}$$



DI GRAFICO 5,91 DIAG. FZAS. POSTE RED SEC.



Se analiza el caso más exigente que se presenta en la red de B.T

$$3 \times 16 \text{ mm}^2 + 2 \times 10 \text{ mm}^2$$

S.P                      A.P + N

Reemplazando valores obtenemos los siguientes parámetros de la red secundaria; y los valores de Fp y M en el cuadro VII.

Diámetro del conductor de 16mm<sup>2</sup> : 0.0067m

Diámetro del conductor de 10 mm<sup>2</sup> : 0.00565m

Presión del viento : 34.02Kg/m<sup>2</sup>

Apv : 0.99m<sup>2</sup>

Según el cuadro VII emplearemos postes sin retenida para alineamiento y ángulos pequeños (0-14°)

Para ángulos mayores de 14° se emplearán postes con retenida.

#### d) Cálculo de la Retenida

Para compensar las fuerzas mayores a 200 Kg en los postes de la red secundaria se usarán retenidas cuyas características serán:

- Material : cable de acero galvanizado
- Diámetro del cable: 9.53mm 3/8 pulg.
- Carga de rotura: : 3159 Kg.
- Factor de seguridad : 2

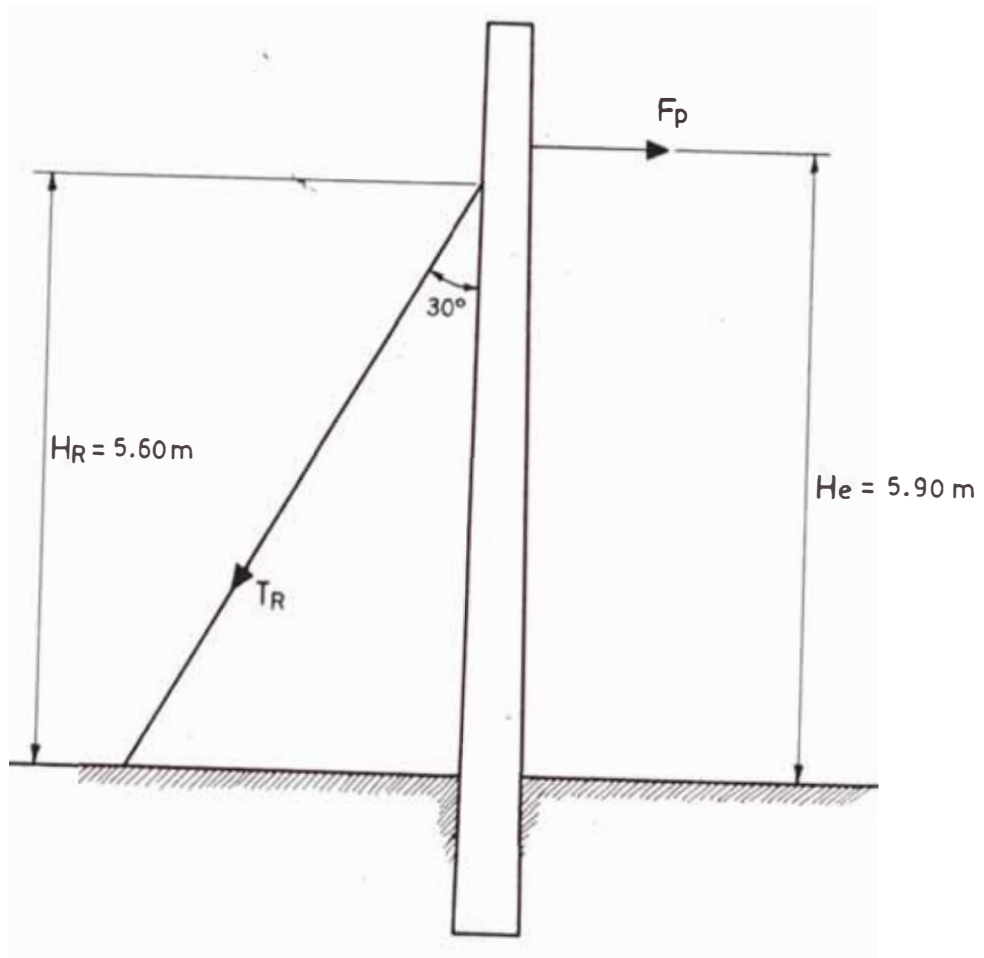


GRAFICO 5.10 RETENIDA DE RED SECUNDARIA

## CUADRO VII

Valores de Fp

Angulo	M(Kg-m)	Fp (kg)
5°	635.9	107.8
10°	978.1	165.8
15°	1318.5	223.5
20°	1656.6	280.8
30°	2323.2	393.8
45°	3289.8	557.6
60°	4201.6	712.1
90°	5799	983.0

Como se observa en la figura 5.10 debe cumplirse que:

$$F_p \times H_e = TR \operatorname{sen} 30^\circ \times HR$$

Si tomamos  $TR = T_{\text{rotura}} = 1579 \text{ Kg}$

2

el máximo valor que podrá tomar  $F_p$  será:

$$F_p = 1579.5 \operatorname{sen} 30^\circ \frac{5.60}{5.90} = 7.49.6 \text{ Kgs}$$

5.90

valor que es menor que las fuerzas que se presentan en los postes de cambio de dirección

#### e) Cálculo de Cimentación

Los postes se cimentarán empleando un bloque de concreto cuyas dimensiones determinaremos por el método de Valensi; que determinar que la condición de equilibrio se da cuando:

Momento Resistente

$$M_a < M_r$$

Estos momentos quedan expresados por:

$$F_p (h+t) < \frac{P}{2} (a-4P) + Cbt^3$$

$$2 \quad 3bo$$

$F_p$  : fuerza en la punta : 300 Kg

$p$ : peso del bloque, poste y equipos

$C$ : coeficiente de densidad y áng. de talud

del terreno  $960 \text{ Kg/m}^3$

altura libre del poste  $6.0 \text{ m}$

$\sigma$  : presión admisible del terreno

$1.5 \text{ Kg/cm}^2$

a: ancho del macizo  $1.0$

b: largo del macizo  $1.0$

$t_1$ : profundidad enterrada del poste  $1.0 \text{ m}$

$\gamma_c$ : peso específico del concreto  $2200 \text{ Kg/m}^3$

t: profundidad del macizo  $1.1 \text{ m}$

$P_m = (\text{Vol. macizo} - \text{Vol. tronco cónico}) \gamma_c$

$\text{Vol. tronco cónico} = t_1 (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$

$A_1 = \pi d_1^2 = \pi \times 0.21^2 = 0.035 \text{ m}^2$

$A_2 = \pi d_2^2 = \pi \times 0.22^2 = 0.038 \text{ m}^2$

Volumén tronco-cónico =  $0.036 \text{ m}^3$

Volumén del macizo =  $a \times b \times t = 1 \times 1 \times 1.1 = 1.1 \text{ m}^3$

$P_m = (1.1 - 0.036) 2200 = 2340.8 \text{ Kg}$

Peso del equipo =  $100 \text{ Kg}$

Peso del poste =  $345 \text{ Kg}$

(cat: Industria de postes S.R.L.)

$P = 2785.8$

Luego:

$M_a = 300(6 + 1.1) = 2130 \text{ Kg-m}$

$$M_r = 2785.8 \left( 1 - \frac{4 \times 2785.8}{2 \times 3 \times 1 \times 15000} \right) + 960 \times 1 \times 1.1^3$$

$$M_r = 2325.7 \text{ Kg-m}$$

$$M_r = M_a; 2325.7 \text{ Kg-m} \quad 2130 \text{ Kg-m}$$

## CAPITULO 6

### ESPECIFICACIONES TECNICAS

#### 6.1 Generalidades

En este capítulo se dan las especificaciones técnicas de los equipos que conforman la central hidroeléctrica. Su objetivo principal es definir las funciones que cada equipo debe cumplir así como describir las instalaciones y los materiales a utilizarse, de acuerdo a normas establecidas.

Se fijarán también las garantías de performance de acuerdo a normas nacionales e internacionales, y en algunos casos las pruebas mínimas necesarias a que deben someterse los equipos.

#### 6.2 Especificaciones Técnicas: Tubería Forzada

##### 6.2.1 Alcances

Esta sección 6.2; cubre los requisitos para el diseño, fabricación, inspección, prueba y pintado de la tubería forzada de la P.C.H. Iquipí.

La tubería forzada está constituida por un solo conducto apoyada sobre tres

apoyos y dos anclajes de inicio, en la cámara de carga y a la entrada de la válvula antes de la tubería hidráulica. Los apoyos y anclajes serán de concreto con  $f' = 180 \text{ Kg/cm}^2$ .

La tubería estará constituida por tramos soldados

### 6.2.2 Condiciones de Operación

#### a) Presiones:

Salto bruto : 13.3 m

Salto neto : 12.70 m

Sobrepresión por golpe de ariete: 6.55m

b) Temperatura : De 0°C a 60°C

c) Fluido : Agua cruda

d) Velocidad máxima : 2 m/seg

e) Montaje : al exterior

f) Cota superior : 413.10 m.s.n.m

### 6.2.3 Características de Diseño

a) Tipo : con junta de dilatación

b) Diámetro interior : 0.80m

c) Espesor : 6.35 mm (0.25 pulg)

d) Caudal máximo : 0.975 m<sup>3</sup>/seg

e) Longitud total: 24 m

f) Codos : 1 a 30.48° con la horizontal en el anclaje



inferior.

#### 6.2.4 Materiales

- a) Plancha de acero : PG-E 21  
(Sider Perú) (ASTM A285-C)
- b) Resistencia a la tracción: 37 Kg/mm<sup>2</sup>
- c) Esfuerzo de Fluencia: 21 Kg/mm<sup>2</sup>
- d) Característica : estructural

#### 6.2.5 Proceso de Fabricación

- a) Norma : Código ASME, Sección VIII
- b) Método de unión: Soldadura de arco eléctrico manual o automático
- c) Tipo de Junta : a tope por ambos lados de la plancha.
- d) Mano de Obra : Soldador Calificado
- e) Electrodo : para arco eléctrico E 7018
- f) Tolerancias
  - Espesor de plancha: -2% + 5%
  - Diámetro medio exterior : 0.3%  
(Dia.mayor-Dia.menor) /Dia.medio : 0.5%
  - Longitud : + 02%
- g) Pintado : Tanto el interior como el exterior de la tubería proveer protección contra la corrosión, previa limpieza del óxido, mediante arenado. La pintura consistirá de dos capas:

- Base imprimante anticorrosiva con base de zinc con espesor mínimo de 200 micras (sólo interior)

- Capa de acabado; pintura bituminosa con espesor mínimo de 150 micras.

