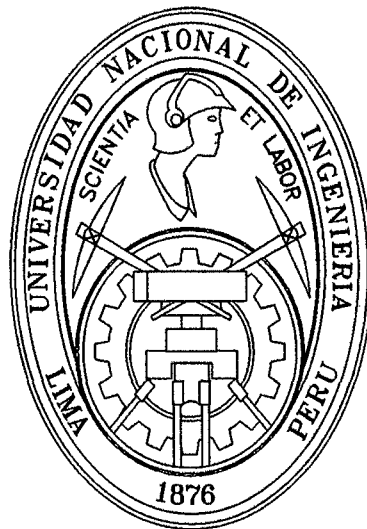


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“ADECUACION DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA YAUPI
PARA SU OPTIMA OPERACIÓN EN CASCADA CON LA
NUEVA CENTRAL HIDROELECTRICA YUNCAN”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

LEONARDO LUIS JUAN DEJO PRADO

PROMOCION 1995-II

LIMA-PERU

2004

Digitalizado por:

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

*Dedicado a mi esposa Karina por ser el motivo de mi vida
y a mis padres Fernando y Estefanía en gratitud a su amor.*

Tabla de Contenido

	Pag
PRÓLOGO	1
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN	4
Antecedentes	4
El Proyecto de Operación en cascada	6
Caudal propuesto	7
Relaciones operativas de la C.H. Yuncán con la operación de la C.H. Yaupi	8
Datos generales de la C.H. Yaupi	10
Ubicación política y geográfica	11
Datos generales del proyecto C.H. Yuncán	12
CAPÍTULO 2	
ASPECTOS GENERALES	17
Objetivos	17
Situación del sistema de conducción de la C.H. Yaupi	18
Pérdidas de carga en el túnel	18
Pérdidas de carga en las tuberías	18
Medición de pérdidas de carga	19
Formulación teórica de las pérdidas de cargas en el sistema de conducción	19
Electroandenes en el mercado eléctrico	24
Descripción del sistema eléctrico	25

Producción de energía eléctrica en el COES-SINAC	28
CAPÍTULO 3	
HIDROLOGÍA	31
Caudales mensuales	31
Transvase Chilac	33
Balance de Energía Firme en el COES	34
Matrices de potencia generable de la	
C.H. Yaupi para diferentes escenarios	35
Curvas de duración	37
CAPÍTULO 4	
ALTERNATIVAS DEL REPOTENCIAMIENTO	54
Eficiencia del equipamiento electromecánico	54
Eficiencia del sistema de conducción	57
Incrementar la capacidad hidráulico e	
instalación de un nuevo grupo generador.....	59
CAPÍTULO 5	
INGENIERÍA Y ESTIMACIÓN DE COSTOS DE	
LAS ALTERNATIVAS	63
Cálculos de la condiciones actuales	63
Cálculo de las pérdidas en el túnel de aducción reparado	65
Cálculo del diámetro de la tubería nueva	69
Costos de cada propuesta	71
CAPÍTULO 6	

EVALUACIÓN ECONÓMICA	81
Resultados económicos de las matrices de potencia generable de la C.H. Yaupi	81
Cálculo de los índices económicos	82
Análisis de sensibilidad	83
CAPÍTULO 7	
CONCLUSIONES	89
Bibliografía	91
Apéndice 1	93
Apéndice 2	106
Apéndice 3	108

PROLOGO

El presente tema de tesis desarrolla el estudio que nos permitirá seleccionar la condición más apropiada de repotenciamiento de la Central Hidroeléctrica Yaupi para aprovechar la operación en cascada con la nueva Central hidroeléctrica Yuncán.

En el capítulo 1, se citan los antecedentes del presente tema de tesis, en el cual se describe proyectos de nuevas centrales hidroeléctricas y la futura relación de operación de la C.H. Yaupi con la C.H. Yuncán. De igual manera se indican las justificaciones y razones por las cuales se optó la realización del presente estudio. Así mismo se realiza una descripción detallada de la C.H. Yaupi y la nueva C.H. Yuncán.

En el capítulo 2, se describen los objetivos y las consideraciones que se deben tener en cuenta para la compatibilización de las dos centrales ya mencionadas. En el capítulo 3, se presentan los datos de caudales mensuales históricos, naturalizados y regulados teóricos actual y en cascada, así como el proyecto del transvase Chilac. Toda esta información será utilizada para el desarrollo de las matrices de potencia generables que nos permitirá obtener los perfiles de generación mensual repartido en

bloques horarios y el desarrollo de las curvas de duración que nos permite conocer el porcentaje de tiempo anual en que se tendrá disponible el caudal esperado.

En el capítulo 4, se describen las propuestas para la adecuación a fin de minimizar los efectos de reducción de energía anual con la operación en cascada.

En el capítulo 5, se realizan los cálculos de eficiencia del equipamiento turbina + generador, el cálculo de las pérdidas en el túnel de aducción reparado y del nuevo. Adicionalmente se presentan los costos considerados en el proyecto de “Repotenciamiento de la C.H. Yaupi”.

En el capítulo 6, se hace la evaluación económica de todas las posibles alternativas que nos permitirán seleccionar desde el aspecto económico la condición más apropiada para la operación de la C.H. Yaupi con la C.H. Yuncán. En dicha evaluación se calculan el valor actual neto (VAN), la relación beneficio-costos (B/C) y la tasa interna de retorno (TIR).

En el capítulo 7, se desarrollan las conclusiones a las que se llegan al finalizar el presente estudio, tomando en cuenta los análisis económicos y técnicos.

Es deseo del autor, que el presente estudio permita a la empresa Electroandes S.A. tener una visión de las deficiencias operativas y las necesidades de la C.H. Yaupi para su operación en cascada con la C.H. Yuncán, así como del capital que será necesario invertir para lograr una operación óptima.

Para concluir, expreso mi agradecimiento a mis compañeros de la Empresa de Electricidad de los Andes S.A., por el significativo aporte en la realización de la presente tesis.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Con la ejecución del proyecto hidroenergético C.H. Yuncán, se inicia una red de Centrales Hidroeléctricas en cascada planeadas para la zona central del país.

Las Centrales en cascada estarían conformadas en orden descendente con respecto al recorrido del agua por las siguientes:

C.H. Uchuhuerta 33 MW (estudio de prefactibilidad)

C.H. Yuncán 130 MW (en ejecución)

C.H. Yaupi 108 MW (en operación)

C.H. El Caño 100 MW (estudio de factibilidad)

En el año 1957 entró en operación la primera etapa de la C.H. Yaupi con las unidades 1, 2 y 3, para el año 1967 la segunda etapa con la operación de

las unidades 4 y 5, haciendo un total de 108 MW instalados, esta central es la más nueva del Sistema Eléctrico de ELECTROANDES S.A., que está conformado además por: C.H. Oroya, C.H. Pachachaca, y la C.H. Malpaso (en lo referente a generación de energía).

El dimensionamiento hídrico y electromecánico actual de la C.H. Yaupi es para 25,6 m³/s nominales, la cual sería una limitante operativa muy seria para la nueva C.H. Yuncán que considera turbinar 30 m³/s nominales.

Cabe señalar que la administración del proyecto Yuncán la realiza la empresa EGECEEN S.A. la cual se conformó de Centromín Perú S.A.

En las figuras No. 1 y 2 se observa la ubicación geográfica y en la figura No. 3 el diagrama en cascada de las centrales correspondientes al presente estudio.

1.2 El proyecto de operación en cascada

El sistema hídrico sometido a estudio es el almacenado en las lagunas Matacocha, Pacchapata, Jaico, Altos Machay, Huangush alto, Huangush bajo y Victoria I, que abastece a la C.H. Yaupi y en el futuro a las centrales antes mencionadas, estos embalses están en concesión de ELECTROANDES S.A.

De la data histórica de caudales regulados de Yaupi, se determina que en promedio sólo 145 días al año la nueva C.H. Yuncán podrá turbinar hasta 30 m³/s. Ello resultaría en un uso ineficiente de los recursos energéticos, contradiciendo los criterios de operación señalados en la Ley de Concesiones Eléctricas, cuyo objetivo es minimizar los costos de operación del sistema eléctrico.

Teniendo en cuenta lo anterior, este estudio propone adecuar la C.H. Yaupi mediante:

$$Q_y \geq Q_{h+u} + Q_a$$

Donde:

Q_y : Caudal en la toma de la C.H. Yaupi.

Q_{h+u} : Caudal turbinado por la C.H. Yuncán.

Q_a : Caudal del área adicional (figura No. 4).

Por lo que, el caudal en la toma de la C.H. Yaupi, aspecto principal de este estudio, debe ser mayor o igual al turbinado por la C.H. Yuncán, cuyo caudal de diseño es 30 m³/s.

Caudal propuesto en el presente estudio

El análisis técnico – económico esta basado en conseguir 10 m³/s de caudal adicional para la C.H. Yaupi, lo que significa incrementar la capacidad de la central en una nueva unidad de generación.

Relaciones operativas de la C.H. Yuncán con la operación de la C.H.

Yaupi

La C.H. Yuncán, es parte de la operación en cascada del sistema hidroeléctrico de Electroandes en la cuenca del río Paucartambo, las relaciones existen desde la etapa de diseño y continuarán durante la operación, tal como se indica a continuación:

- a) Coordinación muy estrecha para la ejecución de las obras civiles en la zona de Yuncán especialmente para conectar el túnel de descarga de la nueva central con la toma de la C.H. Yaupi de propiedad de ELECTROANDES S.A.
- b) El sistema de transmisión 138 kV Yaupi - Carhuamayo de ELECTROANDES, será modificado a 220 kV entre Yuncán y Carhuamayo, incorporándose nuevas instalaciones de EGECEN S.A.
- c) Utilizará el mismo sistema hídrico de la C.H. Yaupi conformando un sistema en cascada lo que obligará a una operación estrechamente coordinada de ambas centrales para optimizar el uso del recurso.
- d) La casa de máquinas estará ubicada a 12 km aguas arriba de la C.H. Yaupi, con descarga directa al desarenador de esta central.

- e) La construcción de la represa Huallamayo (300 000 m³ de capacidad útil), convertirá además de la C.H. Yuncán, la C.H. Yaupi en una central de regulación horaria dándole valor agregado a la energía generada.
- f) El desarrollo de lagunas (Chilac, 50 millones de m³) previsto en este proyecto, incrementará el volumen de almacenamiento de los recursos hídricos, el cual también será aprovechado para elevar la producción de energía en la C.H. Yaupi incrementando su potencia firme.
- g) La ejecución de las obras civiles y electromecánicas durante la construcción de la C.H. Yuncán, tendrán que ser coordinados con la operación de la C.H. Yaupi, a fin de minimizar el efecto de las interferencias con pérdidas de producción en esta Central Hidroeléctrica.
- h) La energía generada por las centrales de Yaupi y Yuncán se recibirá en una barra común en 220 kV, ubicada en la subestación Santa Isabel a construirse como parte del Proyecto C.H. Yuncán.

Datos generales de la C.H. Yaupi

Las características de la C.H. Yaupi, se muestran a continuación:

Potencia instalada	108 MW
Caudal nominal	25,6 m ³ /s
Altura Bruta	527 m
Embalse estacional	69 Mio m ³
Cuenca	1 576,2 m ²
Energía media anual	818 GWh
Unidades	5
Tipo de unidades	Pelton
Numero de chorros	2
Puesta en servicio	
1ª Etapa	1957
2ª Etapa	1967

Ubicación política y geográfica

La C.H. Yaupi, políticamente está ubicada en el centro poblado menor de Yaupi, distrito de Ulcumayo, provincia y departamento de Junín, Perú.

Geográficamente está ubicada en las siguientes coordenadas:

Longitud	75° 32' 15" O
Latitud	10° 44' 23" S
Altitud	1 327 m.s.n.m.

Datos generales del proyecto C.H. Yuncán

La Central Hidroeléctrica Yuncán se encuentra en construcción, la fecha prevista para su puesta en servicio es agosto del 2004. La central se encuentra ubicada en el departamento de Pasco, provincia de Pasco en el distrito de Paucartambo.

Las características de esta central se mencionan a continuación:

Potencia instalada	130 MW
Caudal nominal	30 m ³ /s
Altura Bruta	552 m
Embalse horario	300 000 m ³
Embalse estacional	69 Mio m ³
Cuenca	1 340,5 m ²
Energía media anual	905 GWh
Unidades	3
Tipo de unidades	Pelton
Numero de chorros	4
Puesta en servicio	2004