La pintura deberá tener una duración mínima de 5 años.

#### 6.2.6 Pruebas

a) En Taller

- Alineamiento de planchas
- De tolerancias geométricas
- De cordones de Soldadura:

Según código Asme se realizarán ensayos no destructivos con ultrasonido y radiografía para detectar imperfecciones del proceso de soldado como : falta de penetración, escorias, burbujas, etc., que deberán ser reparados.

- Ensayo de Tracción en la plancha en la soldadura según Código ASME.

b) En Obra:

- Prueba Hidráulica:

Concluido el montaje de la tubería ésta se someterá por el fabricante a una prueba hidráulica en el cual se alcanzará

una presión estática de prueba:

$$P_p = 1.5(H_b + \Delta H) = 1.5(13.1 + 6.55)$$

$$P_p = 29.50 \text{ m.c.a.}$$

H<sub>b</sub>: altura estática máxima, m

H: sobrepresión normal por golpe  
de ariete, m.

Esta presión deberá mantenerse durante 30 minutos, tiempo durante el cual se verificará la ausencia de fugas, fisuraciones o deformaciones permanentes en la tubería forzada.

La parte inferior de la tubería se sellará mediante válvula o tapón de acero soldado y la boca de aguas arriba se sellará también mediante un tapón provisto de orificios para el llenado, purga de aire, y toma de manómetro.

### 6.3 Especificaciones Técnicas: Organos de

#### Cierre

##### 6.3.1 E.T. Compuerta de la Cámara de Carga

- Tipo : Vertical con guías verticales
- Altura : 1.0 m
- Ancho : 1.0 m
- Peso : 50 Kg.
- Material : Acero estructural  
ASTM-A36 de 0.25 pulg.

- Accionamiento: Manual
- Izaje : Por volante y tornillo de potencia.

### 6.3.2 Válvula de Mariposa

- Diámetro Nominal : 0.80m
- Presión máxima : 20 m.c.a.
- Accionamiento : Cierre automático  
por contrapeso
- Apertura: manual por volante
- Estanqueidad : anillo "O"

## 6.4 Especificaciones Técnicas de Equipo

### Electromecánicos

#### 6.4.1 Turbina Hidráulica

##### a) Características de Diseño

- Tipo : Michel-Banki o flujo transversal
- H neta máxima: 13.1 m
- H neta mínima: 12.70 m
- Potencia al eje: 78 Kw
- Velocidad nominal: 353 RPM
- Caudal de Diseño : 0.975 m<sup>3</sup>/seg
- Velocidad de embalamiento : 635 RPM
- Velocidad específica NS : 151
- Diámetro del Rodete: 0.40 m
- Ancho del Rodete : 0.80 m
- Tubo de aspiración : 1.0 m
- Eficiencia mínima : 80%

- Posición del eje: horizontal
- Regulación del caudal: por àlabe móvil

#### b) Pruebas en el sitio

Estas pruebas deberán realizarse indefectiblemente por parte del fabricante y de acuerdo a Normas reconocidas como: C.E..I. o NEMA

Las pruebas serán las siguientes:

- Medición de la potencia garantizada por el fabricante a velocidad nominal
- Medición de la eficiencia a condiciones nominales.
- Prueba de la protección contra sobrevelocidad
- Prueba de Descarga Súbita
- Temperatura de los cojinetes
- Prueba con carga de 72 horas, al cabo de las cuales se realizará una inspección general de la turbina.

#### 6.4.2 Especificaciones Tècnicas: Regulador de Velocidad

- Tipo : hidromecánico, similar Woodward UG-8 modelo 1
- Capacidad de trabajo: 43.1 kG-M

- Principio : masas giratorias
- Accionamiento : mediante polea y faja en "V"
- Desplazamiento del servomotor : 150 mm
- Capacidad del sistema de presión de aceite aprox. : 105 litros
- Tiempo mínimo de cierre del álabe directriz : 6 segs.
- Regulación manual con reostato: mediante motor de c.c. 110v.
- Parada automática por baja presión en el sistema de aceite : por solenoide
- Bomba manual para parada de emergencia : Si
- Variación de la velocidad para un cambio de carga de 100% : 7%

#### 6.4.3 Especificaciones Técnicas de la Caja

##### Reductora

- Tipo de Montaje : Horizontal
- Velocidad de entrada : 353 RPM
- Relación de Multiplicación : 3.4
- Velocidad de salida : 1200 RPM
- Potencia en HP (Kw) : 105 HP, (78Kw)
- Factor de servicio : 1.5
- Lubricación y refrigeración : en Baño de aceite

- No. de Trenes de engranajes : 2
- No. de dientes : 1er.Tren 2do.Tren
 

Piñòn	15	27
Engranaje :	15	29
- Tipo de engranaje : helicoidales
- Módulo del diente : 12
  - Ancho del diente : 72 mm
- Acoplamiento Flexibles unidos mediante pernos : 2 pz
- Indicador de nivel de aceite : visual
- Equipado con alarma de bajo nivel de aceite

#### 6.4.4 Especificaciones Técnicas del Generador Síncrono

##### a) Características Generales

- Tipo : Generador  
Síncrono  
trifásico
- Potencia nominal : 87.5 KVA
- Tensión nominal : 380/220,  
hilos
- Factor de Potencia : 0.180
- Corriente nominal : 132.9 Amp
- Velocidad de giro : 1200 RPM

- Velocidad de embalamiento : 2160 RPM
  - Número de polos : 6
  - Número de apoyos : 2  
cojinetes
  - Frecuencia : 60 hz
  - Temperatura nominal del estator: 100°C
  - Eficiencia a plena carga y f.de p. = 0.8 : 91%
  - Reactancias  $X_1$  : 15%  
 $X''$  : 18%
  - Sistema de excitación: Sin escobillas por puente de diodos
  - Aislamiento : NEMA clase F
- b) Regulador de tensión
- Tipo : de estado sólido
  - Rango de la regulación : 10% de la tensión nominal
  - Tiempo de respuesta : 0.02 seg
  - Temperatura ambiental de operación: -15°C a 50°C



- Montaje : en tablero
- Frecuencia : 60 hz
- Consumo  
estimados : 800 VA
- Regulación  
Manual : Por reóstato
- Tensión de  
alimentación: 220 V.c.a.

#### 6.4.5 Especificaciones Técnicas: Tablero de Control y Medición

- Tipo : autosoportado en  
perfil y plancha  
de acero
- Dimensiones:
  - . Altura : 2200 mm
  - . Ancho : 900 mm
  - . Profundidad: 600 mm

Equipado con:

##### 6.4.5.1 Interruptor Principal (1 B)

- Tipo : termomagnético
- Tensión nominal: 600 V.c.A.
- Corriente nominal: 250 A
- Capacidad de corte  
simétrica : 15 KA

- Protección contra: Corto-circuito y sobre-carga
- Disparo automático remoto :  
por solenoide accionado por relés
- Número de polos : 3
- Montaje : Caja moldeada en tablero
- Dimensiones aproximadas
  - . Altura : 260 mm
  - . Ancho : 105 mm
  - . Profundidad : 103 mm
- Accionamiento : manija frontal
- Disparadores térmicos : ajustables
- Disparadores magnéticos : ajustables

#### 6.4.5.2 Transformadores de Corriente

- a) Transformadores (TC1) : 3 unidades
- Función : alimentación de amperímetro, voltímetro, cosfímetro, medidor de energía
  - Tipo : Toroidal con cubierta de

resina sintética, sin primario

- Clase de precisión: 1.0
- Tensión de servicio : 1.0 Kv
- Frecuencia:60 hz
- Potencia : 15 VA
- Normas : ITINTEC , CEI
- Relación de transformación :150/5

b)Transformadores(TC2) : 3 unidades

-Función : alimentación a protección  
contra sobrecarga y sobrecorriente

- Tipo : con bobinado primario
- Clase de precisión : 5P 20
- Tensión de Servicio : 1.0 Kv
- Frecuencia:60 hz
- Potencia : 10 VA
- Normas : CEI
- Relación de Transformación : 150/5
- Montaje : en tablero

c) Transformador (TC3) : 1 unidad

- Función : alimentación al regulador
- Tipo: con bobinado primario

- Clase de precisión: 1.0
- Tensión de Servicio : 1.0 Kv
- Frecuencia:60 hz
- Potencia : 5 Va
- Normas : CEI
- Relación de Transformación : 150 /1
- Montaje : en tablero

#### 6.4.5.3 Transformadores de Tensión

a) Transformadores (TT1) : 3 unidades  
monofásicas

- Función : alimentación a medición  
voltímetro, cosfímetro  
y medidor de energía  
frecuencímetro
- Clase de precisión : 0.5
- Tensión de servicio : 1.0 Kv
- Frecuencia: 60 hz
- Potencia : 20 VA
- Normas : CEI
- Relación de transformación 380/100

3 3

- Conexión :estrella-  
estrella

- Montaje : en tablero

b) Transformador(TT2):1 unidad monofásica

- Función : alimentación al regulador  
automático de voltaje

- Tipo : Sellado, caja de resina  
para interior

- Clase de precisión : 0.5

- Tensión de servicio : 1.0 Kv

- Frecuencia: 60 Kv

- Potencia : 10 VA

- Norma : CEI

- Relación de transformación : 380/100v

- Montaje : en tablero

6.4.5.4 Instrumentos de Medición

a) Amperímetro (1A): 3 unidades

- Tipo : de cuadro, montaje en  
tablero

- Principio de funcionamiento : de  
Fe móvil

- Clase de precisión : 1.5

- Tensión nominal : 100 v

- Operación con I.T :

- Frecuencia: 60 hz

- Escala : 0-400 v.
- Dimensiones: 96x96x104 mm
- Equipado con Conmutador Voltimétrico
- c) Vatímetro (1W): 1 unidad
- Tipo : red trifásica desbalanceada
- Principio funcionamiento : electro-  
dinámico
- Clase de precisión : 1.5
- Operación con T.C. Y T.T.
- Tensión nominal: 100v
- Corriente nominal: 5 A
- Frecuencia : 60 hz
- Escala: 0-100 Kw
- Sistema motor: 2 bobinas voltimétricas  
2 bobinas amperimétricas
- Dimensiones: 96x96x104 mm

d) Medidor de energía

Activa (1 Wh):

1 unidad

- Tipo : para red  
trifásica  
desbalanceada

- Principio  
de funcio  
namiento : Instrumen  
to de in  
ducción
- Sistema  
de motor : tres siste  
mas monofá  
sicos
- Tensión  
nominal : 100 v
- corriente  
nominal : 100 v
- frecuen  
cia : 60 hz
- Operación con T.C. y  
T.T.
- Dimensiones:  
280x110x105 mm

e) Frecuencímetro (f)

- Tipo : de cuadro
- Principio  
de funcio  
namiento : lenguetas

- Clase : 0.5
- Campo de medida : 57-63 hz
- Resolución : 1/2 hz
- Tensión nominal : 100v
- Dimensiones: 96x96 m

f) Cosfímetro

- Tipo : trifásico
- Principio de funcionamiento : Instrumento logométrico
- Sistema motor : 1 bobina amperimétrica, 3 bobinas voltimétricas
- Tensión nominal : 100 v
- Corriente: 5 A



- Frecuencia : 60 hz
- Escala : 0.4 cap-  
1.0-0.4  
Ind.