Figura No. 1
Ubicación Geográfica de la Zona de Estudio

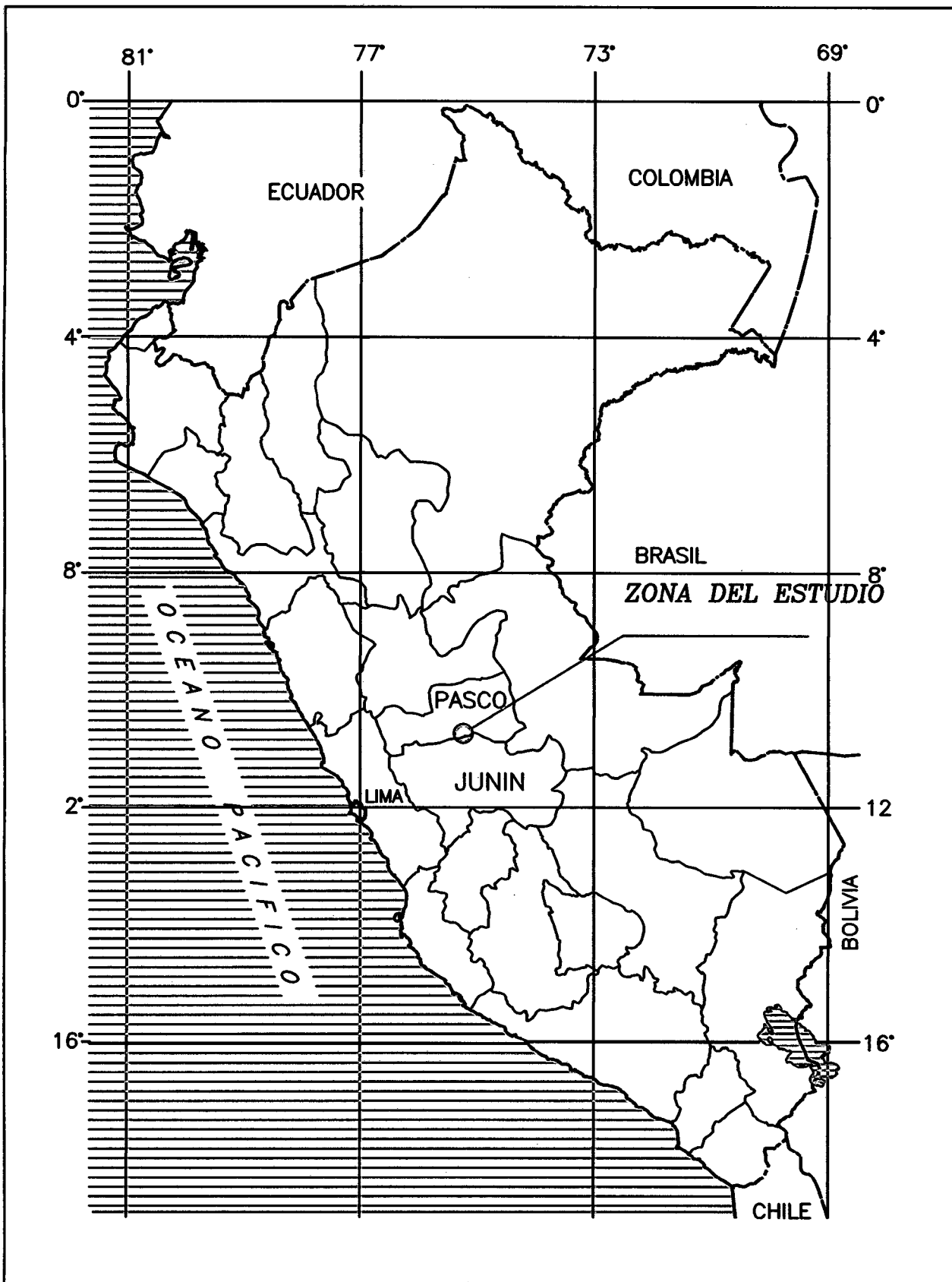


Figura No. 2
Ubicación Geográfica de la Zona de Estudio

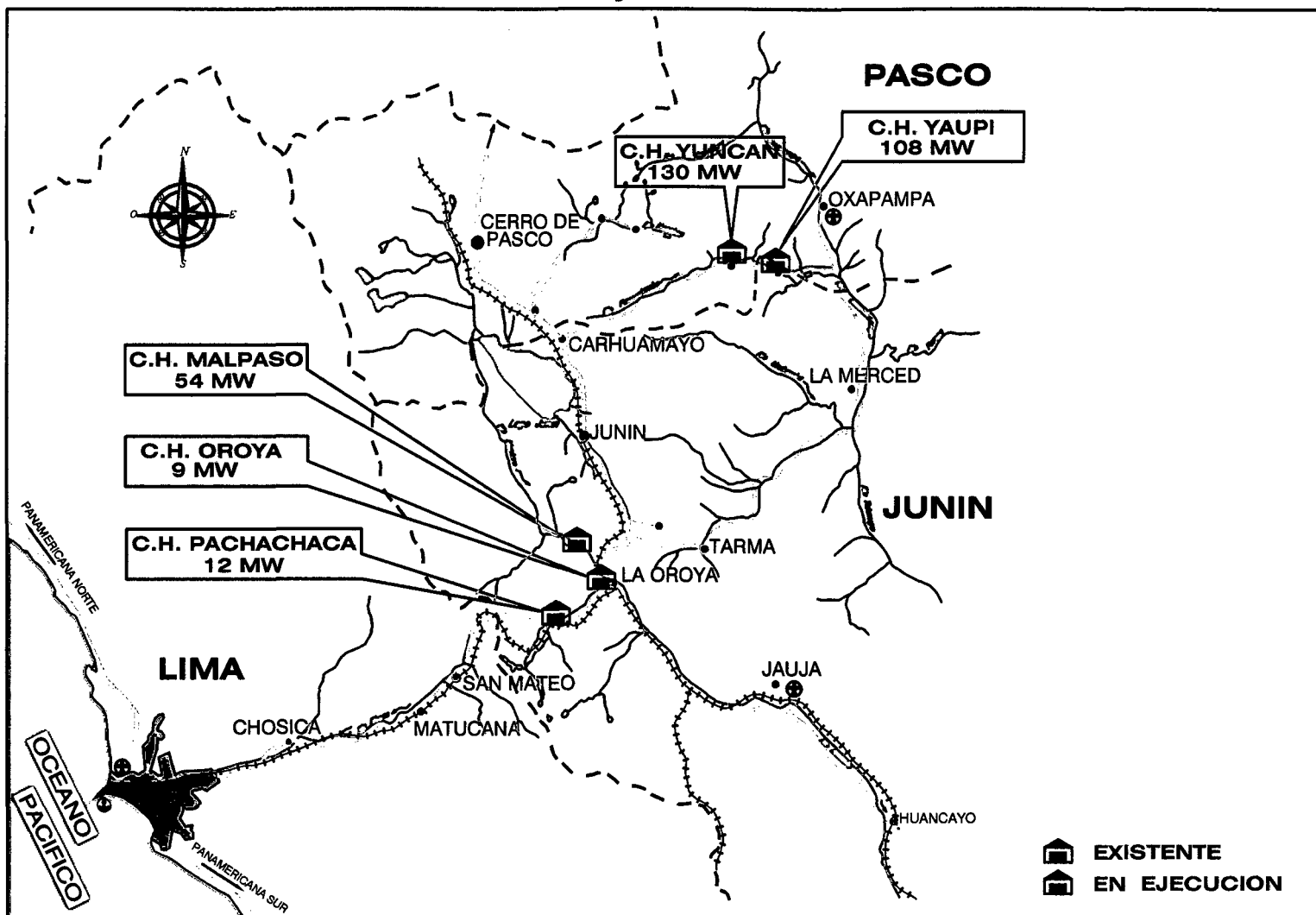


Figura No. 3
 Perfil de las Centrales en Cascada

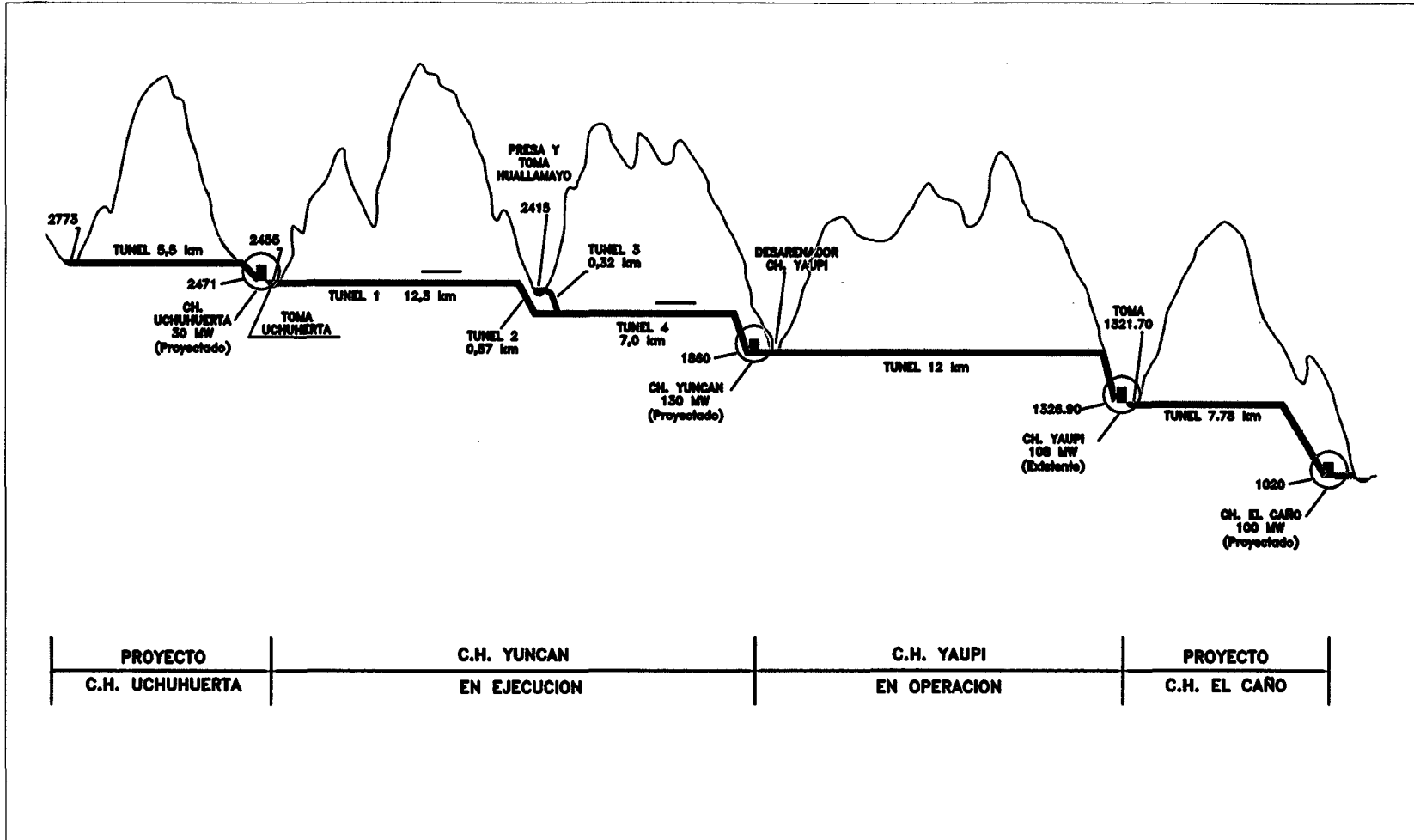
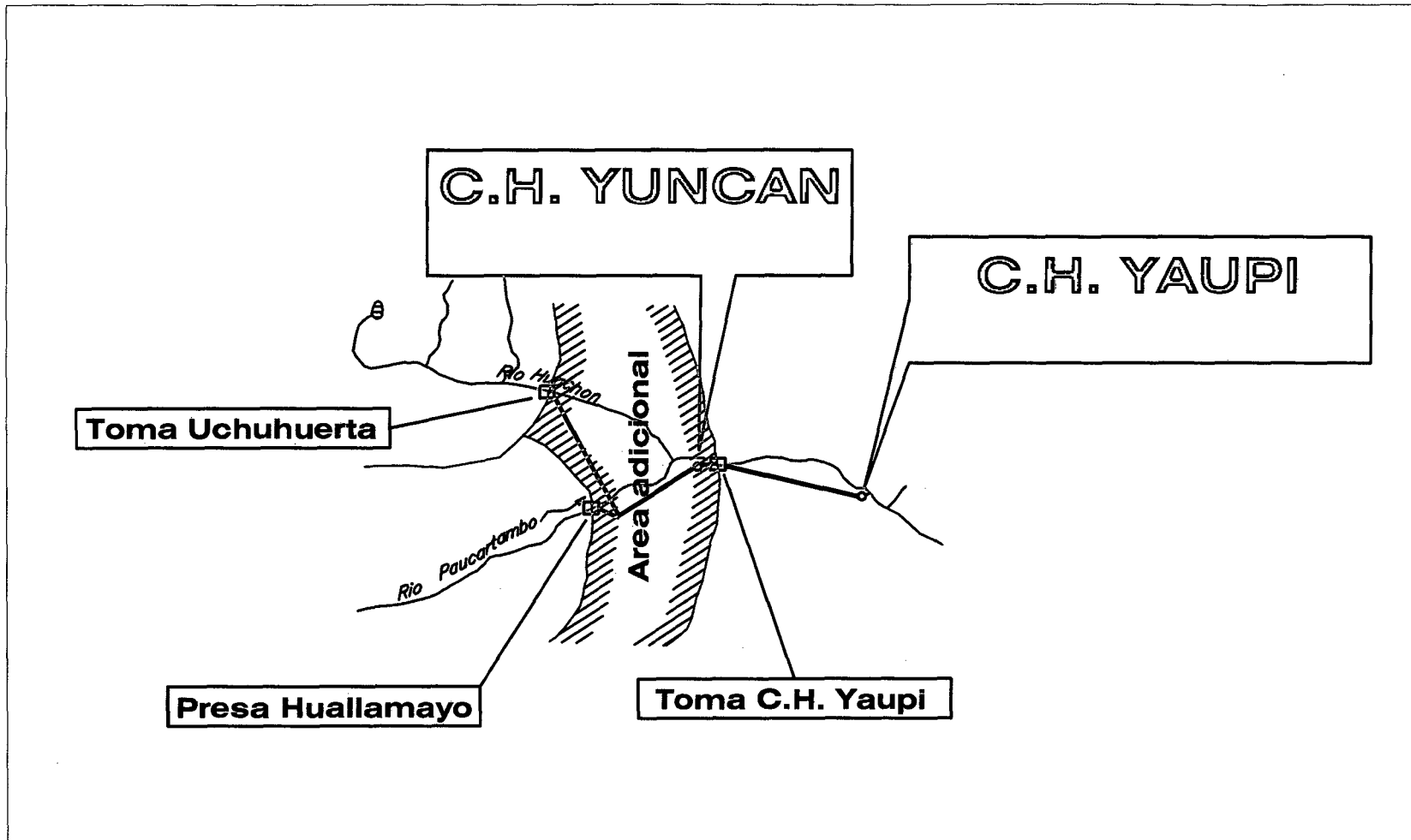


Figura No. 4
Area de cuenca adicional



CAPITULO 2

ASPECTOS GENERALES

2.1 Objetivos

El estudio de adecuación de la C.H. Yaupi, está orientado a incrementar la potencia remunerable y por consiguiente la energía, como resultado de:

- 1) Mejorar de la eficiencia del conjunto Turbina + Generador por rediseño.
- 2) Disminuir las pérdidas de carga del túnel aductor.
- 3) Ampliando la capacidad hidraulica a través de una nueva tubería forzada que implica la instalación de un nuevo grupo generador.
- 4) Proyectos de afianzamiento con transvases de cuencas.
- 5) Formulación de la matriz de potencia generable para cada alternativa.
- 6) Selección de la alternativa más conveniente mediante análisis económico, utilizando índices que evalúan la rentabilidad del proyecto.

2.2 Situación del sistema de conducción de la C.H. Yaupi

Pérdidas de Carga en el túnel

El túnel de aducción funciona a sección llena y a baja presión. Desde su portal de ingreso hasta el inicio de las tuberías forzadas tiene una longitud total de 12 504,1 m , de los cuales 7 559,3 m son totalmente revestidos de concreto. El resto no es revestido a excepción del piso que es de concreto.

Las secciones transversales típicas son cuatro, los diámetros equivalentes varían desde 3,054 m hasta 3,905 m.

Pérdidas de Carga en las tuberías

La tubería forzada No. 1 alimenta las unidades 1, 2 y 3, tiene una longitud de 1222 m y un diámetro promedio de 1964 mm, la tubería forzada No. 2 alimenta a las unidades 4 y 5, tiene una longitud de 1300 m y un diámetro promedio de 1515 mm. El material del que están hechas es acero.

Mediciones realizadas de las pérdidas de carga

En abril del 2000, se llevó a cabo un programa de mediciones de pérdidas en el sistema de conducción, la metodología empleada para la medición era realizar simultáneamente la medición de la potencia en bornes de los generadores, los niveles del agua en la toma y en el pozo de oscilación y la lectura del manómetro de la tubería No. 1, manteniendo las condiciones estables para que de esta manera se evitara distorsiones en las mediciones así como en los resultados. Para la tubería No. 2 no se realizó la medición por problemas de logística.

Formulación teórica de las pérdidas de cargas en el sistema de conducción

Con el fin de comparar los resultados obtenidos en las mediciones efectuadas, con modelos experimentales, se ha tomado el modelo de Manning - Strickler, dando resultados similares a los obtenidos por la medición.

Los coeficientes de Manning que se han adoptado para simular las pérdidas de carga son:

Descripción	Coefficiente de Rugosidad
Tubería de acero soldado	0,012
Túnel pared revestida	0,015
Túnel pared de roca	0,030

Tabla No. 1
Pérdidas de carga en el Túnel Aductor

Potencia (MW)	Caudal (m ³ /s)	Pérdidas medidas (m)	Pérdidas Manning (m)
5,00	1,25	0,28	0,08
10,00	2,50	0,55	0,31
15,00	3,75	0,73	0,70
20,00	5,00	0,90	1,24
25,00	6,25	2,00	1,94
30,00	7,50	3,12	2,79
35,00	8,75	4,28	3,80
40,00	10,00	4,67	4,97
45,00	11,25	5,80	6,29
50,00	12,50	7,61	7,76
55,00	13,75	8,03	9,39
60,00	15,00	9,92	11,17
65,00	16,25	11,46	13,11
70,00	17,50	14,40	15,21
75,00	18,75	17,84	17,46
80,00	20,00	19,72	19,87
85,00	21,25	21,60	22,43
90,00	22,50	24,09	25,14
95,00	23,75	27,99	28,01
100,00	25,00	30,25	31,04
105,00	26,25	34,32	34,22
110,00	27,50	---	37,56
115,00	28,75	---	41,05
120,00	30,00	---	44,70
125,00	31,25	---	48,50
130,00	32,50	---	52,46
135,00	33,75	---	56,57
140,00	35,00	---	60,84

Tabla No. 2
Pérdidas de carga en las Tuberías Nos.1 y 2

Potencia (MW)	Caudal (m ³ /s)	Medidas Tub. No. 1 (m)	Manning Tub. No. 1 (m)	Manning Tub. No. 2 (m)
5,00	0,00	0,63	0,03	0,05
10,00	1,25	1,28	0,14	0,20
15,00	2,50	2,01	0,31	0,45
20,00	3,75	2,76	0,55	0,79
25,00	5,00	2,97	0,86	1,24
30,00	6,25	3,18	1,24	1,79
35,00	7,50	3,34	1,69	2,43
40,00	8,75	3,86	2,21	3,18
45,00	10,00	4,87	2,79	4,02
50,00	11,25	5,19	3,45	4,96
55,00	12,50	7,15	4,17	6,01
60,00	13,75	7,21	4,97	7,15
65,00	15,00	7,76	5,83	8,39
70,00	16,25	7,85	6,76	9,73
75,00	17,50	8,05	7,76	11,17
80,00	18,75	8,93	8,83	12,71
85,00	20,00	11,01	9,97	14,34
90,00	21,25	12,79	11,18	16,08
95,00	22,50	14,07	12,45	17,92
100,00	23,75	17,60	13,80	19,85
105,00	25,00	20,24	15,21	21,89

Además de los cálculos de las pérdidas por fricción, también se han realizado los cálculos de las pérdidas locales en las tuberías Nos. 1 y 2, tomando los valores del coeficiente adimensional K de la literatura investigada, el cual es el cociente de la pérdida de carga local (h_p) y la altura cinética ($v^2/2g$).

Para codos (cambio de dirección en el perfil de las tuberías):

α	35°34'	32°59'	31°46'	27°49'	26°43'
K	0,118	0,106	0,101	0,082	0,077

(obtenidos por interpolación)

Para las válvulas mariposa (en cada tubería)

K = 0,4 (válvula completamente abierta)

Para las válvulas esférica (al ingreso de cada unidad)

K = 0,05 (válvula completamente abierta)

2.3 Electroandes en el mercado eléctrico

El sistema eléctrico de ELECTROANDES tiene su origen como Cerro de Pasco Copper Corporation en 1914 con la puesta en servicio de la C.H. Oroya de 9 MW. Posteriormente en 1917 se construyó la C.H. Pachachaca con una potencia de 12 MW. En 1936 entró en servicio la C.H. Malpaso con 3 unidades de 13,6 MW cada una, ampliándose en 1954 con una unidad similar. En 1957, debido al crecimiento de la demanda por el ingreso de importantes proyectos tales como la Refinería de Zinc, entraron en servicio las 3 primeras unidades de 21,6 MW cada una de la C.H. Yaupi, la que se amplía en 1967 con dos unidades similares.

En 1973 la Cerro de Pasco se estatiza y se convierte en CENTROMIN PERU S.A., encargándose la administración del Sistema Eléctrico al Departamento de Electricidad y Telecomunicaciones (DET).

En 1985 se realiza la interconexión en 220 kV con ELECTROPERU, en ese entonces responsable del Sistema Eléctrico Nacional. Para llevar a cabo este importante proyecto se realizaron modificaciones y construcciones de líneas de transmisión, subestaciones, además de un Centro de Control para monitoreo y control de las operaciones.

El 17 de abril de 1996 CENTROMIN PERU S.A. crea la empresa de Electricidad de los Andes S.A. - Electroandes S.A. como su empresa subsidiaria de generación, en base a su Departamento de Electricidad y Telecomunicaciones.

El 1 de julio de 1997, ELECTROANDES se inicia como empresa generadora integrante del COES.

El 11 de diciembre del 2001, se transfiere la propiedad del Estado Peruano a PSEG Global, como resultado del proceso de privatización de empresas estatales.

Descripción del sistema eléctrico

El sistema eléctrico de Electroandes S.A. opera en paralelo con el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Está conformado por cuatro centrales de generación, con una potencia instalada de 183.4 MW, cuyas fuentes de recursos hidráulicos abarcan tres cuencas hidrográficas sobre las que se han construido diversas obras de captación y almacenamiento.

El sistema comprende además 769 km de líneas de transmisión a tensiones iguales o mayores a los 50 kV; 767.2 MVA de potencia instalada en subestaciones de transformación y un centro de control (SCADA/EMS).