#### 6.4.6 Especificaciones Técnicas: Tablero de Señalización y Protección

- Tipo : autosoportado en perfil y plancha de acero
- Dimensiones :
  - . Altura : 2200 mm
  - . Ancho : 600 mm
  - . Profundidad : 600 mm

Equipado con:

##### 6.4.6.1 Relé de Sobrecorriente

(2I>>)

Emplearemos el relé secundario Brown Boverí Modelo ISM21, de sobrecorriente para protección del generador contracortocircuitos.

el relé está equipado con disparadores instantáneos y temporizados, que al actuar provocan la apertura del interruptor termomagnético del alternador.

Características principales:

- Tipo : electromagnético
- Indicador visual de disparo
- Corriente nominal: 5 A
- Frecuencia : 60 hz
- Rango de calibración : 1-2 In
- Corriente permisible continua 2 In
- Capacidad de cortocircuito por 1 seg : 100 In
- Rango de temporización : 0.2-8seg
- Consumo a corriente nominal : 10 VA

- Capacidad de ruptura de los contactos : 100 VA

#### 6.4.6.2 Relé de Sobrecarga (-Л)

Emplearemos el relé térmico B.B.C modelo STf; para protección contra sobrecarga del alternador. Se trata de un relé secundario, que dispara cuando el incremento de temperatura del elemento bimetálico excede el valor prefijado, provocando la apertura del interruptor termomagnético del alternador.

Características principales:

- Tipo : electromagnético, disparo por dilatación de par bimetálico.
- Indicador visual de temperatura y de disparo
- Corriente nominal : 5A

- Rango de va  
riación de  
temperatura : = 60°C
- Frecuencia : 60 hz
- Constante de  
tiempo regula  
ble : 20-110 min
- Tiempo de reco  
nexión de dis  
paradores : 20 min
- Operación con T.C.
- Consumo a 5 A : 9 VA
- Capacidades de  
los contactos  
en C.A. y  
110 v : 10 A

#### 6.4.6.3 Relé de sobretensión

Para nuestro caso seleccio  
naremos el relé Brown  
Boveri modelo UM31 y para  
protección contra las so  
bretensiones. Es un relé  
secundario que al disparar  
por sobretensión o subten  
sión provoca la apertura  
automática del interruptor

termomagnético del genera  
dor.

Características principa  
les :

- Tipo : electromagnético
- Indicador de dis  
paro : visual
- Tensión nominal : 100 v
- Frecuencia : 60 hz
- Tensión de prue  
ba de aislamien  
to : 2 Kv
- Rango de calibra  
ción : (0.6-1.6)Vn
- Máxima ten  
sión conti  
nua 250 v
- Tiempo de  
respuesta  
con tensión  
nula 0.045 seg
- Consumo : 0.8 VA
- Corriente  
de los con  
tactos : 1.0 Amp

#### 6.4.6.4 Relé de Falla a Tierra del

### Estator

La función de este relé electrónico secundario es detectar falla a tierra ocasionando la apertura del interruptor termomagnético.

En el caso de falla del bobinado del estator a tierra, circulará esta corriente de falla por el neutro del generador induciendo una tensión en el transformador de potencial la cual se aplica al relé, transformándolo en una señal que acciona el circuito de disparo el cual a su vez provoca la apertura del interruptor termomagnético del generador interrumpiendo el servicio.

Para cumplir con éstos requerimientos seleccionaremos el relé Brown Boveri modelo UBX117.

- Tipo : relé secundario  
de estado sólido
- Indicador de disparo : luminoso
- Tensión nominal: 100 v
- Frecuencia : 60 hz
- Rango de calibración : (2.5-6.5%)Vn
- Tiempo de respuesta : 0.5 seg
- Consumo : 10 VA
- Tensión de prueba : 2 Kv
- Peso aproximado : 1.25 Kg

#### 6.4.7 Especificaciones Técnicas: Tablero de Salida a S.E. DE M.T.

Este tablero al igual que los anteriores será de tipo autosoportado, fabricado con perfil y plancha de acero. Las dimensiones exteriores serán :

- Altura : 2200 mm
- Ancho : 600 mm
- Profundidad : 900 mm

Este llevará equipado de maniobra para controlar el flujo de energía hacia el transformador elevador.

#### 6.4.7.1 Seccionador Fusible (3 S )

Sirve para aislar el transformador elevador de la S.E. manteniendo energizadas las barras colectoras de B.T. del lado del alternador permitiendo operar los servicios auxiliares de la central.

Características principales

- Tipo : Seccionador Fusible extraíble manualmente
- Modelo : Brown Boveri  
HRC SCP 1
- Corriente nominal : 250 A
- Tensión nominal : 660 v
- Tensión de aislamiento : 1 Kv
- Frecuencia: 50-60 hz



- Corriente de corto circuito : 100 KA
- Tripolar
- Fusibles : tipo NH de 250A

#### 6.4.7.2 Protección contra Sobrecorriente a tierra en el lado de M.T.

Esta protección está dada por un relé de sobrecorriente conectado mediante un transformador de corriente al neutro del transformador de potencia en el lado de 10 Kv.

En el caso de falla a tierra de una de las fases de la línea, ésta corriente es detectada por el relé; el cual mandará la apertura automática del interruptor termomagnético del alternador.

Características principales

- Tipo : relé secundario electromagnético

co Brown Boverí

Modelo ISM21

- Indicador de disg  
paro : visual
- Corriente nomi  
nal : 5 A
- Frecuencia : 60 hz
- Rango de calibraa  
ción : 1-2 In
- Corriente permii  
sible continua : 2 In
- Capacidad de cortoq  
circuito por 1 seg: 100 In
- Rango de temporizaa  
ción : 0.2-8  
seg
- Consumo a corrien  
te nominal 10 Va
- Capacidad de rugu  
tura de los contacq  
tos : 1000 VA

#### 6.4.7.3 Transformador de Corriente

(3TC): 1 unidad

- Función: alimentación al reg  
lé de sobrecorriente  
de falla a tierra de

la línea de 10 Kv.

- Tipo : con bobinados  
primario
- Clase de precisión : 5 P 10
- Tensión de servicio : 1 Kv
- Frecuencia: 60 hz
- Relación de transformación: 150/5A
- Consumo : 10 VA
- Normas CEI
- Montaje : en tablero

#### 6.4.8 Especificaciones Técnicas: Tablero de Servicios Auxiliares (T- )

Este tablero alimenta a los servicios auxiliares de la central; como son iluminación, salidas de fuerza y el sistema de señalización y alarma de C.C. Sus elementos constitutivos son:

##### 6.4.8.1 Transformador de Potencia

Estará conectado a las barras colectoras de B.T. en 380 v. Su objetivo es proporcionar tensión trifásica

a 4 hilos 380/220v. que permite conectar cargas monofásicas a 220 v. Seleccionaremos un transformador tipo seco dado su pequeña potencia, 10 KVA.

Características principales

- Potencia : 10 KVA
- Tensión primaria : 380 v
- Tensión secundaria : 380/220v
- Grupo de conexión : Dyn 5
- Frecuencia : 60 hz
- Refrigeración: natural  
por aire
- Altitud de servicio : 1000 m.s.n..m.
- Accesorios:
  - . Borne de tierra
  - . Ganchos de izaje
  - . Caja metálica
- Temperatura de operación : 95°C
- Montaje : interior

#### 6.4.8.2 Seccionador Fusible (4S)

Sirve para aislar el transformador de servicios auxiliares de las barras colectoras principales de B.T.

Características principales

- Tipo : Seccionador fusible tripolar extraído manualmente.
- Modelo: Brown Boveri  
SPL 00
- Corriente nominal : 125 A
- Tensión nominal: 380 v
- Tensión de aislamiento : 660 v
- Frecuencia : 50-60 hz
- Corriente de cortocircuito
- Fusibles : tipo N4  
de 63 A

#### 6.4.8.3 Interruptores termomagnéticos (4B)

Controlan los circuitos de rizados tanto trifásicos:

como el taller de mantenimiento y los monofásicos que son : iluminación interior exterior y sistema de C.C.

Características principales

- Tipo : interruptores termomagnéticos en caja moldeada con manija exterior de accionamiento.
- Tensión nominal : 380 v
- Corriente nominal : 2x20A-3pzs
- Capacidad mínima de corto-circuito : 5 KA
- Frecuencia : 60 hz
- Montaje : en tablero

## 6.5 Especificaciones Técnicas de la Subde Salida en M.T.

### 6.5.1 Transformador de Potencia

#### 6.5.1.1 Características técnicas

- Potencia : 100 KVA

- Tensión  
primaria : 0.38 Kv  
triángulo
- Tensión se  
cundaria : 10Kv + 2(2.5)  
% estrella
- Grupo de  
conexión : YNd 11
- Frecuencia: 60 hz
- Enfriamien  
to : baño de  
aceite
- Cambiador  
de tomas : sin tensión
- Montaje : exterior
- Altura : 1000 m.s.n.m.
- Nivel de aislamiento:
  - . Primario 2.5 Kv
  - . Secundario : 28 Kv
- Máxima tempe  
ratura de los  
bobinados 65°C
- Máxima tempe  
ratura de  
aceite : 60°C
- Accesorios :

- . Tanque de expansión
- . Nivel de aceite
- . Placa de datos
- . Ganchos de izaje
- . Cambiador de tomas manual
- . Ruedas de fierro
- . Válvula de toma de muestra de aceite
- . Borne de tierra

#### 6.5.1.2 Pruebas a efectuarse

Las siguientes pruebas deberán realizarse en los laboratorios del fabricante en presencia del propietario o su representante.

Si no fueran satisfactorias deberán modificarse los diseños y/o cambiar materiales.

- a) Prueba en corto-circuito
- b) Prueba en vacío
- c) Medida de aislamiento
- d) Prueba con tensión



inducida

- e) Prueba con tensión aplicada
- f) Medición de la relación de transformación.
- g) Verificación de la polaridad.

#### 6.5.2 Especificaciones Técnicas:

##### Cortacircuitos Fusibles

##### (Cut-outs)

El seccionamiento de la línea de 10 Kv se realiza en la S.E. de salida por medio de los corta-circuitos Fusibles o Cut-Outs.

- Tipo : unipolares para montaje exterior en cruceta, accionamiento manual con pértiga
- Apertura: automática
- Tensión nominal : 15 Kv
- Corriente nominal: 100 A
- Capacidad de ruptura : 10 K Amp
- Fusibles lentos : 10 Amp

- Nivel Básico de  
aislamiento : (BIL):  
95 Kv.

### 6.5.3 Especificaciones Técnicas de los Pararrayos

- Tipo : autoválvulas de  
montaje en cruce  
ta, unipolares
- Tensión nominal: 10 Kv
- Corriente de  
descarga : 2 K Amp
- Tensión de des  
carga con onda  
de impulso : 32.5 Kv
- Tensión resi  
dual : 32.5 Kv
- Altitud : 1000 m.s.n.m.
- Sección del conductor  
de bajada C.N.E.T.IV: 16 mm<sup>2</sup>

## 6.6 Especificaciones Técnicas de las Redes de Distribución

### 6.6.1 Especificaciones Técnicas de la Red Primaria

Las siguientes especificaciones técnicas fijan las características mínimas que deberán cumplir

los equipos y materiales empleados en las redes de distribución primaria.

#### 6.6.1.1 Postes

Serán de concreto armado de las siguientes características:

- Longitud : 11 m
- Esfuerzo en la punta:  
200 y 300 Kg
- Diámetro en la punta:  
140 mm
- Diámetro en la base:  
305 mm
- Peso total : 770 Kg.

En las S.Es. de Distribución se emplearán postes de 300 Kg de fuerza en la punta..

#### 6.6.1.2 Aisladores

Podrán ser de porcelana o de vidrio endurecido. En la red primaria se usarán dos tipos:

- Tipo : Pin Suspensión
- Clase-NEMA: 55-4 52-3
- Tensión Disruptiva\_en seco:  
701 CV 80 Kv

- Tensión Disruptiva bajo lluvia:

40 Kv    50 Kv

- Carga de rotura:

3000Lbs    15000Lbs

- Línea de fuga : 9pulg    11.5pulg

#### 6.6.1.3 Conductores de la Red Primaria

- Material: cobre electrolítico de 99.99% de pureza. Desnudo, de temple duro.

- Sección nominal: 10 mm<sup>2</sup>

- Número de hilos: 7

- Resistencia a 20°C: 1.86 ohm/km

- Carga de rotura : 391 Kg

- Peso : 90 Kg/Km

- Diámetro exterior: 4.05 mm

- Coeficiente de dilatación:

17x10<sup>-6</sup>    1/°C

- Módulo de elasticidad:

11,500 Kg/mm<sup>2</sup>

#### 6.6.1.4 Crucetas

Serán de concreto armado, para instalarse en los postes de 11m. y deberán soportar un esfuerzo de trabajo de:

- Tiro horizontal : 300 Kg

- Tiro vertical : 150 Kg

- Coeficiente transversal : 300 Kg
- Coeficiente de seguridad: 2
- Tipo : simétrico

#### 6.6.1.5 Pin para aisladores de 10 Kv

Se emplearán pines de perfil cónico con 25.4 mm (1 pulg) de diámetro en la punta y deberá soportar una carga de 200 Kg como mínimo en voladizo y no deflexionar un ángulo mayor de 10° medido entre ejes. El esfuerzo de rotura del acero no será menor de 40 Kg/mm.

#### 6.6.1.6 Retenidas

Estarán compuestas de:

- Conductor : acero galvanizado  
11 m
- . Diámetro nominal:  
3/8 pul(9.53 mm)
- . Carga de rotura : 3,159 Kg
- Perno pasante con ojo : roscado en un extremo
- . Tiro : 3800 Kg
- . Diámetro aproximado : 3 cms
- Guarda cable : de acero galvanizado para cable de 3/8 pulg.
- Conector de sujeción del cable

- Grampa para pin de cable
- Varilla de anclaje:  
Acero galvanizado de 3/4" de diámetro x 1.8m con ojo en el extremo y el otro roscado.
- Bloque de anclaje:  
De concreto de 250 Kg/m<sup>3</sup>; de 50x50x15 cm; llevará una plancha de fierro de 0.25x0.25x1/4" de espesor con hueco de 3/4" de diámetro en el centro.
- Canaleta de protección: en latón de 2.40 m de longitud.
- Un aislador de tracción e 31/2" Clase NEMA - 53-2
- Una abrazadera partida de 2"x1/2"X225 mm.

## 6.6.2 Especificaciones Técnicas de la sub-estaciones de Distribución

### 6.6.2.1 Transformadores de Potencia

- Potencia
  - . S.E. Alto Molino : 50 KVA
  - . S.E. Iquipí : 75 KVA
- Tensión Primaria :  
10 Kv + 2 (2.5)% triángulo
- Tensión secundaria:

400/230 v estrella

- Frecuencia : 60 hz
- Grupo de conexión : Dyn 5
- Refrigeración : natural en baño  
de aceite
- Altura : 1000 m.s.n.m.
- Montaje : exterior
- Cambiador de tomas : 5 posiciones  
sin tensión
- Nivel de aislamiento
  - . Primario : 28 Kv
  - . Secundario : 2.5 Kv
- Accesorios
  - . Tanque de expansión
  - . Nivel de aceite
  - . Placa de datos
  - . Ganchos de izaje
  - . Cambiador de tomas manual
  - . Válvula de toma de muestra de  
aceite
  - . Borne de tierra
- Pruebas o las misma detalladas  
en párrafo 6.5.1.2

#### 6.6.2.2 Seccionadores-Fusibles (Cut-Outs)

- Tipo : unipolares para montaje  
exterior en cruceta. Accionamien

to manual con pértiga

- Tensión nominal : 10 Kv
- Corriente nominal : 100 A
- Capacidad de ruptura : 10 Amp
- Nivel básico de aislamiento  
(BIL) : 95 kV
- Fusibles
  - . S.E. Alto Molino : 5 Amp
  - . S.E. Iquipí : 7 Amp

#### 6.6.2.3 Tablero de Distribución Secundaria

Será de plancha de Fe de 1/16" de espesor con doble capa de pintura.

El techo tendrá inclinación de 25° hacia adelante.

Tendrá puerta de dos hojas abisagradas. Llevará agujeros para ingreso y salida de cables los cuales deberán hermetizarse para impedir el ingreso de agua.

Deberá llevar cerradura en la puerta.

Estará equipado con los siguientes equipos:

- a) Contactor : accionado automáticamente por foto-célula y protegido por relé térmico similar



mod. LC-D25 de TELEMECANIQUE-MELSA.

- Número de polos : 3
- Tensión nominal : 220 v
- Corriente nominal : 25 A
- Frecuencia : 60 hz

b) Seccionadores-Fusibles

Controlarán y brindarán protección contra cortocircuito y sobrecarga de los circuitos de circuitos de Servicio Particular.

- Tipo : seccionador fusible tripolar extraíble manualmente similar al modelo SPL 100 de Brown Boverí.

- Tensión nominal : 380 v
- Corriente nominal : 100 Amp
- Tensión de aislamiento: 660v
- Frecuencia : 50 - 60 hz
- Fusibles tipo NH:

. S.E. Alto Molino :

C-1 S.P. : 16 A

C-2 S.P. : 63 A

c) Medidores de Energía

Para el registro del consumo en

Alumbrado Público se instalarán en las subestaciones medidores de energía activa trifásicos de las siguientes características:

- Tensión : 380/220 v
- Fases desequilibradas:
- Capacidad de sobrecarga :  
300 %
- Número de dígitos : 9

d) Foto-célula

Será montada a la interperie, con rango de calibración definido por el fabricante.

- Tensión : 220 v. 10
- Potencia : 250 W
- Temperatura de trabajo: 5-40°C
- Frecuencia : 50/60 hz

6.6.2.4 Especificaciones Técnicas del Sistema de Puesta a Tierra

a) Puesta a Tierra para Protección

- Electrodo : varilla de copper weld con conector
  - . Diámetro : 5/8" (16 mm)
  - . Longitud : 2.40 m
  - . Resistividad del terreno estimada : 50 ohm-m

. Dimensiones del pozo:

dia = 0.80 m    profundidad =  
2.60 m

. Tubo PVC-SAP:        = 3/4"x3m

- Conductor de puesta a tierra:  
sección mínima 10 mm<sup>2</sup>

b) Puesta a Tierra de Funciona-  
miento

- Electrodo : varilla copper  
wels formando un cuadrado de  
4m de lado con grampas

. Diámetro : 3/4" (19mm)

. Longitud perimetral : 16 m

. Profundidad de enterramien  
to : 50 cm

. Conductor de puesta a  
tierra : sección mínima  
10 mm<sup>2</sup>

. Tubo PVC-SAP:        = 3/4x3m

6.6.2.5 Losa para soporte de  
Transformadores

Serán de concreto armado para  
instalarse en los postes de 11m.

Se embonarán en los dos postes  
que conforman la subestación aérea  
y deberán soportar un peso de

1,500 Kg. con factor de seguridad de 2; sobre su carga de rotura.

#### 6.6.2.6 Travesaños

Serán de concreto armado para instalarse en los postes de 11m. Embornarán en dos postes que conforman la subestación aérea. El travesaño debe soportar un peso de 200 Kg. con coeficiente de seguridad de 2; sobre su carga de rotura.