GENERACION

CC.HH.	Potencia Instalada (MW)
Yaupi	108,0
Malpaso	54,4
Pachachaca	12,0
Oroya	9,0
TOTAL	183,4

Los recursos hídricos que sustentan las actividades de generación hidráulica de ELECTROANDES, provienen de la cuenca alta de los ríos Yauli-Pucará, Mantaro y Paucartambo-Huachón, localizadas políticamente en la jurisdicción de los departamentos de Junín y Pasco.

La cuenca de los ríos Yauli y Pucará abastece a las CC.HH. Pachachaca y La Oroya, y conforma lo que operativamente se denomina el Subsistema Hídrico Oroya-Pachachaca, con 3 embalses principales de regulación con una capacidad útil total de 49,38 Mm³.

Por su parte, la cuenca alta del río Mantaro abastece a la C.H. de Malpaso y forma el Subsistema Hídrico Malpaso. En este subsistema se ubican la presa

Upamayo, que regula al Lago Junín con un volumen útil de 441,17 Mm³, y la Represa Malpaso con una capacidad útil de 25,82 Mm³.

Finalmente, la cuenca del río Huachón y la cuenca alta del río Paucartambo, abastecen a la C. H. Yaupi y forman el Subsistema Hídrico Yaupi, con 7 embalses de regulación con una capacidad útil total de 69,05 Mm³.

ALMACENAMIENTO HIDRICO

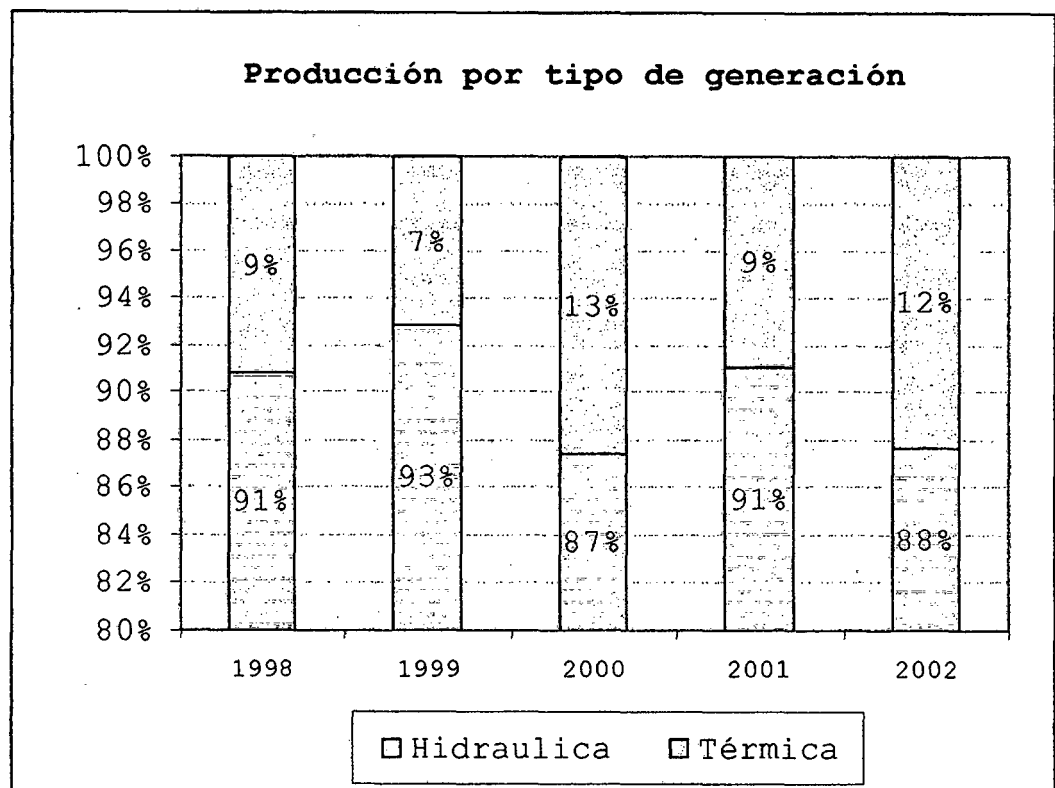
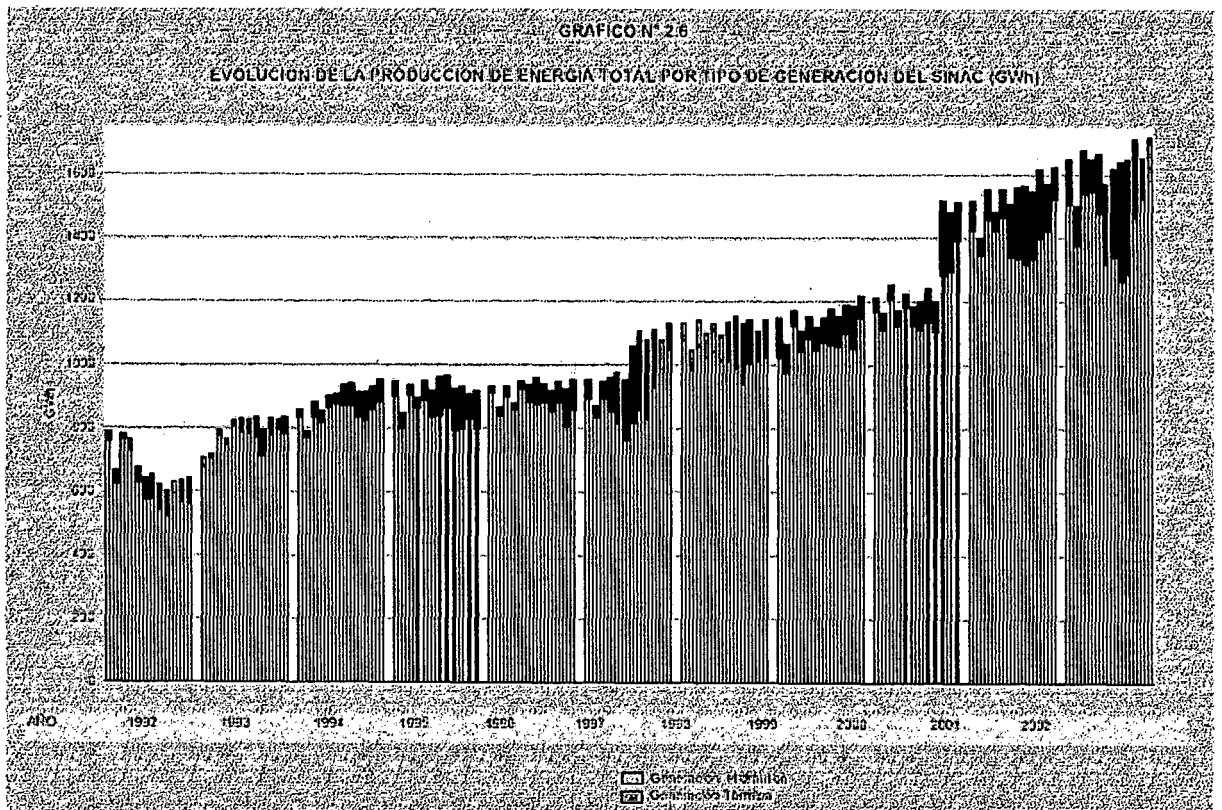
Reservorios	Vol. Util. (Mm ³)	CC.HH.
Matacocha	10,90	Yaupi
Huangush Alto	24,84	Yaupi
Huangush Bajo	0,69	Yaupi
Altos Machay	13,81	Yaupi
Jaico	15,86	Yaupi
Victoria	1,57	Yaupi
Pacchapata	1,37	Yaupi
Junín	441,17	Malpaso
Pomacocha	28,43	Pachachaca/Oroya
Huascacocha	11,08	Pachachaca/Oroya
Huallacocha	11,70	Pachachaca/Oroya
TOTAL	561,92	

2.4 Producción de energía eléctrica en el COES-SEIN 2002

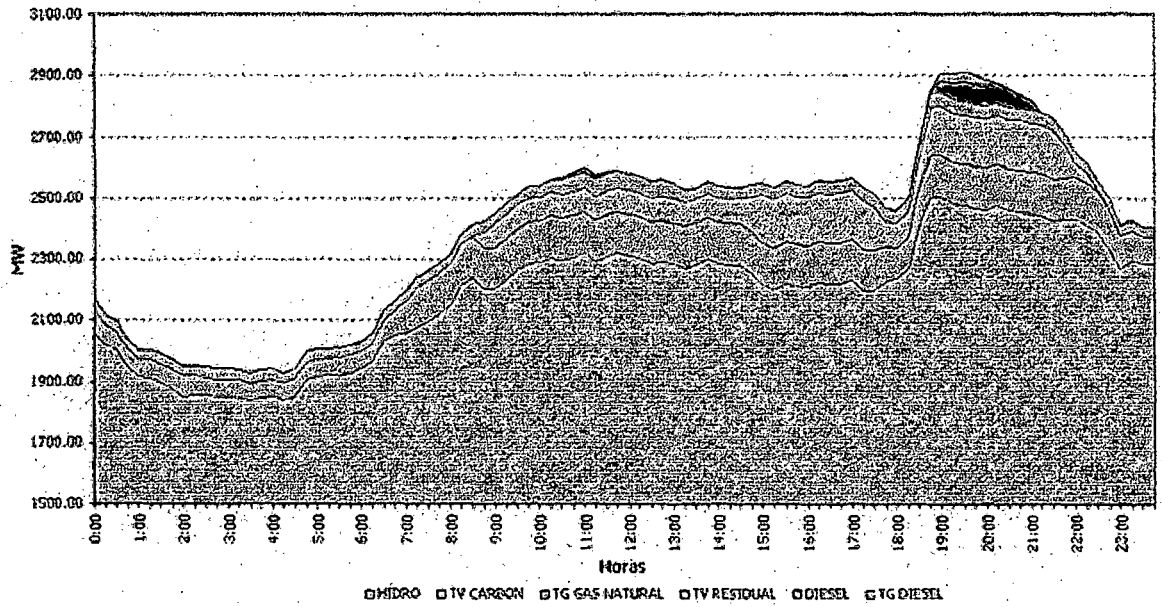
La producción de energía eléctrica en el año 2002 del SEIN fue 19 657,86 GWh, siendo ELECTROANDES la quinta empresa con mayor producción de energía eléctrica anual, la cual ascendió a 1 173,03 GWh, que representa el 5,97% de la producción total.

EMPRESA	GWh	(%)
ELECTROPERU	6 863,28	34,91
EDEGEL	4 313,97	21,95
EGENOR	2 052,95	10,44
ENERSUR	1 269,35	6,46
ELECTROANDES	1 173,03	5,97
EGASA	849,77	4,32
SAN GABAN	774,58	3,94
TERMOSELVA	745,19	3,79
EGEMSA	700,05	3,56
CAHUA	299,00	1,52
EEPSA	261,20	1,33
CNP-ENERGIA	182,57	0,93
EGESUR	135,45	0,69
SHOUGESA	28,06	0,14
ETEVENSA	9,41	0,05
TOTAL	19 657,86	100,00

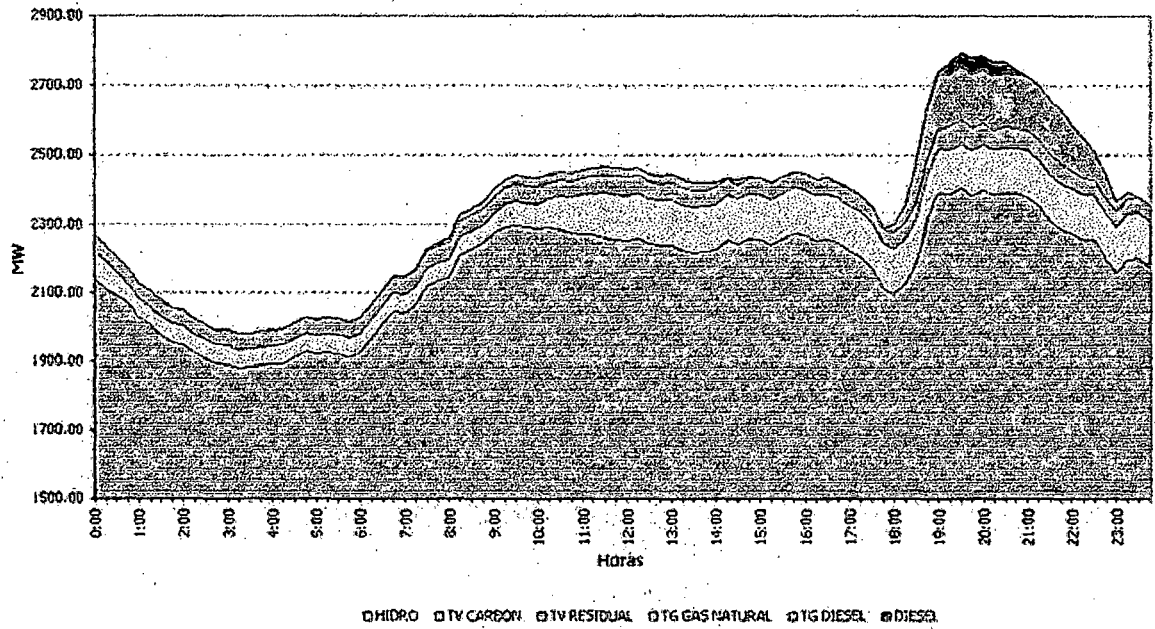
Los gráficos siguientes muestran la composición de la energía por tipo de recurso utilizado en los últimos años y su evolución, la implementación del presente proyecto impactará de forma positiva en el costo total de operación al aumentar la producción de energía anual con recursos hídricos.



DESPACHO DE GENERACION PARA EL DIA DE LA MAXIMA DEMANDA DEL AÑO
(16 de diciembre de 2002)



DESPACHO DE GENERACION PARA EL DIA DE LA MAXIMA DEMANDA DEL AÑO
(20 de diciembre de 2001)



CAPITULO 3

HIDROLOGIA

3.1 Caudales mensuales (1966 – 2001)

El presente estudio, se basa en los datos de caudales promedio mensuales de 36 años (1966-2001), lo que hace consistente el análisis realizado.

Caudales mensuales históricos

Los datos hidrológicos históricos en la toma de la C.H. Yaupi, se muestran en la tabla No. 3 y corresponden a los caudales medidos, es decir los caudales regulados con los cuales se ha ejecutado el despacho de carga entre los años 1966 - 2001.

Caudales mensuales naturalizados

Los datos hidrológicos naturalizados en la toma de la C.H. Yaupi se muestran en la tabla No. 4 y corresponden a los caudales que se hubieran

registrado si no existirían ninguna obra de regulación (presas o embalses) aguas arriba de la toma.

Caudales mensuales regulados teóricos - actual

Los caudales regulados teóricos en la toma de la C.H. Yaupi, son aquellos obtenidos a partir de los datos de caudales naturalizados y de la capacidad de regulación de los embalses existentes aguas arriba, y son el resultado de una operación de regulación óptima, que maximiza la producción de energía eléctrica priorizada en el bloque de horas punta. Estos caudales son los que se han utilizado para las matrices de potencia generable de la C.H. Yaupi para el caso actual, donde todavía no se toma en cuenta la operación en cascada con la futura C.H. Yuncán. Estos caudales son mostrados en la tabla No. 5.

Caudales mensuales regulados teóricos – operación en cascada

Los caudales regulados teóricos en la toma de la C.H. Yaupi, son aquellos obtenidos a partir de los datos de caudales naturalizados, de la capacidad de las tomas Uchuhuerta ($20 \text{ m}^3/\text{s}$) y Huallamayo ($10 \text{ m}^3/\text{s}$), de la regulación de los embalses existentes y de la capacidad de regulación horaria de la futura presa Huallamayo, ubicadas aguas arriba.

Estos caudales son el resultado una operación óptima en cascada de las CC.HH. Yuncán y Yaupi, han utilizados para las matrices de potencia

generable de la C.H. Yaupi en el caso futuro, donde ya este operando la C.H. Yuncán. En la tabla No. 6 se muestran los caudales regulados teóricos para la operación en cascada de las centrales hidroeléctricas Yuncán y Yaupi.

3.2 Transvase Chilac

El estudio del transvase de la cuenca del Chilac, se realizó el año 1999, del cual hemos podido recoger los aportes de caudales adicionales a la cuenca de las CC.HH. Yaupi y Yuncán.

Los caudales mensuales regulados se muestran en la tabla No. 7.

La capacidad hídrica total del transvase Chilac que podría aportar a las cuencas mencionadas anteriormente es de 50 Mm³ de agua.

El costo total del transvase, ha sido tomado del estudio "Transvase Chilac" y asciende a la suma de US\$ 20 000 000.

3.3 Balance de Energía Firme en el COES

Para el cálculo de la energía firme que el COES realiza de las centrales hidroeléctricas se considera los valores mensuales de energía generable de cada central para la serie del período hidrológico a partir de 1965.

A continuación se muestra la evolución de la energía firme de algunas centrales hidroeléctricas:

En GWh

C.H.	1997	1998	1999	2000	2001	2002
C. MANTARO	5700,5	5700,5	6674,2	6349,0	5960,3	5844,7
CAÑON DEL PATO	1056,2	850,9	1122,2	1486,9	1454,6	1492,5
CARHUAQUERO	493,7	489,3	594,1	585,9	468,0	476,6
CAHUA	279,1	278,8	276,8	281,8	305,0	303,1
GALLITO CIEGO		122,6	122,6	122,6	93,8	93,9
YAUPI		790,3	772,8	746,6	811,5	806,5

3.3 Matrices de potencia generables de C.H. Yaupi para diferentes escenarios

Con el fin de obtener el perfil de generación promedio mensual repartido en bloques horarios, punta, media y base, desarrollamos una metodología de cálculo basados en la hidrológica disponible presentada anteriormente y considerando una disponibilidad de la central del 100%, la metodología maximiza la producción de energía en los bloques de punta, los resultados se presentan en las tablas de potencia generables.