### 6.6.3 Especificaciones Técnicas de las Redes Secundarias

#### 6.6.3.1 Postes

Tanto para alineamiento y cambio de dirección se emplearán postes de concreto armado centrifugado de las siguientes características:

- Longitud : 7 m
- Esfuerzo en la punta : 200 Kg
- Diámetro en la punta : 120 mm
- Diámetro en la base : 225 mm
- Peso total : 345 Kg

#### 6.6.3.2 Aisladores

Podrán ser de porcelana marrón tipo carrete para baja tensión

- Clase ANSI 53-1

- Tensión nominal : 380 v
- Tensión disruptiva en seco :  
20 Kv
- Tensión disruptiva bajo lluvia:  
8 Kv
- Carga de rotura : 200 Lbs

### 6.6.3.3 Conductores

#### a) Redes

- Se emplearán conductores eléctricos del tipo WP de las siguientes características:

- Conductor : cobre electrolítico
- Conductibilidad : 100% T.A.S
- Tensión de operación : 600 v
- Revestimiento : polietileno con antioxidante
- Temple : semiduro
- Norma de fabricación :  
A.S.A.C 835
- Secciones nominales :  
16 mm<sup>2</sup> - 10 mm<sup>2</sup>
- No. de hilos :  
7 7
- Diámetro exterior:  
6.7mm 5.65mm

- Peso:

0.165Kg/m    ●.105

- Tiro de rotura:

517 Kg    326 Kg/m

- Módulo de elasticidad:

11,500Kg    11,500Kg/mm<sup>2</sup>

- Coeficiente de Dilatación:

17x10<sup>-6</sup>    17x10<sup>-6</sup>

1/°C    1/°C

- Resistencia a 20°C:

1.17 ohm/km    1.86 ohm/Km

b) Conductores para Amarre

- Tipo                    : TW

- Conductor            : 100% I.A.C.S.

- Tensión de operación : 600 v

- Revestimiento       : PVC

- Temple                : suave

- Normas de aplicación :

ASTM B3 y BB para el conduc  
tor y VDE 0250 para el aislam  
iento

- Sección                : 4 mm<sup>2</sup>

c) Para Acometidas de A.P

Irá desde la red de A.P. hasta  
el portalámparas.

- Tipo                    : Biplasto-NLT

- Sección : 2x2.5 mm<sup>2</sup>
- Conductor : cobre
- Temple : suave
- Tensión de operación : 600 v
- Revestimiento : PVC
- Normas de fabricación :  
     ASTM para el conductor  
     CEI para el aislamiento

#### 6.6.3.4 Portalíneas

Se emplearán portalíneas para cinco aisladores carrete fabricados en fierro liso de 1/2" con una longitud total de 600 mm. Se fijarán al poste mediante abrazaderas. La base estará construida de platina de hierro con una resistencia mínima de 40 Kg/mm<sup>2</sup>.

#### 6.6.3.5 Retenidas

- Cable de acero galvanizado 3/8" , 11 mts
- 1 Varilla de anclaje 05/8x - 1.8 m
- 1 Canaleta guarda cable de 2.4 m
- 2 Guardacabos para cable de 3/8"
- 4 mordazas de ranuras paralelas
- 1 aislador de tracción de

3; 1/2" clase 53.2

- Bloque de anclaje de 50x50x15 cm con plancha de fierro de 0.25x0.25x1/4" de espesor.

#### 6.6.3.6 Pastorales

Deberán ser de concreto armado vibrado, fabricado de acuerdo a normas indicadas para postes y pastorales de concreto.

Serán de tipo Sucre "C" simple y dobles y llevarán la pesa ornamental.

Llevarán embone adecuado para luminarias tipo Josfel MRH-64.

#### 6.6.3.7 Luminarias

Las luminarias a emplearse serán tipo Josfel MRH-64 o similares. Constituidas por un soporte principal de aluminio fundido provistos de elementos de sujeción al pastoral.

El reflector será de plástico transparente y estará sujeto al reflector mediante ganchos de material inoxidable y que asegure un cierre hermético.



#### 6.6.3.8 Lámparas

Tipo : vapor de Mercurio

Potencia : 80 W

Tensión : 220 v

Frecuencia : 60 hz

Flujo luminoso : 3800 lúmenes

Vida útil : 12,000 horas

Tiempo de arranque : 4 minutos

Accesorios : - reactor imitador  
de corriente  
- condensador para  
mejoramiento del  
factor de potencia

Casquillo : E27

#### 6.6.3.9 Portafusibles y Fusibles para A.P.

Para la protección eléctrica de las lámparas y sus respectivos equipos, se utilizarán portafusibles de loza de 15 Amp., para uso a la interperie tipo pescado; los mismos que llevarán plomo fusible de 5 Amp.

## CAPITULO 7

### METRADO Y PRESUPUESTO

#### 7.0 Consideraciones y Resumen

El siguiente metrado y presupuesto ha sido elaborado considerando los precios de materiales, equipos y mano de obra vigentes a Julio de 1988. En la partida correspondiente a equipamiento elecatromecánico de casa de máquina se ha considerado precios CIF de equipos importados como son la Turbina, generador, regulador de velocidad, caja reductora y tablero de control.

Se ha expresado los costos totales de cada partida tanto en Intis como en Dólares Americanos; considerando una tasa cambiaria de 3,200 Intis/dólar al 30 de Mayo de 1989.

Cada partida incluye el suministro de los materiales y/o equipos; el montaje y el transporte hasta el sitio. En el cuadro resumen a continuación se indica también los gastos generales, l dirección técnica y utilidad que servirán como base referencial para una posible licitación de los trabajos que lleven a la ejecución de la P.C. Hidroeléctrica, subestaciones; redes y conexiones domiciliarias.

P.C.H. DE IQUIPI

RESUMEN DEL PRESUPUESTO EN MILES DE INTIS

PARTIDA	DESCRIPCION	SUMINISTRO	MONTAJE	TRANSP.	TOT.COSTO DIRECTO	G.G.U.y DIR.TEC.	PRESUP. TOTAL	EQUIV.EN US \$
7.10	O.C.Captación,Conduc.	17,716	-----	734	18,451	1,845	20,296	6,343
7.20	O.C.Tub.Forz.Casa de Maq	11,444	-----	734	12,164	1,216	13,381	4,182
7.30	Eq.Electromecanico	313,727	15,680	1,200	330,607	33,061	363,667	113,646
7.40	Subestaciones Elevadora y de distribucion	42,048	4,080	1,200	47,328	4,733	52,061	16,270
7.50	Redes Primarias	34,409	16,162	4,400	54,972	5,497	60,189	18,896
7.60	Redes Secundarias	49,884	8,578	960	59,422	5,942	65,365	20,426
TOTALES : MILES DE I					522,944		575,559	\$179,763

Nota: 1 US \$ = I/ 3,200.

Mayo, 1989

## METRADO Y PRESUPUESTO

## C O S T O S

Part.	Descripción	Unid.	Cant.	Unit.	Total
7.1	OBRAS CIVILES				
	O.C. <u>Captación y</u>				
	<u>Aducción</u>				
7.1.1	<u>Barraje y Bocatoma</u>	--	--	exist.	
	- Canal desrripiador	--	--	exist.	
	- Rejilla de protecc				
	ción	--	--	exist.	
	- Compuerta metálica				
	con izaje por tor				
	nillo	--	--	exist.	
	- Compuerta de lim				
	pieza	--	--	exist.	
7.1.2	<u>Canal de Aducción</u>				
	- Limpieza del canal	m <sup>2</sup>	1768	608	1074944
	- Revestimiento con				
	concreto simple	m <sup>2</sup>	1248	4176	5211648
	- Solera de 0.10m	m <sup>2</sup>	520	3376	1755520
7.1.3	<u>Desarenador</u>				
	- Excavación	m <sup>3</sup>	110	3168	348480
	- Muros laterales en				
	concreto armado in				
	clin, encofrado	m <sup>3</sup>	85	54000	4590000
	- Loza del piso				

242

0.10m	m <sup>3</sup>	42	15024	631008
<b>7.1.4 Cámara de Carga</b>				
- Excavación de tierra	m <sup>3</sup>	36	3168	114048
- Cimientos y muros de concreto armado encofrado	m <sup>3</sup>	17	54000	918000
- Loza de fondo 0.25m	m <sup>3</sup>	5.5	15008	82540
- Tarrajeo interior	m <sup>2</sup>	16	2096	23536
- Muro de rebose: concreto	m <sup>3</sup>	2.25	54000	121504
- Rejilla metálica de acero	Kg	180	1280	230400
- Compuerta principal de Fe con izaje de tornillo	Kg	250	7040	1760000
- Compuerta de limpieza de acero, plancha negra	Kg	120	7040	<u>844800</u>
Subtotal O.C.				I/.17716432
Transporte de materiales	Kg	3000	240	<u>734400</u>
Subtotal				
Partida 7.1 :				I/.18450832

## C O S T O S

Part.	Descripción	Unid.	Cant.	Unit.	Total
7.2	<u>O.C. Tubería Forzada</u> <u>y Casa de Máquinas</u>				
7.2.1	- Excavación para apoyos y anclajes	m <sup>3</sup>	2.56	3168	8112
7.2.2	- Apoyos y anclajes en concreto armado de f' $\geq$ 280Kg/cm <sup>2</sup> incl. encofrado	m <sup>3</sup>	15.52	100848	1565168
7.2.3	- Excavación cimien tos casa de máqui nas	m <sup>3</sup>	7	3168	22176
7.2.4	- Cimentación de concreto ciclajes	m <sup>3</sup>	18	54000	972000
7.2.5	- Fundaciones de turbina-generator, caja reductora en concreto f' $\geq$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> incl. enco frado	m <sup>3</sup>	2.5	94288	235728
	- Edificación de Casa de máquinas incluyendo:				
	- Pisos: Cemento				

bruñido

- Muros: ladrillo
- Puertas y ventanas:  
metal
- Acabado: simple
- Techo: tijeral  
metálico y calamina

L=7.5 Ancho=4.5m m² 33.75 240000 8100000

## 7.2.6 Canal de Descarga

. Excavación m³ 57.6 3168 182480

. Muros y solera

en concreto

simple m³ 14.4 24912 258736

Subtotal O.C: I/.11444400

7.2.7 Transporte Kg 3000 240 720000

Subtotal

Partida 7.2: I/.12164400

## C O S T O S

Part.	Descripción	Unid.	Cant.	Unit.	Total
<b>7.3 <u>Equipamiento Elec-</u></b>					
<b><u>tromecánico</u></b>					
<b>A. <u>Tubería Forzada</u></b>					
<b>7.3.1 Tubería de presión en</b>					
<b>acero SIDER PERU</b>					
<b>PG-E21 ,0.8mx</b>					
<b>0.25"x24m long.</b>					
		m	24	1101344	26432256
<b>7.3.2 Tubería de airea</b>					
<b>ción</b>					
		pz	01	128000	128000
<b>7.3.3 Montaje de la tu</b>					
<b>bería y Pruebas</b>					
		m	24	326528	7836672
<b>7.3.4 Transporte</b>					
		m	24	28640	687360
<b>B. <u>Casa de Máquinas</u></b>					
<b>7.3.5 Turbina hidráulica</b>					
<b>Michel-Banki</b>					
<b>Q=0.97m<sup>3</sup>/s.</b>					
<b>Hn=12.07m</b>					
<b>RPM=350 P=78 Kw</b>					
		pz	01		
<b>- Generador Síncrono</b>					
<b>87.5KVA, 380v,</b>					
<b>1200 RPM, 30</b>					
		pz	01		
<b>- Caja multiplica</b>					



dora 1200/353 RPM

80Kw, incluyendo

acoplamientos pz 01

- Regulador de velocidad hidromecánico

Woodward pz 01

- Tablero de Control y Medición: conteniendo:  
Int. termomag; Transfs  
de C. y T. Instrumentos:  
A, V, Kw, Kwh, hz,  
cos ( )

cto 01 -- 249602240

#### 7.3.6 Tablero de protección y Señalización

- Relé de sobrecorriente
- Relé de sobre carga
- Relé de sobre tensión
- Relé de falla a tierra

estator pz 01 -- 10880000

#### 7.3.7 Tablero de salida a

S.E. Elevadora conteniendo:  
seccionador fusible B.T;  
relé de sobrecorriente  
a tierra en la red de