Escenario Actual

Se han realizado las matrices de potencia generables para el caso actual, en que la operación de la C.H. Yaupi depende únicamente de la hidrología disponible.

Los resultados se muestran en la tabla No. 8.

Escenario Operación en cascada

Cuando la C.H. Yuncán ingrese en servicio, el despacho de carga del escenario actual, se modificará a una operación en cascada. Para cubrir este

caso, también se ha desarrollado las matrices de potencia generables, cuya metodología se basa, además de optimizar el despacho en horas de punta, en utilizar la máxima capacidad de las CC.HH. Yuncán y Yaupi.

Los resultados se muestran en la tabla No. 9.

De la comparación de los resultados de los escenarios anteriores, podemos observar que la energía media anual generable por la C.H. Yaupi permanecerá invariable.

La C.H. Yaupi no aprovecha la mayor escorrentía producto de una mayor área de cuenca y menores pérdidas por escorrentía, hace que esta opción sea deficiente.

3.4 Curvas de duración

Para trabajar con la serie de datos hidrológicos, hay que ordenarlos por orden de magnitud, esto da como resultado la curva de duración o de caudales clasificados. Esta curva significa que porcentaje de tiempo se alcanza o se supera un cierto valor de caudal.

En las gráficas Nos. 1, 2, 3, 4 y 5 se muestran las curvas de duración para los caudales mensuales anteriormente mencionados.

Tabla No. 3
Caudales medios mensuales históricos de la C.H. Yaupi (m³/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1966	60,7	61,3	51,4	28,7	34,1	14,7	11,2	10,1	16,5	33,3	39,2	52,6
1967	60,1	89,0	108,5	55,7	24,2	16,5	13,4	14,6	17,6	41,8	24,7	39,0
1968	62,0	75,8	77,5	40,1	24,7	17,6	14,1	16,4	19,8	35,9	35,3	39,0
1969	34,7	61,3	40,1	37,4	18,8	19,5	15,2	11,5	12,4	21,7	30,4	48,2
1970	66,5	65,6	57,4	53,9	31,1	18,7	16,6	15,3	22,7	18,6	29,6	47,9
1971	76,2	70,2	83,2	80,3	29,6	19,1	17,8	15,3	13,4	22,7	17,3	39,6
1972	58,2	45,7	82,9	60,7	29,0	16,8	14,7	12,8	18,9	29,0	27,4	46,5
1973	84,1	116,3	87,3	63,3	28,1	22,1	20,2	22,4	27,5	41,3	37,1	74,0
1974	120,8	108,3	73,5	71,0	27,3	17,7	24,2	18,5	20,2	32,5	23,3	40,5
1975	66,7	74,8	89,9	36,6	35,0	20,2	16,2	15,9	25,4	27,5	36,2	48,2
1976	80,9	75,0	60,5	44,3	23,0	18,2	16,5	17,8	26,4	14,6	21,8	27,4
1977	54,0	55,5	73,9	43,9	28,7	17,0	14,2	15,9	20,7	21,0	61,5	36,7
1978	64,9	58,5	68,9	45,9	29,3	19,3	15,8	9,3	22,3	22,6	35,5	35,3
1979	34,9	72,5	124,0	66,3	24,6	17,0	17,1	15,7	13,9	22,1	30,6	29,9
1980	36,5	59,7	69,2	37,2	19,0	14,4	15,4	17,9	16,0	35,7	29,2	35,5
1981	45,5	98,5	77,1	46,2	21,5	15,7	14,4	17,5	15,7	39,4	46,7	63,1
1982	72,5	78,7	61,4	45,8	25,6	22,7	20,6	21,3	24,7	39,6	55,5	47,1
1983	55,1	53,8	60,3	53,8	23,6	20,8	18,5	18,4	22,4	24,5	26,1	43,1
1984	58,2	129,6	92,6	71,0	27,7	21,9	18,9	21,9	20,1	26,7	42,5	46,4
1985	41,5	71,5	70,0	64,9	46,7	22,3	18,8	18,1	43,5	26,2	35,7	47,9
1986	75,6	99,4	103,3	61,9	42,4	21,2	21,6	21,9	22,2	24,4	29,6	32,2
1987	87,5	66,5	43,4	35,5	22,5	20,9	23,5	18,3	17,7	23,1	32,0	31,0
1988	95,1	76,5	49,7	51,6	27,3	19,2	16,3	12,6	16,5	19,1	25,6	33,7
1989	79,2	83,4	90,8	60,3	26,5	21,8	18,8	18,8	20,6	32,9	31,9	29,1
1990	67,6	43,4	51,3	32,1	23,6	31,2	18,4	16,0	20,2	52,2	65,8	53,5
1991	45,7	67,7	95,9	50,3	30,8	23,9	17,6	15,3	16,2	21,0	35,5	27,0
1992	37,6	35,0	49,3	27,8	15,3	14,8	13,4	14,1	13,9	30,0	24,1	16,9
1993	44,7	75,4	67,4	51,5	29,1	17,3	16,9	18,3	26,2	30,2	60,9	97,7
1994	80,0	105,6	65,0	57,8	26,0	19,2	19,7	18,2	16,0	19,4	26,1	22,9
1995	51,9	44,8	79,7	40,7	21,2	14,6	13,1	11,8	12,3	19,3	30,0	32,9
1996	45,9	59,9	64,0	51,6	25,2	16,9	15,1	15,9	16,8	17,8	19,8	36,5
1997	38,7	66,8	64,0	31,0	19,7	13,7	12,1	16,1	20,7	21,5	33,6	51,4
1998	76,7	103,8	88,0	49,9	21,1	19,1	15,7	13,7	11,5	21,8	25,6	34,5
1999	65,8	94,7	92,4	65,2	31,2	17,7	17,4	16,3	18,8	24,4	20,6	31,4
2000	54,9	83,7	92,7	62,9	24,8	17,0	16,1	18,4	18,0	18,9	18,8	40,3
2001	96,9	100,6	88,9	56,2	27,3	16,3	16,9	17,1	18,3	22,5	37,5	41,9

Tabla No. 4
Caudales medios mensuales naturalizados de la C.H. Yaupi (m³/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1966	60,7	61,3	51,4	28,7	34,1	14,7	11,2	10,1	16,5	33,3	39,2	52,6
1967	60,1	89,0	108,5	55,7	24,2	16,5	13,7	13,0	17,7	42,8	25,3	39,1
1968	62,0	75,8	77,8	40,3	25,2	17,8	14,2	16,0	16,1	36,4	35,8	39,6
1969	35,6	62,6	41,0	37,9	17,3	16,5	13,2	9,5	12,3	22,2	30,9	49,4
1970	67,8	66,8	58,6	54,9	31,6	19,1	16,9	12,7	22,5	18,4	30,4	48,8
1971	77,5	71,6	83,6	81,3	29,9	19,3	15,3	12,5	10,7	21,6	17,9	40,5
1972	59,7	46,8	85,2	61,9	29,5	17,0	14,0	10,7	18,9	29,6	27,9	47,9
1973	84,9	116,5	87,7	64,2	28,3	21,6	18,8	19,7	26,9	42,3	37,6	75,5
1974	121,5	108,9	74,5	72,0	27,6	17,9	21,8	16,6	17,1	32,5	23,8	41,3
1975	68,5	76,7	92,1	37,5	35,6	20,2	13,9	11,5	24,9	28,1	36,7	49,8
1976	83,1	76,7	62,0	45,4	23,5	17,6	12,4	13,6	26,5	14,5	22,2	28,3
1977	55,7	57,6	75,8	44,9	29,3	17,0	12,2	10,4	19,9	21,3	63,2	37,7
1978	66,4	59,9	70,8	47,3	30,1	16,9	12,3	9,0	21,2	20,3	36,3	36,6
1979	36,3	74,9	110,6	67,9	25,1	15,0	12,9	12,6	12,4	22,2	31,0	30,8
1980	37,9	62,0	71,8	38,3	19,5	12,8	14,1	13,0	12,4	36,4	29,7	36,6
1981	47,1	101,5	79,5	47,3	22,0	15,0	10,5	15,9	15,0	39,0	48,3	65,1
1982	74,7	80,4	63,5	47,3	26,2	21,5	16,4	16,6	22,2	39,8	57,2	48,7
1983	56,9	55,7	62,2	55,3	24,1	20,1	13,5	13,1	21,7	24,1	25,4	44,7
1984	60,2	133,1	95,3	72,5	28,4	21,2	17,4	18,4	14,7	27,1	43,2	48,1
1985	43,0	74,0	72,1	66,6	47,4	21,9	16,1	13,7	42,0	26,4	36,7	49,7
1986	78,3	102,3	105,8	63,5	43,1	19,9	19,6	20,3	21,4	23,9	29,9	33,3
1987	90,4	69,0	44,6	36,8	23,2	20,8	23,0	11,6	14,7	23,9	33,3	32,7
1988	98,1	79,0	51,6	53,1	27,9	19,5	15,5	11,0	11,9	18,3	17,6	34,1
1989	81,6	85,9	93,5	61,8	27,1	21,5	15,8	14,6	16,8	34,1	31,5	28,9
1990	70,1	45,3	53,3	33,1	22,6	31,7	18,2	12,4	18,8	53,7	67,7	55,4
1991	47,6	69,7	97,3	50,8	31,4	24,3	15,2	10,5	12,1	21,8	37,2	27,2
1992	39,5	36,6	51,4	28,9	14,3	13,8	10,8	13,5	11,9	30,9	24,4	17,4
1993	46,7	78,3	69,9	53,1	29,9	17,0	15,1	15,8	24,5	30,8	63,1	100,4
1994	82,1	108,7	66,9	59,3	26,5	17,3	15,1	13,0	13,3	19,5	27,1	24,0
1995	54,2	46,5	82,3	42,0	20,3	11,6	10,5	10,7	11,2	19,8	31,2	34,0
1996	47,5	62,0	66,0	53,1	25,9	14,7	10,1	11,8	14,4	18,3	20,2	37,7
1997	40,4	67,5	61,8	32,7	21,0	12,0	10,0	17,3	18,5	21,8	34,1	50,2
1998	81,7	104,0	88,8	52,4	19,5	15,3	12,1	10,4	10,7	23,0	28,5	36,9
1999	69,6	98,6	95,7	67,2	32,0	16,4	12,6	10,6	15,1	23,7	20,2	33,1
2000	54,9	83,7	92,7	62,9	24,8	17,0	16,1	18,4	18,0	18,9	18,8	40,3
2001	100,9	104,3	92,2	57,9	28,2	16,1	13,7	10,5	13,2	21,3	39,4	43,4

Tabla No. 5
Caudales medios mensuales regulados de la C.H. Yaupi - operación actual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1966	60.7	61.3	51.4	28.7	34.1	25.9	25.9	13.2	18.2	33.3	39.2	52.6
1967	60.1	89.0	108.5	55.7	25.9	25.9	25.9	19.4	19.2	42.8	25.4	39.1
1968	62.0	75.8	77.8	40.3	25.9	25.9	25.9	22.2	17.9	36.4	35.8	39.6
1969	35.6	62.6	41.0	37.9	25.9	25.9	16.6	12.3	14.8	22.9	30.9	49.4
1970	67.8	66.8	58.6	54.9	31.6	25.9	25.9	23.3	23.1	19.7	30.4	48.8
1971	77.5	71.6	83.6	81.3	29.9	25.9	25.9	17.6	13.5	22.4	19.2	40.5
1972	59.7	46.8	85.2	61.9	29.5	25.9	25.9	17.9	20.2	29.6	27.9	47.9
1973	84.9	116.5	87.7	64.2	28.3	25.9	25.9	25.9	26.9	42.3	37.6	75.5
1974	121.5	108.9	74.5	72.0	27.6	25.9	25.9	25.9	25.9	32.5	24.9	41.3
1975	68.5	76.7	92.1	37.5	35.6	25.9	25.9	25.9	25.6	28.1	36.7	49.8
1976	83.1	76.7	62.0	45.4	25.9	25.9	25.9	16.0	26.5	16.5	22.9	28.3
1977	55.7	57.6	75.8	44.9	29.3	25.9	25.9	17.2	21.0	22.1	63.2	37.7
1978	66.4	59.9	70.8	47.3	30.1	25.9	25.9	14.9	22.0	21.3	36.3	36.6
1979	36.3	74.9	110.6	67.9	25.9	25.9	25.9	17.3	14.8	22.8	31.0	30.8
1980	37.9	62.0	71.8	38.3	25.9	25.9	21.1	15.2	14.8	36.4	29.7	36.6
1981	47.1	101.5	79.5	47.3	25.9	25.9	25.9	18.0	17.0	39.0	48.3	65.1
1982	74.7	80.4	63.5	47.3	26.2	25.9	25.9	25.9	25.9	39.8	57.2	48.7
1983	56.9	55.7	62.2	55.3	25.9	25.9	25.9	22.5	22.4	24.4	25.5	44.7
1984	60.2	133.1	95.3	72.5	28.4	25.9	25.9	25.9	25.9	27.1	43.2	48.1
1985	43.0	74.0	72.1	66.6	47.4	25.9	25.9	25.9	42.0	26.4	36.7	49.7
1986	78.3	102.3	105.8	63.5	43.1	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9	29.9	33.3
1987	90.4	69.0	44.6	36.8	25.9	25.9	25.9	25.9	22.1	24.2	33.3	32.7
1988	98.1	79.0	51.6	53.1	27.9	25.9	25.9	20.0	14.5	19.6	19.0	34.1
1989	81.6	85.9	93.5	61.8	27.1	25.9	25.9	25.9	24.7	34.1	31.5	28.9
1990	70.1	45.3	53.3	33.1	25.9	31.7	25.9	25.9	25.9	53.7	67.7	55.4
1991	47.6	69.7	97.3	50.8	31.4	25.9	25.9	25.9	15.1	22.6	37.2	27.2
1992	39.5	36.6	51.4	28.9	25.9	21.7	13.3	15.6	14.5	30.9	24.7	18.8
1993	46.7	78.3	69.9	53.1	29.9	25.9	25.9	25.9	25.9	30.8	63.1	100.4
1994	82.1	108.7	66.9	59.3	26.5	25.9	25.9	22.7	15.6	20.6	27.1	24.3
1995	54.2	46.5	82.3	42.0	25.9	25.9	16.3	13.4	13.9	20.8	31.2	34.0
1996	47.5	62.0	66.0	53.1	25.9	25.9	22.3	14.2	16.5	19.7	21.2	37.7
1997	40.4	67.5	61.8	32.7	25.9	25.9	19.6	18.8	19.9	22.5	34.1	50.2
1998	81.7	104.0	88.8	52.4	25.9	25.9	20.0	13.0	13.5	23.5	28.5	36.9
1999	69.6	98.6	95.7	67.2	32.0	25.9	25.9	19.2	17.1	24.1	21.2	33.1
2000	54.9	83.7	92.7	62.9	25.9	25.9	25.9	25.9	19.6	20.1	20.0	40.3
2001	100.9	104.3	92.2	57.9	28.2	25.9	25.9	16.1	15.5	22.1	39.4	43.4

Tabla No. 6
Caudales medios mensuales regulados de la C.H. Yaupi - Operación en cascada

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1966	60.7	61.3	51.4	32.4	34.7	26.4	21.6	12.6	18.4	33.5	39.2	52.6
1967	60.1	89.0	108.5	55.7	30.4	27.1	23.5	15.2	19.5	42.8	26.2	39.1
1968	62.0	75.8	77.8	40.3	30.8	27.7	23.5	17.9	18.1	36.4	35.8	39.6
1969	35.6	62.6	41.0	37.9	27.5	25.0	15.3	12.0	14.7	23.5	31.3	49.4
1970	67.8	66.8	58.6	54.9	33.6	28.2	27.3	16.3	23.8	20.0	30.8	48.8
1971	77.5	71.6	83.6	81.3	32.9	28.3	22.9	14.7	13.2	23.0	19.5	40.5
1972	59.7	46.8	85.2	61.9	32.7	27.3	24.5	13.1	20.6	30.2	28.6	47.9
1973	84.9	116.5	87.7	64.2	32.2	29.3	28.1	28.5	29.2	42.3	37.6	75.5
1974	121.5	108.9	74.5	72.0	31.9	27.7	29.4	22.9	19.0	32.8	24.9	41.3
1975	68.5	76.7	92.1	37.5	35.6	28.7	26.0	22.1	26.0	28.8	36.7	49.8
1976	83.1	76.7	62.0	45.4	30.1	27.6	18.3	15.7	27.4	16.5	23.5	28.9
1977	55.7	57.6	75.8	44.9	32.6	27.3	24.6	12.9	21.5	22.7	63.2	37.7
1978	66.4	59.9	70.8	47.3	33.0	27.3	24.1	11.5	22.6	21.8	36.3	36.6
1979	36.3	74.9	110.6	67.9	30.8	26.5	21.7	14.8	14.7	23.4	31.4	31.2
1980	37.9	62.0	71.8	38.3	28.4	25.5	18.7	15.1	14.7	36.4	30.2	36.6
1981	47.1	101.5	79.5	47.3	29.5	26.4	22.1	17.7	17.1	39.0	48.3	65.1
1982	74.7	80.4	63.5	47.3	31.3	29.3	27.1	25.4	23.5	39.8	57.2	48.7
1983	56.9	55.7	62.2	55.3	30.4	28.7	24.0	15.2	23.0	25.2	26.3	44.7
1984	60.2	133.1	95.3	72.5	32.2	29.1	27.5	27.9	18.5	27.9	43.2	48.1
1985	43.0	74.0	72.1	66.6	47.4	29.4	26.9	25.9	42.0	30.0	36.7	49.7
1986	78.3	102.3	105.8	63.5	43.1	28.6	28.4	28.7	28.5	25.0	30.4	33.5
1987	90.4	69.0	44.6	36.8	30.0	29.0	29.9	18.9	16.8	25.0	33.5	32.9
1988	98.1	79.0	51.6	53.1	32.0	28.4	25.5	13.3	14.3	20.0	19.3	34.2
1989	81.6	85.9	93.5	61.8	31.7	29.3	26.8	22.1	18.7	34.2	31.8	29.5
1990	70.1	45.3	53.3	34.3	29.7	33.7	27.9	25.0	20.5	53.7	67.7	55.4
1991	47.6	69.7	97.3	50.8	33.5	30.5	26.6	18.1	14.4	23.2	37.2	27.9
1992	39.5	36.6	51.4	32.5	26.2	16.9	13.1	15.6	14.3	31.3	25.5	19.0
1993	46.7	78.3	69.9	53.1	32.9	27.3	26.5	26.8	27.3	31.3	63.1	100.4
1994	82.1	108.7	66.9	59.3	31.4	27.4	25.2	15.1	15.5	21.1	27.9	25.0
1995	54.2	46.5	82.3	42.0	28.8	25.0	13.9	13.1	13.7	21.3	31.6	34.1
1996	47.5	62.0	66.0	53.1	31.2	26.3	16.0	14.1	16.5	20.0	21.7	37.7
1997	40.4	67.5	61.8	34.1	29.0	25.2	14.5	19.1	20.2	23.1	34.2	50.2
1998	81.7	104.0	88.8	52.4	28.4	26.6	16.1	12.8	13.2	24.2	29.1	36.9
1999	69.6	98.6	95.7	67.2	33.8	27.1	25.4	15.3	17.2	24.8	21.7	33.3
2000	54.9	83.7	92.7	62.9	30.7	27.3	24.8	20.1	19.8	20.5	20.4	40.3
2001	100.9	104.3	92.2	57.9	32.2	26.9	23.8	12.9	15.4	22.7	39.4	43.4

Tabla No. 7
Caudales medios mensuales regulados con Chilac de la C.H. Yaupi - Operación en cascada

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1966	60.7	61.3	51.4	32.4	34.7	26.4	24.8	24.4	27.1	33.7	39.2	52.6
1967	60.1	89.0	108.5	55.7	30.4	27.1	25.9	25.6	27.6	42.8	29.0	39.1
1968	62.0	75.8	77.8	40.3	30.8	27.7	27.0	27.1	27.1	36.4	35.8	39.6
1969	35.6	62.6	41.0	37.9	27.5	27.1	25.7	21.7	14.7	23.5	31.3	49.4
1970	67.8	66.8	58.6	54.9	33.6	28.2	27.3	25.5	29.7	27.9	32.6	48.8
1971	77.5	71.6	83.6	81.3	32.9	28.3	26.6	25.4	22.9	23.0	19.5	40.5
1972	59.7	46.8	85.2	61.9	32.7	27.3	26.1	24.6	28.2	32.8	30.1	47.9
1973	84.9	116.5	87.7	64.2	32.2	29.3	28.1	28.5	31.6	42.3	37.6	75.5
1974	121.5	108.9	74.5	72.0	31.9	27.7	29.4	27.1	27.4	34.0	30.3	41.3
1975	68.5	76.7	92.1	37.5	35.6	28.7	27.0	26.9	30.8	32.1	36.7	49.8
1976	83.1	76.7	62.0	45.4	30.1	27.6	25.3	25.9	31.4	19.1	23.5	28.9
1977	55.7	57.6	75.8	44.9	32.6	27.3	25.5	24.5	28.6	29.2	63.2	37.7
1978	66.4	59.9	70.8	47.3	33.0	27.3	25.3	23.9	29.1	25.7	36.3	36.6
1979	36.3	74.9	110.6	67.9	30.8	26.5	25.6	25.4	23.4	23.4	31.4	31.2
1980	37.9	62.0	71.8	38.3	28.4	25.5	26.1	25.6	19.6	36.4	30.2	36.6
1981	47.1	101.5	79.5	47.3	29.5	27.0	26.8	26.8	26.5	39.0	48.3	65.1
1982	74.7	80.4	63.5	47.3	31.3	29.3	27.1	27.2	29.5	39.8	57.2	48.7
1983	56.9	55.7	62.2	55.3	30.4	28.7	25.8	25.6	29.3	30.4	27.4	44.7
1984	60.2	133.1	95.3	72.5	32.2	29.1	27.5	27.9	27.1	31.7	43.2	48.1
1985	43.0	74.0	72.1	66.6	47.4	29.4	27.0	27.0	42.0	31.4	36.7	49.7
1986	78.3	102.3	105.8	63.5	43.1	28.6	28.4	28.7	29.2	30.3	32.9	34.4
1987	90.4	69.0	44.6	36.8	30.0	29.0	29.9	25.2	26.3	30.3	34.3	34.1
1988	98.1	79.0	51.6	53.1	32.0	28.4	26.7	24.7	23.8	20.0	19.3	34.2
1989	81.6	85.9	93.5	61.8	31.7	29.3	27.0	27.0	27.2	34.7	33.6	32.5
1990	70.1	45.3	53.3	34.3	29.7	33.7	27.9	27.0	28.1	53.7	67.7	55.4
1991	47.6	69.7	97.3	50.8	33.5	30.5	26.6	24.5	25.2	29.4	37.2	28.4
1992	39.5	36.6	51.4	32.5	26.2	25.9	24.7	18.5	14.3	31.3	25.5	19.0
1993	46.7	78.3	69.9	53.1	32.9	27.3	27.0	27.0	30.6	33.3	63.1	100.4
1994	82.1	108.7	66.9	59.3	31.4	27.4	26.5	25.6	25.7	23.5	27.9	25.0
1995	54.2	46.5	82.3	42.0	28.8	25.0	24.5	24.5	13.7	21.3	31.6	34.1
1996	47.5	62.0	66.0	53.1	31.2	26.3	24.4	25.1	19.9	20.0	21.7	37.7
1997	40.4	67.5	61.8	34.1	29.0	25.2	24.3	27.5	25.5	23.1	34.2	50.2
1998	81.7	104.0	88.8	52.4	28.4	26.6	25.2	24.5	16.0	24.2	29.1	36.9
1999	69.6	98.6	95.7	67.2	33.8	27.1	25.4	24.6	26.5	30.2	23.4	33.3
2000	54.9	83.7	92.7	62.9	30.7	27.3	26.9	27.9	27.8	28.1	26.3	40.3
2001	100.9	104.3	92.2	57.9	32.2	26.9	25.9	24.5	25.7	25.5	39.4	43.4

TABLA No. 9

Matrices de potencia generable de la C.H. Yaupi - Operación en cascada

	Punta	Media	Base		Punta	Media	Base		Punta	Media	Base
	1966				1970				1974		
ENE	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
FEB	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
MAR	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
ABR	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
MAY	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
JUN	100.0	96.9	96.9		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
JUL	100.0	75.7	75.7		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
AGO	100.0	33.3	33.3		100.0	50.1	50.1		100.0	80.8	80.8
SET	100.0	59.2	59.2		100.0	83.6	83.6		100.0	61.6	61.6
OCT	100.0	100.0	100.0		100.0	67.0	67.0		100.0	100.0	100.0
NOV	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	89.2	89.2
DIC	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
	1967				1971				1975		
ENE	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
FEB	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
MAR	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
ABR	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
MAY	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
JUN	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
JUL	100.0	83.9	83.9		100.0	81.2	81.2		100.0	95.5	95.5
AGO	100.0	45.0	45.0		100.0	43.1	43.1		100.0	77.7	77.7
SET	100.0	63.9	63.9		100.0	35.5	35.5		100.0	93.7	93.7
OCT	100.0	100.0	100.0		100.0	80.3	80.3		100.0	100.0	100.0
NOV	100.0	95.1	95.1		100.0	64.8	64.8		100.0	100.0	100.0
DIC	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
	1968				1972				1976		
ENE	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
FEB	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
MAR	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
ABR	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
MAY	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
JUN	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
JUL	100.0	84.1	84.1		100.0	88.5	88.5		100.0	59.9	59.9
AGO	100.0	57.3	57.3		100.0	35.8	35.8		100.0	47.4	47.4
SET	100.0	57.6	57.6		100.0	69.0	69.0		100.0	100.0	100.0
OCT	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	51.1	51.1
NOV	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	82.7	82.7
DIC	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
	1969				1973				1977		
ENE	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
FEB	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
MAR	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
ABR	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
MAY	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
JUN	100.0	90.5	90.5		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
JUL	100.0	46.2	46.2		100.0	100.0	100.0		100.0	89.3	89.3
AGO	100.0	30.7	30.7		100.0	100.0	100.0		100.0	34.6	34.6
SET	100.0	42.0	42.0		100.0	100.0	100.0		100.0	73.1	73.1
OCT	100.0	82.7	82.7		100.0	100.0	100.0		100.0	78.9	78.9
NOV	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
DIC	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0

Grafico No. 1
Curva de duración - Caudales Históricos de la C.H. Yaupi

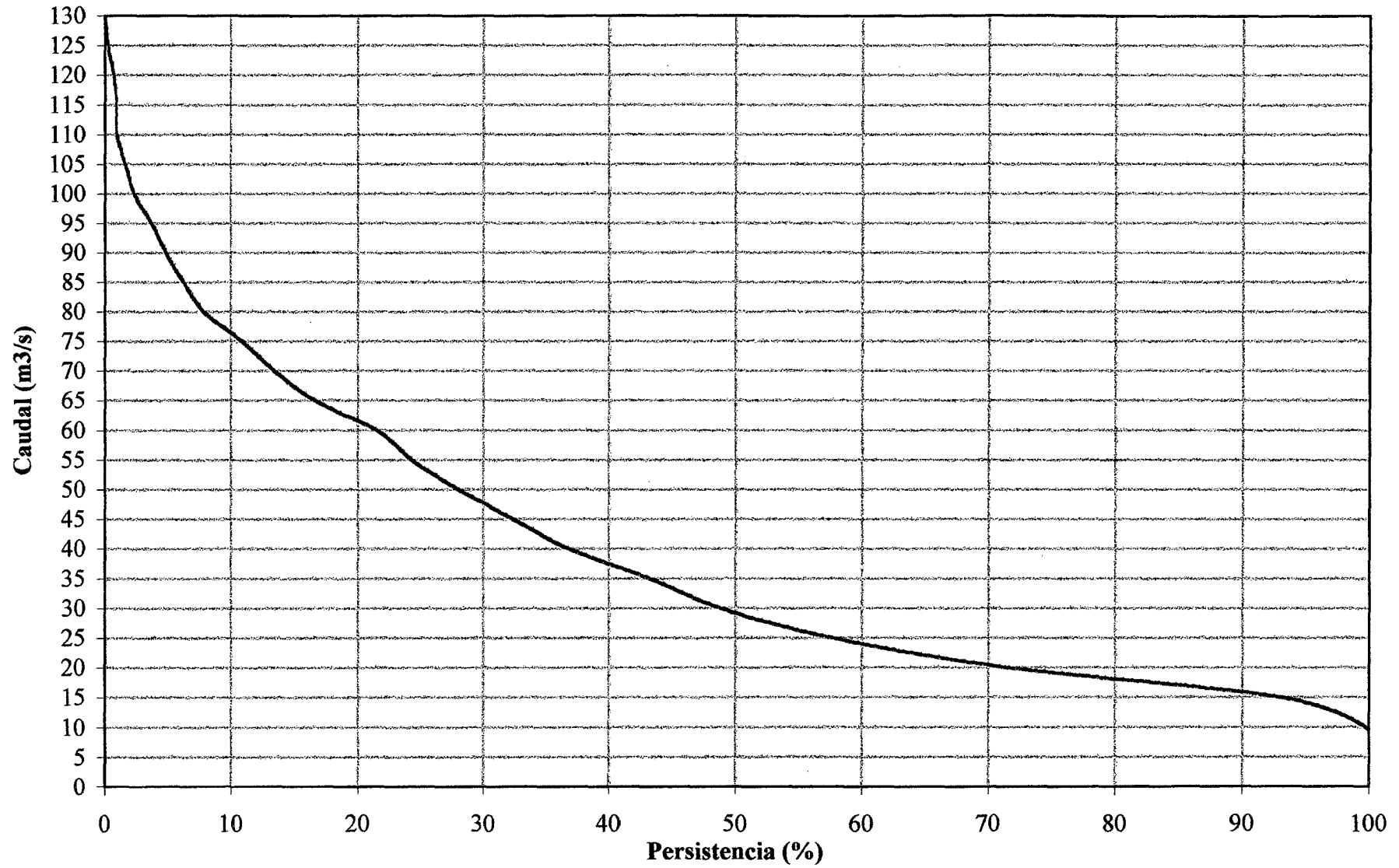


Gráfico No. 2
Curva de duración - Caudales Naturalizados de la C.H. Yaupi

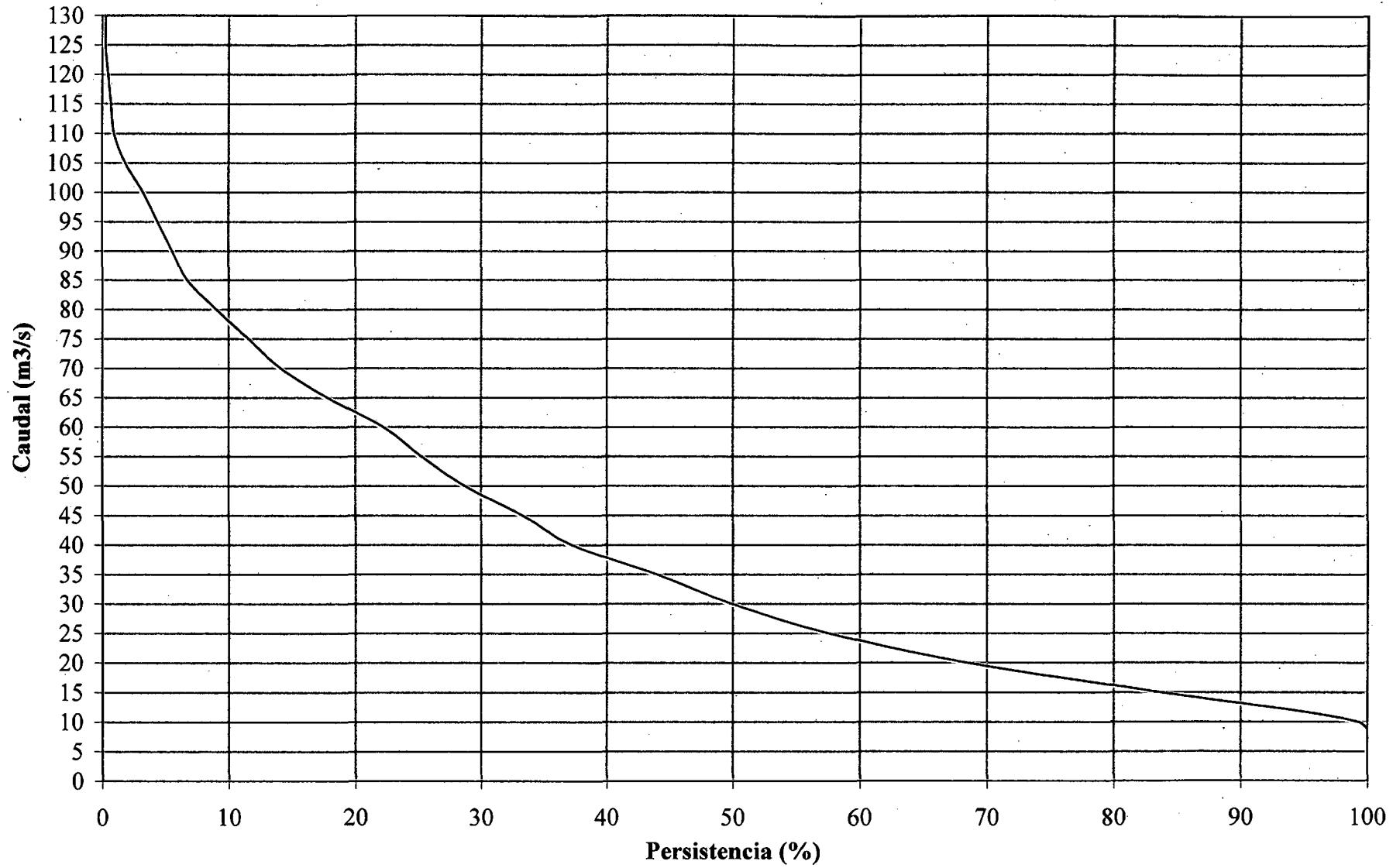


Gráfico No. 3
Curva de duración de caudales regulados - Operación actual de la C.H. Yaupi