10 K pz 01 -- 3840000

## 7.3.8 Tablero de Servicios

Auxiliares: transformador  
de potencia 10 KVA, seccionador fusible a interruptores termomagnéticos

pz 01 -- 1920000

## 7.3.9 Válvula mariposa

d=0.8m con contrapeso

pz 01 -- 10400000

## 7.3.10 Teclé manual de 1.5Tn

montado sobre perfil

"I" 125x250mm para montaje y mantenimiento

pz 01 -- 2000000

Subtotal Suministros

I/.313726528

## 7.3.11 Montaje

15680000

## 7.3.12 Transporte

Kg 5000 240 1200000

Subtotal Partida 7.3:

I/.330606528

## C O S T O S

Part.	Descripción	unid.	Cant.	Unit.	Total
7.4	<u>Equipamiento de Sub estaciones</u>				
A.	<u>Subestación de Salida</u>				
7.4.1	Transformador de Potencia 100 KVA 10/ 0.38 Kv; YN d11	un	01	12251200	12251200
7.4.2	Cortacircuitos Fusi bles (cut-outs) 10Kv, 100 A	pz	03	217600	652800
7.4.3	Pararrayos autoval vulares 10 Kv con puesta a tierra	pz	03	305600	916800
7.4.4	Aisladores pin Clase NEMA 55-4, 10KV	pz	03	34528	103584
7.4.5	Poste C.A.C. 11/300/140/305	pz	02	352000	704000
7.4.6	Cruceta de madera de 4 1/2"x4 1/2"x 2.40m	pz	03	39888	119664
7.4.7	Pines para aislado res 5/8 con tuerca, arandela y				

contratuerca	pz	03	25936	77808
7.4.8 Puesta a tierra para el transformador incluyendo dispersores y conductor 10 mm <sup>2</sup>				
conductor 10 mm <sup>2</sup>	Un	01	307040	307040
7.4.9 Conductor de amarre No.8 AWg				
No.8 AWg	m	03	2400	7200
7.4.10 Grampas para conductor de Cu, 16 mm <sup>2</sup>				
tor de Cu, 16 mm <sup>2</sup>	Un	03	4510	13680
7.4.11 Loza de concreto				
Loza de concreto	m <sup>2</sup>	0.9	19968	17968
7.4.12 Cerca protectora perimetral en malla metálica, con puerta				
perimetral en malla metálica, con puerta	Un	01	--	208000
7.4.13 Ferretería:				
- Perno maquinado 5/8"x8" con tuerca y contratuerca				
5/8"x8" con tuerca y contratuerca	Un	02	6512	13024
- Brazo L 1/2"x1/2"x 5/16x0.70m				
Brazo L 1/2"x1/2"x 5/16x0.70m	Un	04	5696	22784
- Perno de coche 3/8" x12 c.t				
3/8" x12 c.t	Un	04	5312	21248
- Tirafondo de 1/2"x 4"				
Tirafondo de 1/2"x 4"	Un	04	1856	7424
- Perno maquinado 5/8" x12 con arandela cuadrada				
5/8" x12 con arandela cuadrada	Un	02	2384	16768

7.4.14 B. Subestaciones de  
Distribución

7.4.15 Poste de C.A.C. 11m

300 Kg Un 04 352000 1408000

7.4.16 Crucetas de madera

de 41/2"x41/2"x1.20m Un 04 39888 159552

7.4.17 Travesaño de concreto

embonable en poste de

11m Un 02 56000 112000

7.4.18 Plataforma de concre

to para transformador

embonable en poste de

concreto de 11m pz 02 80000 160000

7.4.19 Caja para tablero de

B.T. con abrazadera

de fijación pz 02 48000 96000

7.4.20 Contactores 220v,

25A pz 02 19200 38400

7.4.21 Seccionadores fusi

bles BBC In=100A

con fusibles NH

pz 04 72000 288000

7.4.22 Contadores de

Energía Activa

pz 02 174400 348800

7.4.23 Fotocélulas 220v

pz 02 64000 128000

7.4.24 Aisladores tipo

Pin 10Kv, NEMA

55-4	pz	12	34528	414336
7.4.25 Pines de acero con tuerca y contra tuerca	pz	12	25936	311232
7.4.26 Grampas para con ductor 10mm <sup>2</sup> de cobre	pz	06	4560	27360
7.4.27 Corta-circuitos fusibles cut-outs	pz	06	217600	1305600
7.4.28 Transformadores de Potencia: 50KVA 10/0.38/.22Kv Dyu5	Un	01	--	8116800
75KVA 10/0.38/.22Kv Dyn5	Un	01	--	10624800
7.4.29 Pararrayos con sus elementos de fijación	Un	01	305600	1824000
7.4.30 Puesta a tierra de Protección: disper sor de varilla 5/8"x2.40m con grampa	Un	02	307040	614080
7.4.31 Pta. a tierra de funcionamiento vari lla 3/4"x4m/lado	Un	02	403040	806080
7.4.32 Conductor para				

puesta a tierra					
10 mm <sup>2</sup> (24mxS.E)	m	48	1920	92160	
7.4.33 Conductor de amarre					
No.8 Awg (8mxS.E)	m	16	2400	384000	
7.4.34 Conductor NYY					
4x16m <sup>2</sup> para conexión					
del transformador con					
el tablero de B.T.	m	10	20800	208000	
7.4.35 Ferrería:					
- Perno 5/8" x8"					
con tuerca	Un	04	6512	26048	
- Brazo "L" 1/2"x					
1/2"x5/16"x0.70	Un	04	5696	22784	
- Perno de coche					
3/8" x12" c.t.	Un	04	5312	21248	
- Tira fondo					
1/2"x4"	Un	08	1856	14848	
- Perno maquinado					
5/8" x12	Un	04	8384	<u>33536</u>	
Subtotal Suministro				I/.42048160	
7.4.36 Montaje				4080000	
7.4.37 Transporte	Kg	5000	240	<u>1200000</u>	
Subtotal Partida 7.4:				I/.47328160	

## C O S T O S

Part.	Descripción	Unid.	Cant.	Unit.	Total
<b>7.5 Red Primaria</b>					
<u>Armados de alineamiento:</u>					
<b>7.5.1 Postes de C.A.C.</b>					
	11m, 200 Kg	Un	24	336000	8064000
<b>7.5.2 Cruceta de madera</b>					
	41/2x41/2x1.20m	Un	24	39888	957312
<b>7.5.3 Aisladores tipo pin</b>					
	clase NEMA 55-4	Un	72	34528	2486016
<b>7.5.4 Pines de acero con</b>					
	tuerca y arandela	Un	72	25936	1867392
<b>7.5.5 Ferrería:</b>					
	- Perno maquinado				
	5/8"x8 con tuerca	pz	24	6512	156288
	- Brazo L 1/2"x1/2"x				
	5/16"x0.70m.	pz	48	5696	273408
	- Perno de coche 3/8				
	x12" con tuerca	pz	48	5012	254976
	- Tira fonde de 1/2"				
	x4	pz	24	1856	44544
	- Perno maquinado				
	5/8" x12 con				
	tuerca	pz	24	8384	201216
<u>Armados de Angulo</u>					
<u>(0-25°)</u>					



7.5.6 Postes de C.A.C. 11m, 300 Kg	Un	09	352000	3168000
7.5.7 Aisladores de suspen sión clase NEMA 52-3	pz	27	54240	1464480
7.5.8 Grampas de suspensión en ángulo	pz	27	31648	854496
7.5.9 Adaptador horquilla- bola	Un	27	10240	276480
7.5.10 Adaptador casquillo ojo	Un	27	9968	269136
7.5.11 Conector de enganche	pz	27	10240	276480
7.5.12 Ferrería y Retenida				
- Perno con ojo de 5/8" x10" con tuerca, arandela y contratuerca	pz	27	6512	175824
- Cable de acero gal 3/8	mt	80	5232	418560
- Templador 1/2" x 10"	pz	09	38560	351360
- Varilla de anclaje 5/8" x1.8m	Un	09	34272	308448
- Loza de concreto	Un	09	39888	358992
- Aislador de tracción de 3 1/2" clase NEMA				

53-2	pz	09	8480	76320
- Guarda cable y cana				
leta de protección	pz	09	40112	361008
7.5.13 Conductor de cobre				
desnudo de 10 mm <sup>2</sup>	m	6800	1728	<u>11750400</u>
Subtotal suministro				I/.34409216
7.5.14 Montaje armado de				
alineamiento: poste,				
cruceta, aisladores,				
pin y ferretería	Un	24	215744	5177856
7.5.15 Montaje armado de				
ángulo: poste, ais				
ladores y retenida	Un	09	313840	2824560
7.5.16 Montaje conductor				
de Cu 10 mm <sup>2</sup>	m	6800	1200	<u>8160000</u>
Subtotal montaje:				I/.16162416
7.5.17 Transporte de postes	Kg	25410	160	4065660
7.5.18 Transporte conductor	Kg	612	160	97920
7.5.19 Transporte de mate				
riales	Kg	1500	160	<u>240000</u>
Subtotal transporte				<u>I/.4403200</u>
Subtotal partida 7.5:				I/.54975152