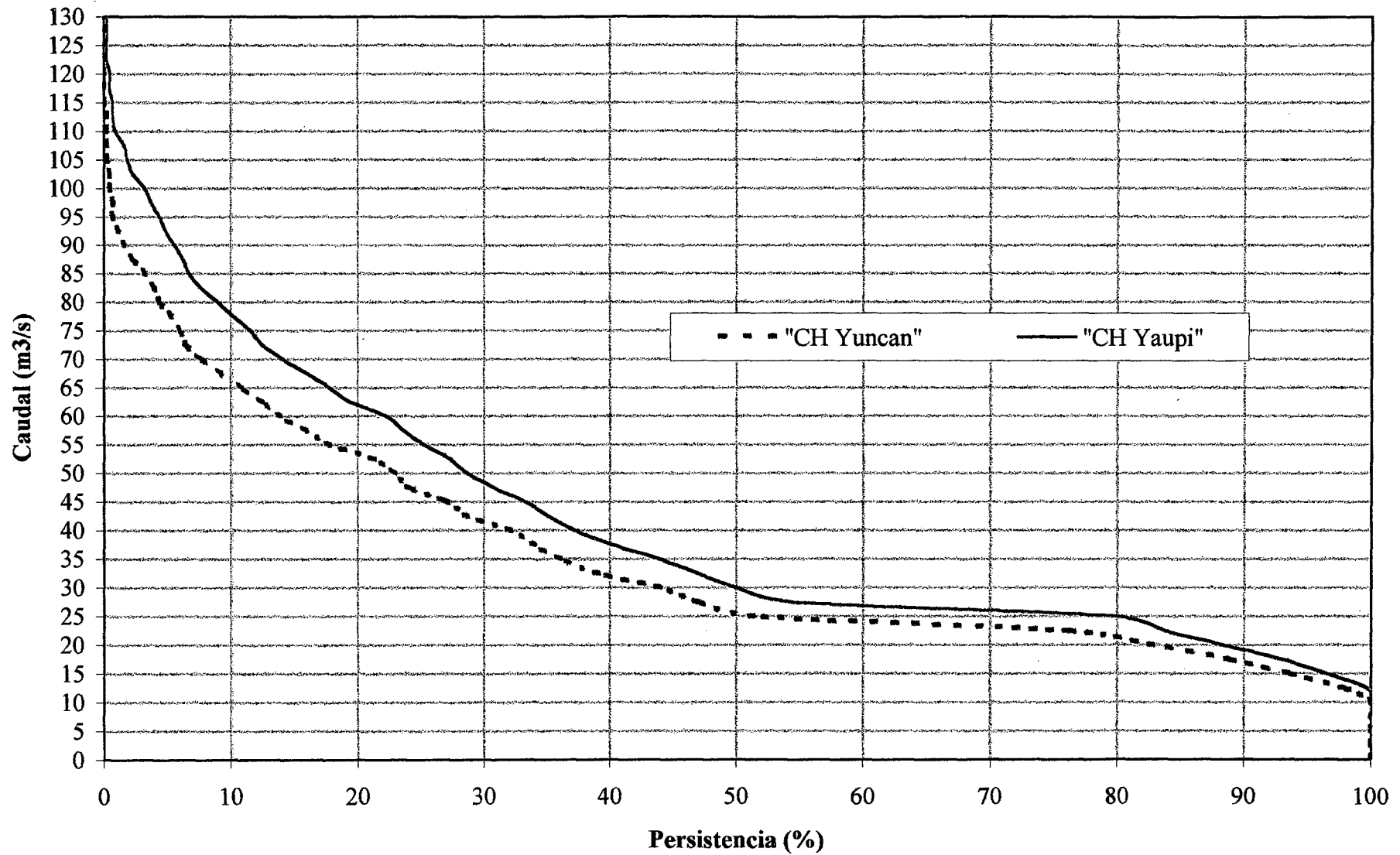


Gráfico No. 4
Curva de duración - Caudales Regulados - Operación en cascada

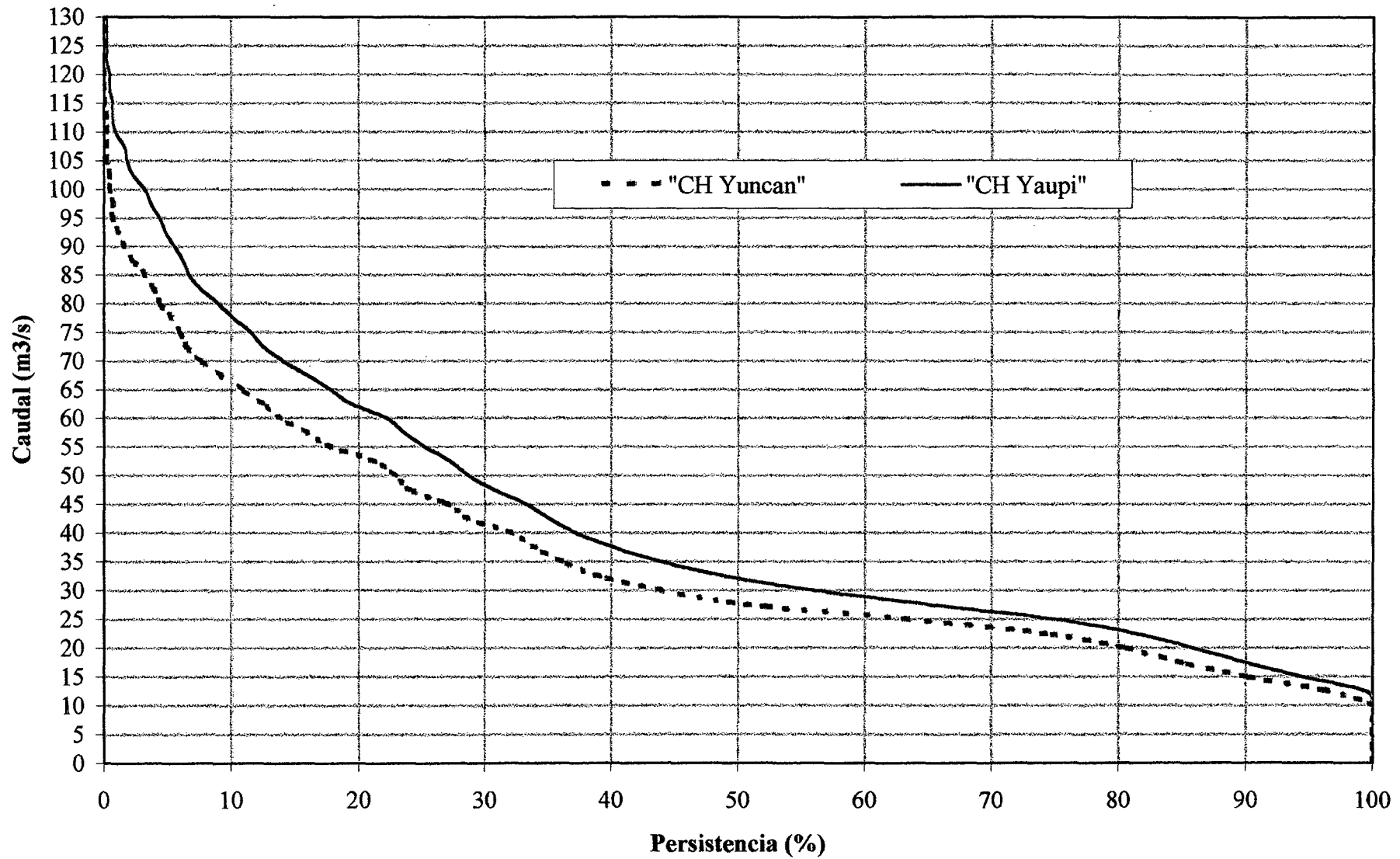
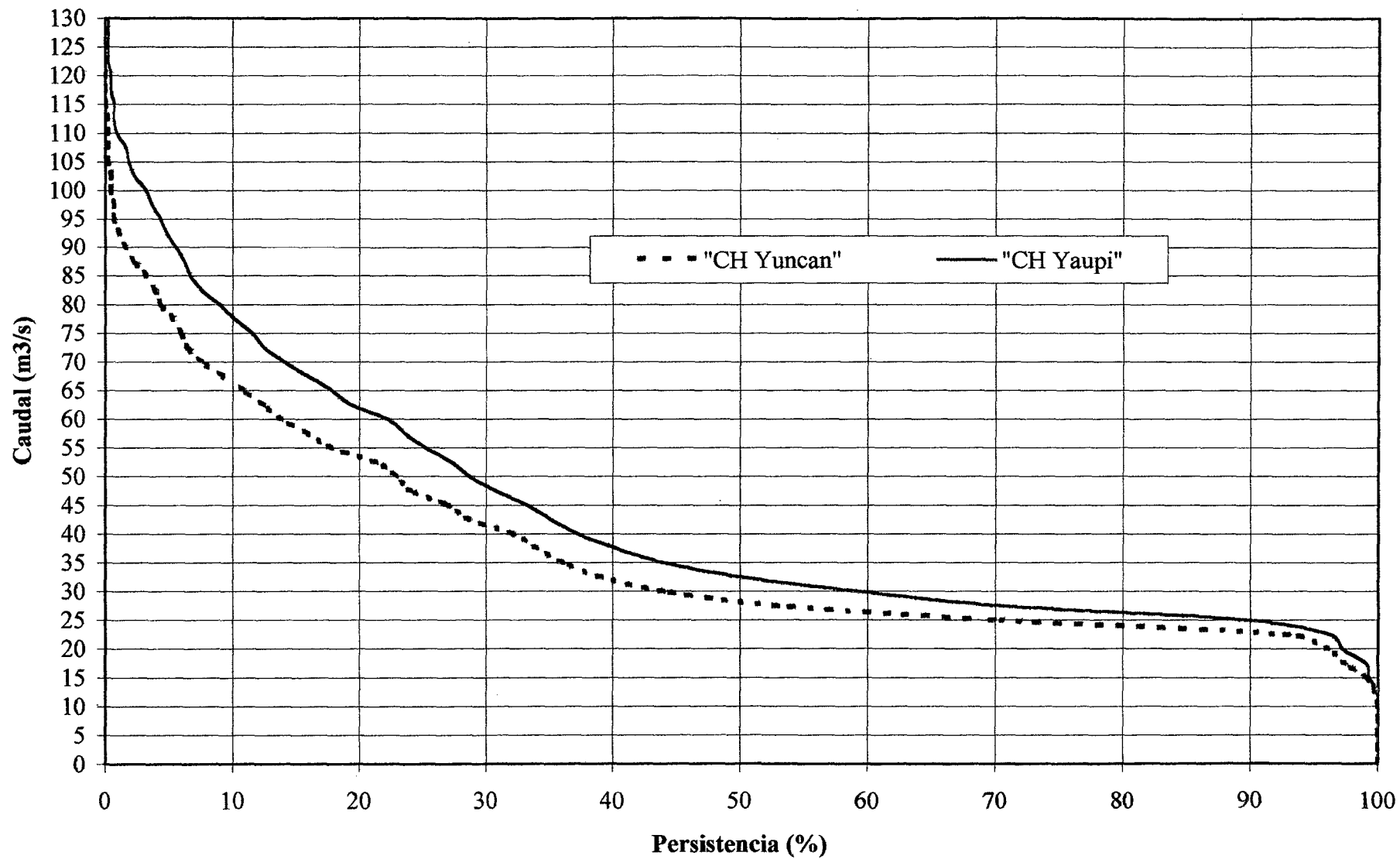


Gráfico No. 5
Curva de duración de caudales regulados con oporte del Chilac - Operación en cascada



CAPITULO 4

ALTERNATIVAS DEL REPOTENCIAMIENTO

Con la finalidad de implementar las alternativas y con ello conseguir el incremento de potencia remunerable, además de minimizar los efectos de reducción de energía anual generable de la C.H. Yaupi por la parada necesaria para realizar los trabajos que involucren, visto en los escenarios del capítulo anterior, se ha analizado 3 propuestas generales que se mencionan a continuación.

4.1 Propuesta 1: Eficiencia del equipamiento electromecánico

De los análisis realizados del estado operativo de la central, determinamos que la eficiencia del equipamiento electromecánico esta alrededor del 82,3%.

Con el fin de recuperar la eficiencia del sistema turbina + generador, se considera realizar las actividades mencionadas en el Estudio “Repotenciamiento de la C.H. Yaupi”:

Descripción	Duración
Rebobinado de los generadores	1 meses/u
Cambio de turbina, inyectores y carcasa	1 meses/u

Estos trabajos incrementarán la eficiencia a 86,6%.

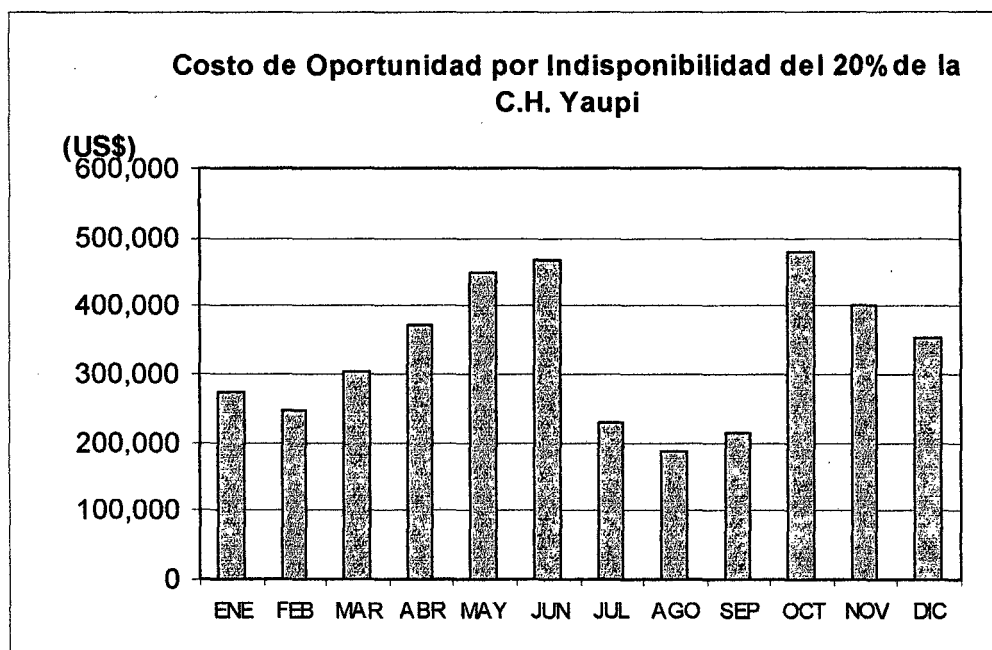
El costo de esta propuesta es de US\$ 8 782 692.

Valorización del tiempo de parada para efectuar las mejoras en el equipamiento electromecánico

Las paradas de las unidades que involucren indisponibilidad para realizar estas modificaciones, se realizarán minimizando el costo de oportunidad.

Del gráfico No. 6, obtenemos los costos de oportunidad, para la parada de una unidad a la vez de la C.H. Yaupi (indisponibilidad del 20%).

Gráfico No. 6



Consideramos realizar las paradas en los meses de febrero y marzo para las unidades 4 y 5, y julio junio y agosto para las unidades 1,2 y 3 ascendiendo el costo de oportunidad a US\$ 1 179 612.

4.2 **Propuesta 2: Eficiencia del sistema de conducción**

Los resultados de las mediciones de pérdidas de carga en el túnel, muestran que existe una pérdida en el túnel de 31 m, debido a la fricción de las paredes rocosas con el flujo de agua.

Existen 4 944 m de longitud del túnel que no están revestidos de concreto, si este sector del túnel se mejora, haciendo obras de revestimiento y limpieza de rocas, las pérdidas por fricción disminuirían a 15,7 m.

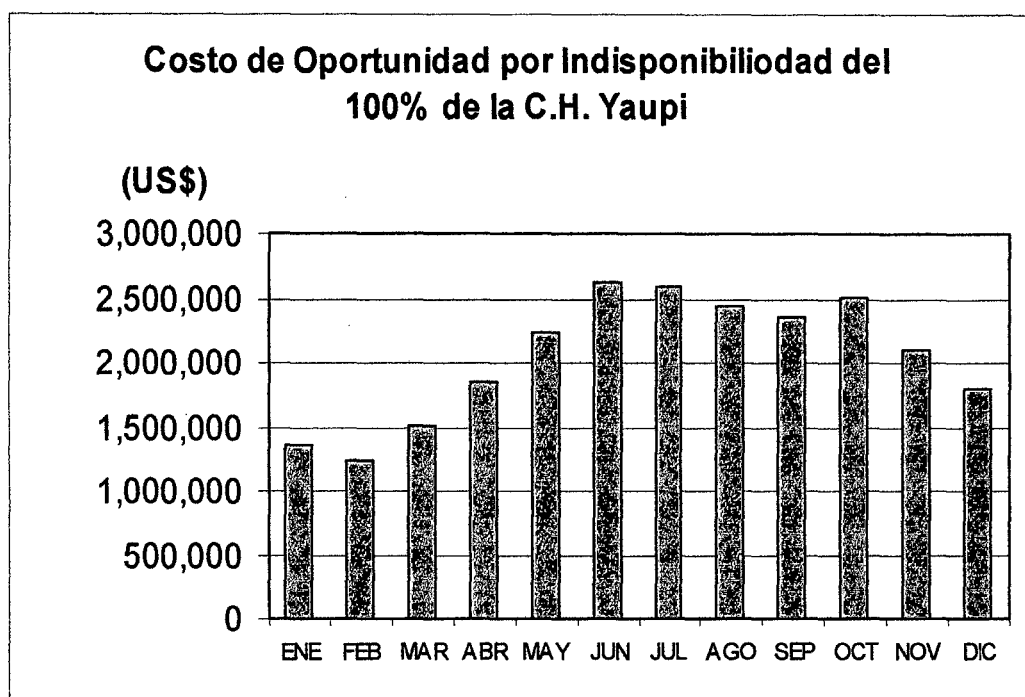
Las obras necesarias y la duración de los trabajos han sido tomados del estudio de repotenciamiento anteriormente mencionado.

Descripción	Duración
Reparación del túnel	1 meses

Valorización del tiempo de parada para efectuar las mejoras en el sistema de conducción

Del gráfico No. 7, obtenemos los costos de oportunidad para la parada total de la central Yaupi.

Gráfico No. 7



Consideramos realizar la parada en el mes de febrero, el costo de oportunidad es US\$ 1 233 221.

4.3 Propuesta 3: Incrementar la capacidad hidraulica e instalación de un nuevo grupo generador

A fin de aprovechar el caudal adicional proveniente de la mayor disponibilidad de caudal turbinado en la C.H. Yuncán, más el adicional de la cuenca intermedia que no es aprovechable por la C.H. Yuncán pero que si es posible aprovecharlo en la C.H. Yaupi, esta propuesta incluye instalar una nueva unidad de generación.

Para la captación y aprovechamiento del caudal adicional, se realizarían obras, que son extraídas del estudio de repotenciamiento mencionado.