## C O S T O S

Part.	Descripción	Unid.	Cant.	Unit.	Total
7.6	<u>Redes Secundarias</u>				
7.6.1	Postes de C.A.C de 7m, 200 Kg	Un	50	186224	9311206
7.6.2	Pastorales de con creto armado Sucre "C" simples	Un	42	40176	1687392
7.6.3	Idem dobles	Un	08	54320	434560
7.6.4	Portalíneas de 5 carretes con abraza dera	Un	50	3600	180000
7.6.5	Aisladores de por celana tipo carrete clase ANSI 53-1	Un	250	2720	680000
7.6.6	Retenidas simples compuestas de:				
	- Cable de acero gal. 5/8"x11mt				
	- Varilla de anclaje 5/8"x1.8m				
	- Canaleta guardacable de 2.40m				
	- 2 guardacabos para ca ble de 3/8"				
	- 4 mordazas de ranuras				

paralelas

- 1 aislador de tracción  
de 3 1/2" clase 53.2
- Bloque de anclaje de  
50x50x15cm con plancha  
de fierro 0.25x0.25x

1/4" jgo 09 214768 1932912

7.6.7 Conductor de cobre

tipo WP 10 mm<sup>2</sup> m 5800 1728 10022406

7.6.8 Conductor de cobre

tipo W.P, 16 mm<sup>2</sup> m 1300 4160 5408006

7.6.9 Conductor bipolar

2x2.5mm<sup>2</sup> tipo NLT  
flexible para conexión  
a lámparas m 200 2400 480000

7.6.10 Conductor de Cu

para amarre tipo TW  
4 mm<sup>2</sup> m 1250 640 800000

7.6.11 Luminarias Josfel

MRH-64 con lámparas  
de vapor de mercurio  
80W y equipo de  
arranque jgo 58 218208 12656064

7.6.12 Portafusible de lo

za de 15 amp con  
fusible de 3 amp

258

tipo aéreo	jgo	58	3440	199520
<u>Conexiones Domi-</u>				
<u>ciliarias</u>				
7.6.13 Conductor de Cu				
bipolar con aislam				
iento de PVC				
2x4 mm <sup>2</sup>	m	750	2848	2136000
7.6.14 Caja metálica porta				
medidor en F.G.tipo				
"L" de 1.3mm de es				
pesor de				
450x185x175mm incluye				
portafusible tipo "C"				
monofásico de 10 A y				
tablero de madera	cto	89	30480	2712720
7.6.15 Accesorios:				
Acometida				
- 2 templadores de				
Fe.G				
- Armella tirafondo				
3/4" x2"				
- 1 tubo PVC-SAP				
3/4"x3m				
- 1 tarugo de madera	jgo	89	13968	<u>1243152</u>
Subtotal suministro:			I/.49883920	
7.6.16 Montaje				8578368

259

7.6.17 Transporte	Kg 4000	240	<u>960000</u>
Subtotal Partida 7.6:			I/.59422288

## CAPITULO 8

### ESTUDIO ECONOMICO

#### 8.1 Criterio Económico

Cuando se trata de cubrir una demanda de electricidad por medio de una pequeña central hidroeléctrica, ésta se debe confrontar con otras alternativas como son : una central térmica diesel ó la interconexión con una red existente. En nuestro caso no existe la posibilidad de interconexión con alguna red, quedando como única alternativa a la P.C.H. un grupo térmico diesel.

Dado el momento económico del país todas las evaluaciones económicas las realizaremos en moneda extranjera, dólares americanos considerando una tasa de cambio de 1 dólar=1/.3,200 a Mayo de 1989. Calcularemos los principales indicadores de rentabilidad económica de proyectos de este tipo como son: el C.A.E., Costo Anual Equivalente y el Costo del Kilovatio-Hora producido. Estos indicadores requieren que los valores esten expresados en Valor Presente. El C.A.E. varía en función de la tasa de descuento. Se considera que esta tasa refleja el costo de oportunidad del capital para la economía. El criterio recomendado para este tipo de proyectos por agencias internacionales como el A.I.D. varía entre el 8% y el 15%, considerando el

valor más bajo como una tasa social y los valores más altos como tasa de rendimiento financiera. Para el presente caso adoptaremos como tasa de descuento 8%

El punto del tiempo designado es el presente y es aquel en el que se hacen los primeros desembolsos significativos de capital, cuando se inicia la construcción. Para evaluar estos indicadores es necesario conocer la energía producible, los beneficios obtenidos por la venta de esta energía, los costos de inversión, operación y mantenimiento para las dos alternativas a lo largo del horizonte de estudio del proyecto.

## 8.2 Costos de la Alternativa Hidraulica

Los costos de la central hidraulica estan constituidos por :

### 8.2.1 Costos de Inversión

Realizados en el año cero, 1989, y comprenden las Obras Civiles, Equipos Electromecánicos, Subestaciones y Redes de Distribución como se calculó en el capítulo 7 y ascienden a :

Costos de Inversión: \$ 179,763

### 8.2.2 Costos de Operación y Mantenimiento

Comprenden los costos de mano de obra operativa, administrativos y mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos



electromecánicos. Estos costos son variables a lo largo del tiempo. En proyectos de este tipo son generalmente el 1% del monto de la inversión por año y sufren un incremento anual con una tasa del 1% debido al incremento de la mano de obra.

### 8.2.3 Costo de Depreciación

Emplearemos el método lineal distribuyendo su costo de inversión en montos uniformes a lo largo de los 20 años.

$$\text{Costo de Depreciación Anual} = \frac{\$ 179,763}{20} = 5992$$

En el cuadro No. 8.1 se muestran los costos para cada año, el factor de actualización referido al año cero; considerando una tasa de descuento  $a=8\%$  y los costos totales referidos al año cero. Las expresiones empleadas para calcular el costo anual total actualizado son las siguientes:

- a) Costo de Inversión:  $CI = 179,763$
- b) Costo de Op. y Mant.:  $COM_i = 0.1 \times CI \times (1.10)^i$
- c) Costo de Deprec.:  $CD = 5992$
- d) Costo anual total:  $CA_i = COM_i + CD_i$
- e) Factor simple de Actualización :  $FSA_i = \frac{1}{(1+a)^i}$
- f) Costo anual Actualizado :  $CAA_i = CA_i \times FSA_i$

Cuadro 8.1 COSTO ACTUALIZADO DE LA ALTERNATIVA HIDRAULICA EN US \$

Año	Período	COSTO INVERSION	COSTO OP. y MANT.	COSTO DE DEPRECIACIO	COSTO TOT. ANUAL	FACTOR DE COSTO ANUAL ACTUALIZ. ACTUALIZADO	
1989	0	179763					179763
1990	1	-	1816	5992	7808	.926	7229
1991	2	-	1834	5992	7826	.857	6709
1992	3	-	1852	5992	7844	.794	6227
1993	4	-	1871	5992	7863	.735	5779
1994	5	-	1889	5992	7881	.681	5364
1995	6	-	1908	5992	7900	.630	4978
1996	7	-	1927	5992	7919	.583	4621
1997	8	-	1947	5992	7939	.540	4289
1998	9	-	1966	5992	7958	.500	3981
1999	10	-	1986	5992	7978	.463	3695
2000	11	-	2006	5992	7998	.429	3430
2001	12	-	2026	5992	8018	.397	3184
2002	13	-	2046	5992	8038	.368	2956
2003	14	-	2066	5992	8058	.340	2744
2004	15	-	2087	5992	8079	.315	2547
2005	16	-	2108	5992	8100	.292	2364
2006	17	-	2129	5992	8121	.270	2195
2007	18	-	2150	5992	8142	.250	2038
2008	19	-	2172	5992	8164	.232	1892
2009	20	-	2193	5992	8185	.215	1756
COSTO ACTUALIZADO TOTAL							\$257,740

g) Costo Total Actualizado  
de la Alternativa Hidraulica:

$$CTA_H = \sum CAA_1$$

### 8.3 Costos de la Alternativa Térmica

La alternativa térmica esta constituida por un grupo diesel de potencia equivalente o similar a la de la turbina hidraulica. En nuestro caso el grupo más cercano es de 75 Kw el cual podría satisfacer las mismas necesidades de energía y potencia que la central hidroelectrica. El tiempo de vida útil se fija en 20 años.

8.3.1 <u>Costos de Inversión</u>	US \$
a) Costo CIF del grupo diesel incluyendo generador y tableros	26,630
b) O.Civiles,tanque de combustible	2,159
c) Montaje electromec.	1,800
d) Transporte	2,518
e) G.G. y Ut.	2,878
Subtotal C.Térmica:	<u>\$ 35,985</u>
f) Subestaciones de distribución	16,270
g) Redes primarias y sec.	39,322
COSTO TOTAL DE INVERSION	
CENTRAL TERMICA:	\$ 91,577

### 8.3.2 Costos de Operación y Mantenimiento

Comprenden los costos de mano de obra de los operadores, los costos administrativos, y el mantenimiento preventivo y correctivo. En las centrales diesel este costo anual es generalmente del orden del (4-10)% del costo de inversión, sufriendo un incremento anual del 1% por aumento en el costo de la mano de obra. Para el presente proyecto adoptaremos que este costo representa el 7% del costo de inversión.

#### 8.3.3 Costos de Combustible y Lubricantes

Para este cálculo se considera que el grupo electrógeno usa combustible: petróleo diesel No. 2, con un rendimiento de 10 Kw/gl. El costo del galón de petróleo lo consideramos en \$ 0.32. El costo de los lubricantes se considera como el 20% del costo del combustible.

#### 8.3.4 Costos de Depreciación

Emplearemos el método lineal distribuyendo el costo de inversión a lo largo de los 20 años.

Costo anual de depreciación:

$$\text{US \$ } \frac{91,597}{20} = 4,578$$

Todos los costos anuales actualizados para la alternativa térmica se encuentran en el cuadro No. 8.2

#### 8.4 Evaluación Económica

La selección de la alternativa más conveniente será la que tenga el C.A.E. menor. Este indicador es la anualidad financieramente equivalente al C.T.A., Costo Total Actualizado y se calcula con las expresiones siguientes:

$$CAE = \frac{CTA \times 0.08}{1 - (1.08)^{-20}}$$

donde: CAE: Costo anual equivalente

CTA: Costo Total Actualizado

FRC: factor de recuperación del capital en 20 años a una tasa de 8%.