Descripción	Duración
Ampliación de la toma	2 meses
Nueva tubería forzada	2 meses
Nueva unidad de generación	2 meses

Esta propuesta no involucra indisponibilidad de la central, por lo que el costo de oportunidad es cero.

De la combinación de las propuestas anteriores, se muestra la tabla No. 10 de condiciones o casos para la adecuación.

Cabe resaltar que también se ha tomado en cuenta el proyecto de afianzamiento de la cuenca (transvase Chilac) en algunos casos.

Tabla No. 10 - Alternativas para la adecuación

Alternativas del repotenciamiento		Potencia	Pérdidas Túnel y Tuberías	Eficiencia T + G Unids. 1-5	Caudal	Rendi- miento	Energía Media Anual	Costo	
		(MW)	(m)	(%)	(m3/s)	(MW/m3/s)	(MWh)	(US\$)	(US\$/kW)
0	Operación actual de la C.H. Yaupi	100.0	47.87	82.10	25.94	3.86	829,498	0	0
1	Operación en cascada con la C.H. Yuncán sin ninguna modificación en la C.H. Yaupi	100.0	47.87	82.10	25.94	3.86	803,834	0	0
2	Mejora de la eficiencia del conjunto turbina + generador	105.5	47.87	86.64	25.94	4.07	848,320	8,782,692	1,587
3	Mejora del túnel de aducción	103.2	32.60	82.10	25.94	3.98	829,477	2,487,544	780
4	Mejora de la eficiencia del conjunto turbina + generador y del túnel de aducción	108.9	32.60	86.64	25.94	4.20	875,383	11,270,236	1,266
5	Instalación de una unidad adicional (5m3/s y 86,64%)	112.9	62.90	82.10	30.00	3.76	873,859	20,980,980	1,632
6	Instalación de una unidad adicional (10m3/s y 86,64%)	128.0	79.00	82.10	35.00	3.66	934,180	21,772,966	779
7	Ejecución de las alternativas 4 y 5	123.8	40.90	86.64	30.00	4.13	958,799	32,251,216	1,353

Tabla No. 10 - Alternativas para la adecuación

Alternativas del repotenciamiento		Potencia	Pérdidas Túnel y Tuberías	Eficiencia T + G Unids. 1-5	Caudal	Rendi- miento	Energía Media Anual	Costo	
		(MW)	(m)	(%)	(m3/s)	(MW/m3/s)	(MWh)	(US\$)	(US\$/kW)
8	Ejecución de las alternativas 4 y 6	142.0	49.10	86.64	35.00	4.06	1,036,892	33,043,202	786
9	Ejecución de las alternativas 3 y 5	118.2	40.90	82.10	30.00	3.94	915,324	23,468,524	1,288
10	Ejecución de las alternativas 3 y 6	136.5	49.10	82.10	35.00	3.90	996,592	24,260,510	665
11	Ejecución de la alternativa 7 y transvase de cuenca del Chilac	123.8	40.90	86.64	30.00	4.13	1,025,287	42,251,216	1,773
12	Ejecución de la alternativa 8 y transvase de cuenca del Chilac	142.0	49.10	86.64	35.00	4.06	1,109,814	43,043,202	1,024
13	Ejecución de la alternativa 9 y transvase de cuenca del Chilac	118.2	40.90	82.10	30.00	3.94	978,797	33,468,524	1,837
14	Ejecución de la alternativa 10 y transvase de cuenca del Chilac	136.5	49.10	82.10	35.00	3.90	1,066,679	34,260,510	938

CAPITULO 5

INGENIERIA Y ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS

No es objetivo del presente estudio los detalles de ingeniería ni planos de construcción, sino de dar las implicaciones de la operación en cascada de estas centrales y seleccionar la alternativa de adecuación mas conveniente, se han realizado los cálculos necesarios para este objetivo.

5.1 Cálculos de las condiciones actuales

A fin de determinar el estado operativo actual del equipamiento de la C.H. Yaupi, a continuación se describe la metodología y se muestra los cálculos para determinar la eficiencia del equipamiento turbina + generador.

Metodología:

- 1.- De los resultados de medición de pérdidas de carga en el sistema de conducción, se realiza la aproximación al modelo experimental de Manning – Strickler.

Para el caso de las tuberías, además se calculan las pérdidas de carga locales producidas por codos y válvulas.

- 2.- De los conceptos de energía contenido en un flujo incompresible, podemos aplicar la ecuación de Bernoulli entre dos puntos de su recorrido obteniendo:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_p$$

El término H_p representa la energía pérdida en el tramo (1) – (2) como consecuencia de la fricción del fluido contra las paredes y en menor medida de la fricción interna debida a la turbulencia.

El resultado de esta evaluación es la velocidad del chorro de agua en la salida de los inyectores.

- 3.- Luego de obtener la velocidad del chorro de agua podemos calcular el caudal, afectado del coeficiente de caudal que viene a ser el producto del coeficiente de contracción y el coeficiente de velocidad. En la

gráfica No. 8 se muestra el área del chorro correspondiente a la apertura del inyector, tomada del diagrama del fabricante.

- 4.- Como premisa inicial, los cálculos anteriores están realizados para la condición de operación de una potencia de 100 MW. Con la relación siguiente podemos obtener la eficiencia del conjunto turbina + generador.

$$P = 9.81 \times Q \times H_n \times n_{t+g}$$

El resultado obtenido fue:

$$n_{t+g} = 82,3\%$$

Los cálculos se muestran en el apéndice No. 1.

5.2 Cálculo de las pérdidas en túnel de aducción reparado

El modelo de las pérdidas de carga por fricción en el túnel de aducción, como se menciona en el Capítulo 2 se ha realizado con la fórmula experimental de Manning – Strickler.

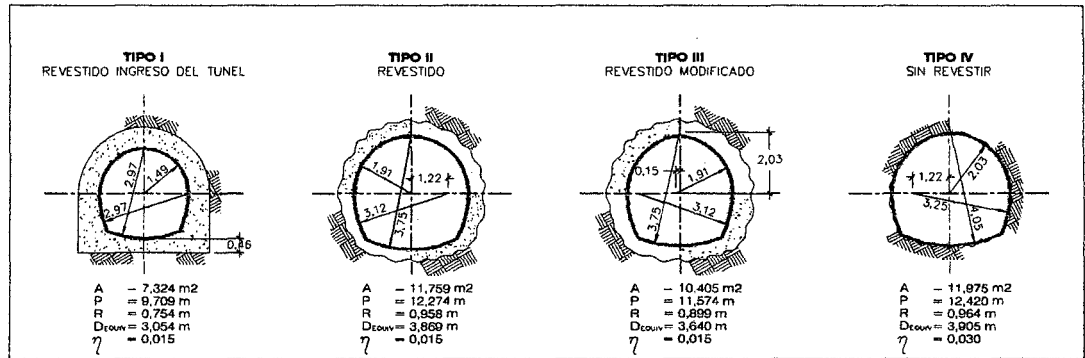
Las reparaciones básicamente conseguirán reducir el coeficiente de rozamiento de Manning de 0,030 a 0,015, en el tramo de pared rocosa del túnel.

Las cuatro secciones básicas del túnel se muestran en la figura No. 5.

La reparación conseguirá reducir las pérdidas a valores que se muestran en la tabla No. 11.

Los cálculos se muestran en el apéndice No. 2.

Figura No.5 – Secciones típicas del Túnel Aductor



A continuación se muestra el gráfico que compara las pérdidas de carga en el túnel actual con el túnel reparado.

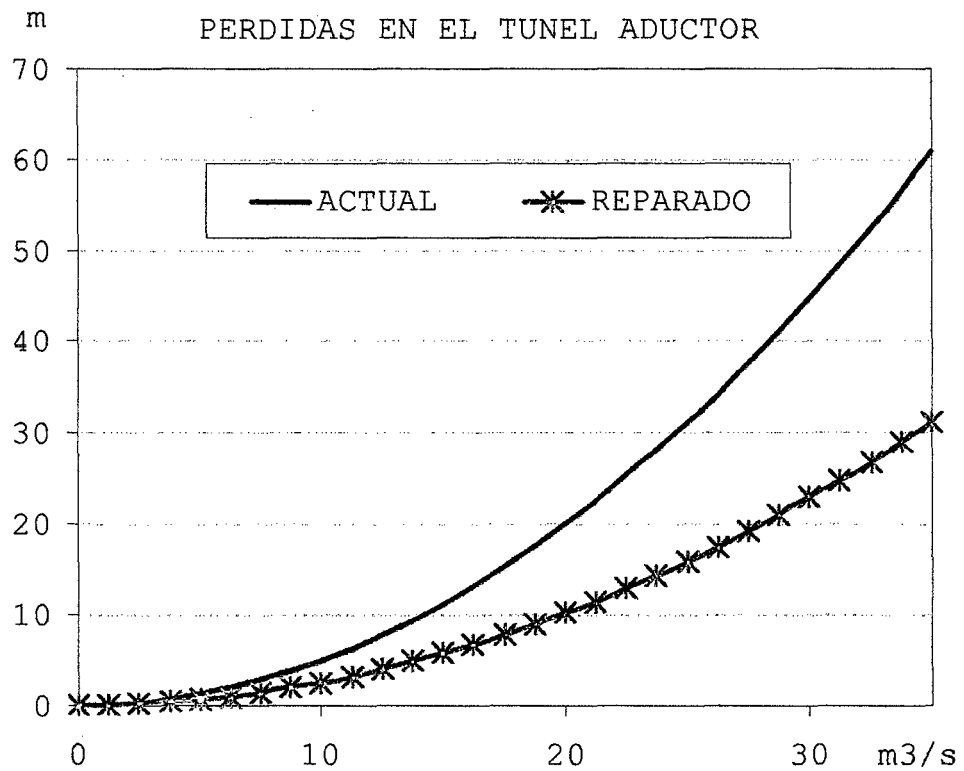


Tabla No. 11
Pérdidas de carga en el Túnel reparado

Potencia (MW)	Caudal (m ³ /s)	Pérdidas Manning (m)
5,00	1,25	0,04
10,00	2,50	0,16
15,00	3,75	0,35
20,00	5,00	0,63
25,00	6,25	0,99
30,00	7,50	1,42
35,00	8,75	1,93
40,00	10,00	2,52
45,00	11,25	3,19
50,00	12,50	3,94
55,00	13,75	4,77
60,00	15,00	5,68
65,00	16,25	6,66
70,00	17,50	7,73
75,00	18,75	8,87
80,00	20,00	10,09
85,00	21,25	11,39
90,00	22,50	12,77
95,00	23,75	14,23
100,00	25,00	15,77
105,00	26,25	17,39
110,00	27,50	19,08
115,00	28,75	20,86
120,00	30,00	22,71
125,00	31,25	24,64
130,00	32,50	26,65
135,00	33,75	28,74
140,00	35,00	30,91

5.3 Cálculo del diámetro de la tubería nueva

Para el cálculo de la tubería nueva que es parte de la propuesta de adicionar una unidad de generación, esta basado en un criterio práctico el cual es limitar las pérdidas de carga a un determinado porcentaje del salto bruto. Un enfoque más riguroso exigiría considerar varios diámetros posibles, calcular las pérdidas anuales de energía en cada uno de ellos y actualizarlas a lo largo de la vida del proyecto, además de graficar el costo de cada una de ellos y de estas dos curvas se elegiría el diámetro óptimo.

En este estudio hemos limitado las pérdidas de carga en la tubería al 4% del salto bruto, los resultados se muestran en la tabla No. 12.

En el apéndice No. 3 se muestra el desarrollo de los cálculos.

Tabla No. 12

Diámetros calculados para la tubería nueva

Pérdidas Manning (m)	Caudal (m ³ /s)	Diámetro (m)
21,05	5,00	1,17
21,05	7,50	1,36
21,05	10,00	1,51
21,05	12,50	1,65
21,05	15,00	1,76
21,05	17,50	1,87
21,05	20,00	1,96
21,05	22,50	2,05
21,05	25,00	2,14
21,05	27,50	2,21
21,05	30,00	2,29
21,05	32,50	2,36
21,05	35,00	2,42

5.4 Costos de cada propuesta

Los costos han sido tomados del estudio de “Repotenciamiento de la C.H. Yaupi”, y están referidos a costos totales de suministro e instalación.

A continuación se muestran las tablas de costos Nos. 13, 14 y 15 correspondientes a cada propuesta en dólares americanos (US\$).

Gráfico No. 8 - Diámetro del chorro de agua del inyector

d/2 (mm)

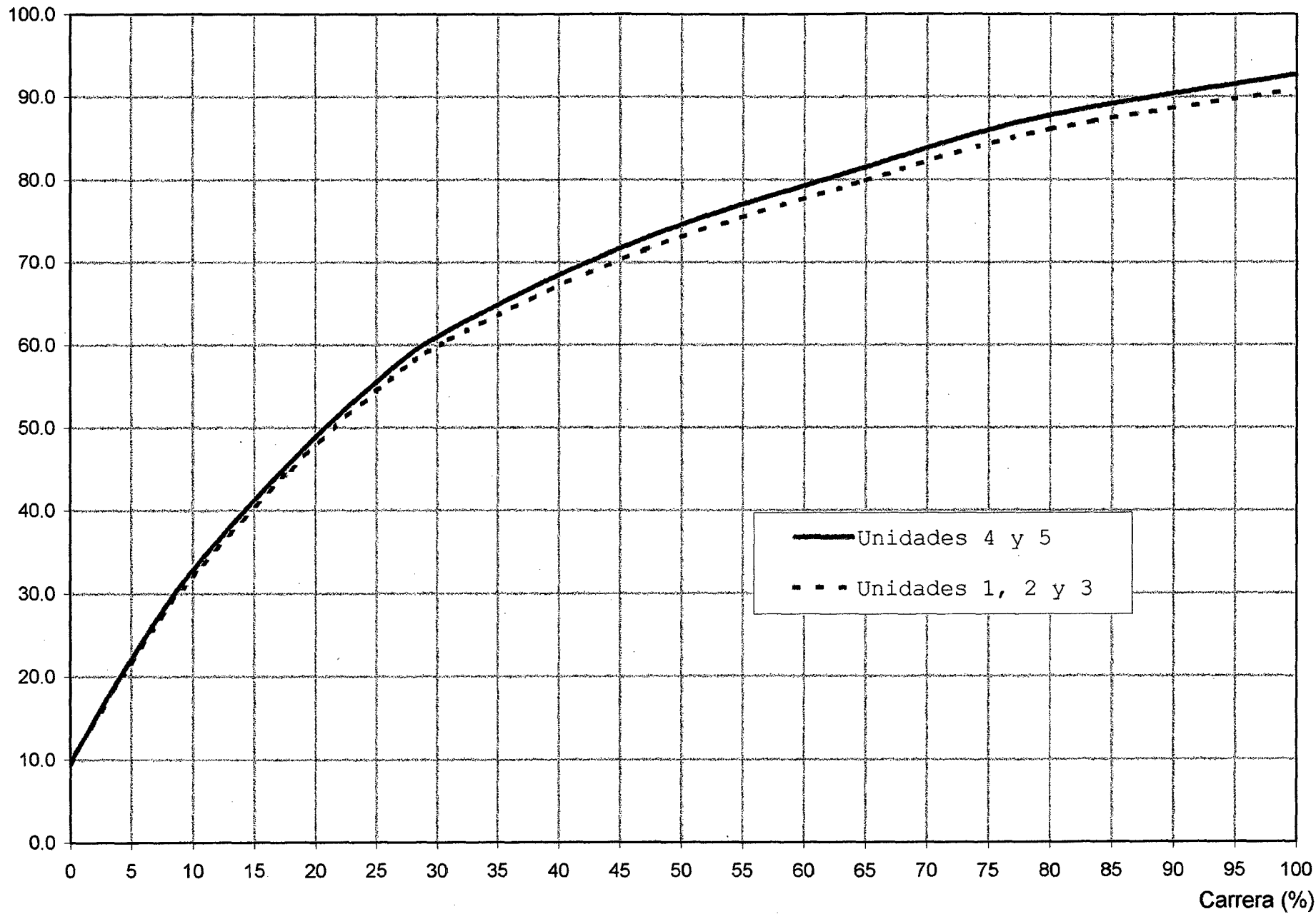


Tabla No. 13
Costos de la Propuesta No. 1 (US\$)
Eficiencia del equipamiento electromecánico

Mejoras en Unidades U1, U2, U3, U4 y U5	Suministro	Instalación	Total
Reemplazo de Turbinas: U4 y U5	600,000	100,000	700,000
Reemplazo de Turbinas: U1, U2 y U3	900,000	150,000	1,050,000
Modificación de la Carcasa	150,000	20,000	170,000
Ejes nuevos	500,000	175,000	675,000
Modificación Inyectores	500,000	1,000,000	1,500,000
Rebobinado de Generadores	1,300,000	1,300,000	2,600,000
Sistema de Control	100,000	50,000	150,000
Subtotal	4,050,000	2,795,000	6,845,000
Obras civiles relacionadas		150,000	150,000
Subtotal		150,000	150,000
Total Obras Civiles y Equipo Electromecanico	4,050,000	2,945,000	6,995,000
Derechos de Impotacion 12 %			464,640
Contingencias 7,5%			524,625
Total Suministro e Instalación			7,984,265
Ingenieria 4%			319,371
Supervision 6%			479,056
Costo Total			8,782,692

Tabla No. 14
Costos de la Propuesta No. 2 (US\$)
Propuesta No. 2: Eficiencia del sistema de conducción

Descripción	Cant.	Unid.	Costo Unitario	Total
Reparación del Túnel				
Traslado de Equipos				15,000
Roca floja - Concreto	m	4,945	10	49,450
Limpieza del tunel	m3	460	10	4,600
Shotcrete para estabilizacion	m2	27,670	50	1,607,150
Subtotal				1,676,200
Imprevistos				
Reforzamiento con fibras		593	366	217,038
Shotcrete adicional		200	366	73,200
Subtotal				290,238
Total Obras				1,966,438
Derechos de Impotacion 12 %				235,973
Contingencias 15%				294,966
Total Suministro e Instalación				2,261,404
Ingenieria 4%				90,456
Supervision 6%				135,684
Costo Total				2,487,544