Así tenemos:

$$CAE_H = \frac{257,745 \times 0.08 \times (1.08)^{20}}{(1.08)^{20} - 1} = \$26,251.90$$

Para la alternativa térmica:

$$CAE_T = \frac{343,445 \times 0.08 \times (1.08)^{20}}{(1.08)^{20} - 1} = \$34,980.60$$

Vemos entonces que la alternativa hidraulica es la de menor costo anual equivalente razón por la cual se escoge ésta.

$$\$ 26,251.90 < \$ 34,980.60$$

CUADRO 8.2 COSTO ACTUALIZADO DE LA ALTERNATIVA TERMICA EN US \$

ANO	PERIODO	COSTO DE INVERSION	COSTO DE OP. y MANT.	COSTO DE COMBUST.	COSTO DE DEPRECIAC.	COSTO TOT. ANUAL	FACTOR DE ACTUALIZ.	COSTO TOT. ACTUALIZADO
1989	0	91577		--		--	--	91517
1990	1	-	6474	2793	4578	13845	.926	12819
1991	2	--	6539	2961	4578	14077	.857	12069
1992	3	--	6604	3140	4578	14322	.794	11369
1993	4	--	6670	3334	4578	14582	.735	10718
1994	5		6737	3544	4578	14859	.681	10112
1995	6	--	6804	3773	4578	15155	.630	9550
1996	7	--	6872	4022	4578	15473	.583	9028
1997	8	--	6941	4296	4578	15815	.540	8544
1998	9	--	7011	4595	4578	16184	.500	8096
1999	10	--	7081	4925	4578	16583	.463	7681
2000	11	--	7151	5287	4578	17017	.429	7298
2001	12	--	7223	5710	4578	17511	.397	6954
2002	13		7295	6128	4578	18001	.368	6619
2003	14	--	7368	6614	4578	18560	.340	6319
2004	15		7442	7152	4578	19172	.315	6044
2005	16	--	7516	7748	4578	19842	.292	5792
2006	17	--	7591	8406	4578	20576	.270	5561
2007	18	--	7667	9136	4578	21381	.250	5351
2008	19	--	7744	9944	4578	22267	.232	5159
2009	20	-	7821	10841	4578	23241	.215	4986
COSTO ACTUALIZADO TOTAL								\$343,445

### 8.5 Precio de venta del Kw-hora Producido

Por definición el **precio** de venta actualizado del Kw-hr vendido es igual al cociente del costo actualizado total entre la producción de energía actualizada, que en nuestro caso será para la alternativa hidraulica:

$$h = \text{CTA} / E \quad \text{donde:}$$

h: precio de venta del Kw-hr en US\$

CTA: costo total actualizado

E: Energía vendida actualizada, kw-hr

Previamente calculamos la energía actualizada total:

$$E = E_1 \times \text{FSA}_1 \quad \text{donde:}$$

E: energía total actualizada

E<sub>1</sub>: energía producida cada año

FSA: factor simple de actualización

En el cuadro No. 8.3 podemos ver los valores de energía actualizados.

Cuadro No. 8.3

## ENERGIA ACTUALIZADA

AÑO	ENERGIA	FSA	ENERGIA ACT.
1989	-----	-----	-----
1990	72729	0.926	67347
1991	77079	0.857	66074
1992	81776	0.794	64930
1993	86821	0.735	63813
1994	92290	0.681	62849
1995	98245	0.630	61894
1996	104746	0.583	61067
1997	111863	0.540	60406
1998	119670	0.500	59835
1999	128248	0.463	59379
2000	137689	0.429	59069
2001	148693	0.397	59031
2002	159571	0.368	58722
2003	172247	0.340	58564
2004	186258	0.315	58671
2005	201758	0.292	58913
2006	218915	0.270	59480
2007	237919	0.250	59480
2008	258980	0.232	60083
2009	282332	0.215	60701



Energía Total Actualizada = 1'219,935 Kw-hr

Luego el precio de venta económico del Kw-hr debería ser:

$$h = \frac{\text{US } \$ 257,745}{1'219,935 \text{ Kw-hr}}$$

$$h = 0.21 \text{ \$/Kw-hr}$$

$$h = 0.21 \text{ \$/ Kw-hr}$$

### 8.6 Fondo de Compensación

Dado el bajo nivel socioeconómico de la localidad de Iquipí; no esta ni estará en condiciones de pagar este monto por la energía producida. Por esta razón Electroperu y las empresas regionales de energía han creado un fondo de compensación con objeto de cubrir los costos de las empresas, sistemas o centrales cuyo Kw-hr sea muy caro para el público usuario. Este fondo esta constituido por los excedentes de los beneficios de venta de energía en las empresas más grandes del país y con mayor potencia hidroeléctrica instalada.

Actualmente el precio de venta del Kw-kr esta fijado en 0.03 \\$/Kw-hr para el departamento de Arequipa, razón por la cual deberá ser asumida la diferencia es decir 0.18 \\$/Kw-hr por este fondo de

compensación.

CONCLUSIONES

1.- Los principales indicadores del mercado eléctrico son:

Consumo doméstico anual de energía por abonado:

AÑO	KW-HR
1	18
15	29
20	34

2.- Calificación eléctrica calculada por lote:

270 vatios/lote

3.- El costo del Kw instalado es de \$ 2,568, valor que esta comprendido dentro del rango internacional para pequeñas centrales hidroeléctricas. Comprende la central, las subestaciones y las redes de distribución primaria y secundaria.

4.- El precio de venta económico de la energía es de 0.21 \$/Kw-hr, valor que es considerado elevado para el nivel socioeconómico de la población que servirá la central; razón por la cual se deberá operar con transferencia de fondos del gobierno central.

5.- Selección del tipo de turbina: de las dos alternativas posibles, Francis o Michel-Banki; se ha optado por la segunda por la simplicidad

de su fabricación y mantenimiento comparada con la turbina Francis.

6.- La construcción de la P.C.H. de Iquipí representa la alternativa económicamente más conveniente para la satisfacción de la necesidad de energía de este poblado, comparada con las otras que son: un grupo diesel o una interconexión con un sistema eléctrico.

7.- Como consecuencia de la construcción de la central el nivel socioeconómico del poblado y de las zonas rurales circundantes se vera incrementado al poder crearse talleres artesanales o pequeñas industrias relacionadas a la actividad agropecuaria como podrían ser : curtiembres, pequeños molinos de granos, fábricas de queso, envasadoras de mermelada, etc.

De igual forma incidiría en el mejoramiento de la educación pública pudiendo ampliarse a turnos de noche o permitiendo que los campesinos puedan tecnificarse recibiendo cursos fuera de hora de faena agrícola.

RECOMENDACIONES

- 1.- Con objeto de reducir los costos de la construcción se deberá recurrir a la mano de obra local en lo posible para la ejecución de las obras civiles y hidráulicas.
- 2.- Con objeto de reducir los costos de inversión y la dependencia de la tecnología extranjera se deberá emplear en lo posible equipamiento electromecánico nacional siendo los únicos equipos de importación la turbina hidráulica, el regulador de velocidad y los equipos de maniobra, protección y medición.
- 3.- El financiamiento que se obtenga para este proyecto deberá ser gestionado en lo posible ante entidades financieras que promuevan el desarrollo y que otorguen créditos blandos contemplando períodos de gracia.
- 4.- Los contratos de suministro de equipos deberán contemplar la formación del personal de operación y mantenimiento y la entrega de todos los documentos técnicos necesarios para la buena operación de la central.
- 5.- El fabricante deberá suministrar conjuntamente con los equipos los principales repuestos que permitan la operación continuada de la central; así como también las herramientas especializadas para el montaje y mantenimiento de los equipos de la

central.

- 6.- Siendo de gran importancia para la operación de la central y la seguridad de los operadores las obras hidráulicas deberán tener un mantenimiento muy cuidadoso con objeto de evitar inundaciones.

## B I B L I O G R A F I A

1. BBC  
Manual de las Instalaciones de Distribución de  
Energía Eléctrica. Urmo S.A. de Ediciones 1983
2. CEAC Ediciones  
Enciclopedia CEAC de Electricidad
3. Cod. Nac. de Elec.  
Tomos I, IV, y v.
4. Coz P. A.  
Turbinas Hidráulicas Parte I  
Primer Curso Latinoamericano sobre Diseño de P.C.H.
5. Coz P.A.  
Turbinas Hidráulicas de Flujo Transversal IV  
CONIMERA
6. CROCHIN SUIATOSLAV  
Diseño Hidráulico Ed. Universidad Central del Ecuador  
1983.
7. Chávez O.  
Subestaciones de Distribución de Energía Eléctrica  
Electrolima 1980.
8. Electroperú S.A.  
P.S.E. Cotahuasi Estudio Definitivo para la Ejecución  
de Obras. Isea Consultores 1984.
9. Electroperú S.A.  
CEPOCAP. Elaboración de Proyectos de Obras Civiles en

Electrificación de Pequeñas Localidades 1979.

10. Enriquez Harper G.

Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas Ed.  
Limusa 1983.

11. ITINTEC

Estandarización de Turbinas Hidráulicas para P.C.H.  
1983.

12. Marks L.

Manual del Ingeniero Mecánico Ed. Mc-Graw Hill. 1985

13. Mataix C.

Mecánica de Fluidos y Maquinaria Hidráulica.

14 .Mukhedar D.

La Ciencia de Puesta a Tierra. AEP

15. Normas DGE

M.E. y M.

DGE 002-P-4/1983: Elaboración y Aprobación de  
Proyectos de Sub-Sistemas de Distribución  
Secundaria, Instalaciones  
de A.P. y Conexiones.

DGE-003-P-5/1983: Ejecución y Recepción de Obras en  
Sub-Sistemas de Distribución Secundaria. Inst. de  
A.P.

y conexiones.

DGE-004A-P-4/1984: Elaboración y Aprobación de  
Proyectos de Subsistemas de Distribución primaria a  
cargo de Empresas Regionales de Electricidad.



DGE-006B-P-1/1984: Ejecución y Control de Obras en Sistemas de Utilización a Tensiones de Distribución primaria.

16. Nozaki T.

Guía para la estimación preliminar de los metrados y costos para la estructura de una Central Hidroeléctrica  
1981.

17. Nozaki T.

Datos para la elaboración de Proyectos de Pequeñas y Medianas C.H. 1981.

18. Ortiz W.

Electrificación Aérea, Subterráneas e Interiores  
1987

19 . Ramirez Roberto

Generadores Asíncronos Autoexcitados para utilización de Microcentrales Hidráulicas. VIII CONIMERA. 1986.

20 . Societé Hydrotechnique de france

Les Petis Amenagements Hydro-electriques. Guide pour la Conception, La realisation La Mise en Service et I'Explotation.

21. Societé Hydrotechnique de France

La Houille Blanche Nuimero 1/2 1986. Petites Centrales Hydroelectriques.

22. Taylor George

Ingeniería Económica Ed. Limusa 1978.

23. Viejo Zubicaray  
Energía Hidroeléctrica Ed. Limusa 1977.
24. Water Power and Dam Construction  
First International Conference on Small Hydropower  
Febrero 1984.
25. Zoppetti G.  
Redes Eléctricas Ed. G. Gili.
26. Zoppetti G.  
Centrales Hidroeléctricas