Tabla No. 15
Costos de la Propuesta No. 3-A (US\$)
Incrementar el dimensionamiento hidraulico
Unidad adicional con un caudal de 10 m3/s

Descripción	Cant.	Unid.	Costo Unitario	Total US\$
General				
Campamento, cerco, accesos, seguridad, etc				1,000,000
Subtotal				1,000,000

Modificacion de la Toma Yuncán				
Excavacion overburden	14,721	m ³	6.2	91,270
Excavation en roca	378	m ³	10.7	4,045
Canal Tailrace	650	m ³	129.0	83,850
Canal By-pass	1,746	m ³	120.0	209,520
Concrete - Forebay 2	1,013	m ³	114.0	115,482
Concrete - Retrofit Existing Structures	638	m ³	112.5	71,775
Concrete - New tunnel intake	280	m ³	114.0	31,920
Formwork	4,075	m ²	16.0	65,200
Wall backfill	4,000	m ³	6.0	24,000
Select fill	1,000	m ³	19.3	19,300
Waterstop	750	m	30.0	22,500
Drains	350	m	10.0	3,500
Rebar	230,000	kg	1.1	241,500
Gate, 5.7 ' 4.5 vertical	1		77310.0	77,310
Gate, 5.7 ' 2.5 vertical	1		47380.0	47,380
Gate, 2.6 ' 2.0 vertical	2		13500.0	27,000
trashracks	1		40000.0	40,000
Miscellaneous metal	1,000	kg	1.5	1,500
Subtotal				1,177,052

Tuberia Forzada				
Peso total	672,000	Kg	2.5	1,680,000
Instalación	1,300	m	600.0	780,000
Subtotal				2,460,000

Tabla No. 15
Costos de la Propuesta No. 3-A (US\$)
Incrementar el dimensionamiento hidraulico
Unidad adicional con un caudal de 10 m3/s

Descripción	Cant.	Unid.	Costo Unitario	Total US\$
Casa de Maquinas				
Demolish, reinforced concrete	300	m3	25.0	7,500
Excavation	320	m3	10.0	3,200
Concrete columns	1,008	m3	120.0	120,960
Masonry walls	850	m2	110.0	93,500
Formwork	680	m2	28.0	19,040
Reinforcement	78,000	kg	1.0	78,000
Roofing	374	m2	40.0	14,960
Backfill	400	m3	6.0	2,400
Select fill	55	m3	15.0	825
Drains	100	m	10.0	1,000
Grounding	1	ls	50000.0	50,000
Miscellaneous metals	1	ls	80000.0	80,000
Relocate main door	1	ls	5000.0	5,000
Windows	125	m2	50.0	6,250
Lighting and electrical	1	ls	80000.0	80,000
Plumbing	1	ls	30000.0	30,000
Subtotal				592,635

Unidad Adicional U6				
Valvulas esfericas				875,000
Turbina				3,145,000
Gobernador				717,000
Generador				3,822,000
Sistema de Control				151,000
Sistema de Proteccion				220,000
Sistema de Excitación estático (AVR/FB)				185,000
VT/surge protection & neutral cubicles				115,000
Interruptor del generador				213,000
Cables				326,000
Sistema de enfriamiento				300,000
Sistema contraincendio				150,000

Tabla No. 15
Costos de la Propuesta No. 3-A (US\$)
Incrementar el dimensionamiento hidraulico
Unidad adicional con un caudal de 10 m³/s

Descripción	Cant.	Unid.	Costo Unitario	Total US\$
Sistema de ventilacion				200,000
Sistema de drenaje				150,000
Sistema de aire comprimido				100,000
Valvula mariposa				300,000
Tabajos electricos				365,000
Subtotal				11,334,000
Total Civiles y Electromecanicas				16,563,687
Derechos de Impotacion 12 %				1,987,642
Contingencias 7,5%				1,242,277
Total Suministro e Instalación				19,793,606
Ingenieria 4%				791,744
Supervision 6%				1,187,616
Costo Total				21,772,966

Tabla No. 15
Costos de la Propuesta No. 3-B (US\$)
Incrementar el dimensionamiento hidraulico
Unidad adicional con un caudal de 5 m³/s

Descripción	Cant.	Unid.	Costo Unitario	Total US\$
General				
Campamento, cerco, accesos, seguridad, etc				1,000,000
Subtotal				1,000,000

Modificacion de la Toma Yuncan				
Excavacion overburden	14,721	m ³	6.2	91,270
Excavation en roca	378	m ³	10.7	4,045
Canal Tailrace	650	m ³	129.0	83,850
Canal By-pass	1,746	m ³	120.0	209,520
Concrete - Forebay 2	1,013	m ³	114.0	115,482
Concrete - Retrofit Existing Structures	638	m ³	112.5	71,775
Concrete - New tunnel intake	280	m ³	114.0	31,920
Formwork	4,075	m ²	16.0	65,200
Wall backfill	4,000	m ³	6.0	24,000
Select fill	1,000	m ³	19.3	19,300
Waterstop	750	m	30.0	22,500
Drains	350	m	10.0	3,500
Rebar	230,000	kg	1.1	241,500
Gate, 5.7 ' 4.5 vertical	1		77310.0	77,310
Gate, 5.7 ' 2.5 vertical	1		47380.0	47,380
Gate, 2.6 ' 2.0 vertical	2		13500.0	27,000
trashracks	1		40000.0	40,000
Miscellaneous metal	1,000	kg	1.5	1,500
Subtotal				1,177,052

Tuberia Forzada				
Peso total	431,000	Kg	2.5	1,077,500
Instalación	1,300	m	600.0	780,000
Subtotal				1,857,500

Tabla No. 15
Costos de la Propuesta No. 3-B (US\$)
Incrementar el dimensionamiento hidraulico
Unidad adicional con un caudal de 5 m³/s

Descripción	Cant.	Unid.	Costo Unitario	Total US\$
Casa de Maquinas				
Demolish, reinforced concrete	300	m3	25.0	7,500
Excavation	320	m3	10.0	3,200
Concrete columns	1,008	m3	120.0	120,960
Masonry walls	850	m2	110.0	93,500
Formwork	680	m2	28.0	19,040
Reinforcement	78,000	kg	1.0	78,000
Roofing	374	m2	40.0	14,960
Backfill	400	m3	6.0	2,400
Select fill	55	m3	15.0	825
Drains	100	m	10.0	1,000
Grounding	1	ls	50000.0	50,000
Miscellaneous metals	1	ls	80000.0	80,000
Relocate main door	1	ls	5000.0	5,000
Windows	125	m2	50.0	6,250
Lighting and electrical	1	ls	80000.0	80,000
Plumbing	1	ls	30000.0	30,000
Subtotal				592,635

Unidad Adicional U6				
Valvulas esfericas				875,000
Turbina				3,145,000
Gobernador				717,000
Generador				3,822,000
Sistema de Control				151,000
Sistema de Proteccion				220,000
Sistema de Excitación estático (AVR/FB)				185,000
VT/surge protection & neutral cubicles				115,000
Interruptor del generador				213,000
Cables				326,000
Sistema de enfriamiento				300,000
Sistema contra incendio				150,000

Tabla No. 15
Costos de la Propuesta No. 3-B (US\$)
Incrementar el dimensionamiento hidraulico
Unidad adicional con un caudal de 5 m³/s

Descripción	Cant.	Unid.	Costo Unitario	Total US\$
Sistema de ventilacion				200,000
Sistema de drenaje				150,000
Sistema de aire comprimido				100,000
Valvula mariposa				300,000
Tabajos electricos				365,000
Subtotal				11,334,000
Total Civiles y Electromecanicas				15,961,187
Derechos de Impotacion 12 %				1,915,342
Contingencias 7,5%				1,197,089
Total Suministro e Instalación				19,073,618
Ingenieria 4%				762,945
Supervision 6%				1,144,417
Costo Total				20,980,980

CAPITULO 6
EVALUACIÓN ECONOMICA

6.1 Resultados económicos de las matrices de potencia generable de la C.H.

Yaupi

A continuación se muestran los ingresos por potencia y energía para cada condición evaluada:

Condición		Potencia	Energía Generable Media Anual	Ingresos anuales
		(MW)	(MWh)	(US\$)
0	Actual - Operación solo C.H. Yaupi	100	829,498	24,576,569
1	Actual - Operación en cascada	100	803,834	23,770,761
2	Mejora de Eficiencia (Turbina + Generador)	105.5	848,045	25,078,153
3	Mejora del Túnel de Aducción	103.2	829,556	24,531,425
4	Condición 2 y 3	108.9	875,375	25,886,358
5	Unidad Adicional (5m ³ /s y 86,64%)	112.9	874,175	25,858,177
6	Unidad Adicional (10m ³ /s y 86,64%)	128	934,478	27,723,642

7	Condición 4 y 5	123.8	958,573	28,354,671
8	Condición 4 y 6	142	1,036,687	30,755,915
9	Condición 3 y 5	118.2	915,213	27,072,069
10	Condición 3 y 6	136.5	996,534	29,564,665
11	Condición 7 y Transvase Chilac	123.8	1,025,045	30,418,878
12	Condición 8 y Transvase Chilac	142	1,109,594	33,010,347
13	Condición 9 y Transvase Chilac	118.2	978,678	29,042,903
14	Condición 10 y Transvase Chilac	136.5	1,066,617	31,731,777

6.2 Cálculo de los índices económicos

Para poder seleccionar las alternativas más convenientes se calculará el valor actual neto (VAN) de cada una de ellas y se seleccionarán las que presenten el VAN mayor. Un resumen de estos resultados se muestra en la tabla No. 16. Para los cálculos anteriores, se ha considerado lo siguiente:

Tasa de descuento : 12%

Años de vida : 20 años

Los costos anuales de operación y mantenimiento se han asumido en US\$ 3 300 000 para todas las alternativas. Para el cálculo de los ingresos por potencia firme, se ha considerado 85% de la potencia instalada de cada alternativa, proveniente de la

experiencia de Electroandes durante los últimos años. Los precios marginales considerados son el promedio de la proyección para los próximos 4 años. Estos se muestran en la tabla No. 17. Para considerar la inversión del transvase Chilac, se ha repartido entre el costo total de US\$ 20 000 000 entre las centrales Yuncán y Yaupi en partes iguales.

6.3 Análisis de sensibilidad

El VAN es muy sensible a la variación de la tasa de descuento y un error en la estimación de la tasa a aplicar puede falsear el orden de prioridad de las alternativas.

Se realizará el análisis para tasas del 8,10 y 14%, los resultados se muestran en las tablas Nos. 18, 19 y 20 respectivamente.

Tabla No. 16 - Cuadro Comparativo de Indices Económicos (tasa 12%)

Alternativas del repotenciamiento		Inversión (US\$)	VAN (US\$)	TIR (%)	B/C
0	Operación actual de la C.H. Yaupi	0	111,246,892	-	4.51
1	Operación en cascada con la C.H. Yuncán sin ninguna modificación en la C.H. Yaupi	0	107,033,635	-	4.34
2	Mejora de la eficiencia del conjunto turbina + generador	8,782,692	106,095,728	172.42	3.18
3	Mejora del túnel de aducción	2,487,544	108,333,758	577.41	3.84
4	Mejora de la eficiencia del conjunto turbina + generador y del túnel de aducción	11,270,236	108,137,694	139.82	3.04
5	Instalación de una unidad adicional (5m ³ /s y 86,64%)	20,980,980	100,474,389	78.22	2.45
6	Instalación de una unidad adicional (10m ³ /s y 86,64%)	21,772,966	109,573,113	81.49	2.60
7	Ejecución de las alternativas 4 y 5	32,251,216	103,652,809	56.60	2.12
8	Ejecución de las alternativas 4 y 6	33,043,202	115,547,069	60.38	2.28
9	Ejecución de las alternativas 3 y 5	23,468,524	104,222,721	72.70	2.37
10	Ejecución de las alternativas 3 y 6	24,260,510	116,589,714	77.57	2.57
11	Ejecución de la alternativa 7 y transvase de cuenca del Chilac	42,251,216	102,221,691	46.11	1.90
12	Ejecución de la alternativa 8 y transvase de cuenca del Chilac	43,043,202	114,859,705	49.45	2.05
13	Ejecución de la alternativa 9 y transvase de cuenca del Chilac	33,468,524	104,944,710	55.58	2.11
14	Ejecución de la alternativa 10 y transvase de cuenca del Chilac	34,260,510	117,910,081	59.66	2.28

Tabla No. 17

Costos Marginales Promedio (US\$/MWh)			
Mes	Punta	Media	Base
Enero	24.9	9.8	7.5
Febrero	19.3	11.7	5.8
Marzo	27.8	13.9	6.6
Abril	44.6	15.2	11.4
Mayo	29.6	22.1	21.9
Junio	32.0	30.5	30.3
Julio	36.6	32.4	32.1
Agosto	34.3	33.0	32.5
Septiembre	30.9	30.4	29.9
Octubre	29.3	27.2	27.1
Noviembre	25.1	22.2	21.7
Diciembre	21.8	17.1	15.7

Proyección del COES realizada en noviembre del 2003, para los años 2004-2007.

Costos por Potencia mensual (US\$/MW)
6280

Tabla No. 18 - Cuadro Comparativo de Indices Económicos (tasa 8%)

Alternativas del repotenciamiento		Inversión (US\$)	VAN (US\$)	TIR (%)	B/C
0	Operación actual de la C.H. Yaupi	0	146,227,543	-	4.51
1	Operación en casacada con la C.H. Yuncán sin ninguna modificación en la C.H. Yaupi	0	140,689,462	-	4.34
2	Mejora de la eficiencia del conjunto turbina + generador	8,782,692	142,118,302	172.36	3.17
3	Mejora del túnel de aducción	2,487,544	143,309,418	577.47	3.85
4	Mejora de la eficiencia del conjunto turbina + generador y del túnel de aducción	11,270,236	145,606,759	139.81	3.04
5	Instalación de una unidad adicional (5m ³ /s y 86,64%)	20,980,980	138,278,200	78.25	2.45
6	Instalación de una unidad adicional (10m ³ /s y 86,64%)	21,772,966	150,466,424	81.51	2.60
7	Ejecución de las alternativas 4 y 5	32,251,216	145,813,281	56.59	2.12
8	Ejecución de las alternativas 4 y 6	33,043,202	161,683,760	60.37	2.28
9	Ejecución de las alternativas 3 y 5	23,468,524	144,013,051	72.69	2.37
10	Ejecución de las alternativas 3 y 6	24,260,510	160,511,365	77.56	2.57
11	Ejecución de la alternativa 7 y transvase de cuenca del Chilac	42,251,216	111,860,531	37.63	1.55
12	Ejecución de la alternativa 8 y transvase de cuenca del Chilac	43,043,202	111,227,974	36.99	1.53
13	Ejecución de la alternativa 9 y transvase de cuenca del Chilac	33,468,524	118,875,245	46.78	1.77
14	Ejecución de la alternativa 10 y transvase de cuenca del Chilac	34,260,510	118,242,688	45.76	1.75

Tabla No. 19 - Cuadro Comparativo de Indices Económicos (tasa 10%)

Alternativas del repotenciamiento		Inversión (US\$)	VAN (US\$)	TIR (%)	B/C
0	Operación actual de la C.H. Yaupi	0	126,797,597	-	4.51
1	Operación en cascada con la C.H. Yuncán sin ninguna modificación en la C.H. Yaupi	0	121,995,388	-	4.34
2	Mejora de la eficiencia del conjunto turbina + generador	8,782,692	122,091,154	172.36	3.17
3	Mejora del túnel de aducción	2,487,544	123,889,788	577.47	3.85
4	Mejora de la eficiencia del conjunto turbina + generador y del túnel de aducción	11,270,236	124,800,790	139.81	3.04
5	Instalación de una unidad adicional (5m3/s y 86,64%)	20,980,980	117,321,927	78.25	2.45
6	Instalación de una unidad adicional (10m3/s y 86,64%)	21,772,966	127,793,157	81.51	2.60
7	Ejecución de las alternativas 4 y 5	32,251,216	122,397,277	56.59	2.12
8	Ejecución de las alternativas 4 y 6	33,043,202	136,061,483	60.37	2.28
9	Ejecución de las alternativas 3 y 5	23,468,524	121,917,332	72.69	2.37
10	Ejecución de las alternativas 3 y 6	24,260,510	136,125,950	77.56	2.57
11	Ejecución de la alternativa 7 y transvase de cuenca del Chilac	42,251,216	91,725,068	37.63	1.55
12	Ejecución de la alternativa 8 y transvase de cuenca del Chilac	43,043,202	91,079,074	36.99	1.53
13	Ejecución de la alternativa 9 y transvase de cuenca del Chilac	33,468,524	98,888,784	46.78	1.77
14	Ejecución de la alternativa 10 y transvase de cuenca del Chilac	34,260,510	98,242,790	45.76	1.75

Tabla No. 20 - Cuadro Comparativo de Indices Económicos (tasa 14%)

Alternativas del repotenciamiento		Inversión (US\$)	VAN (US\$)	TIR (%)	B/C
0	Operación actual de la C.H. Yaupi	0	98,642,245	-	4.51
1	Operación en cascada con la C.H. Yuncán sin ninguna modificación en la C.H. Yaupi	0	94,906,364	-	4.34
2	Mejora de la eficiencia del conjunto turbina + generador	8,782,692	93,046,089	172.36	3.17
3	Mejora del túnel de aducción	2,487,544	95,746,284	577.47	3.85
4	Mejora de la eficiencia del conjunto turbina + generador y del túnel de aducción	11,270,236	94,619,669	139.81	3.04
5	Instalación de una unidad adicional (5m ³ /s y 86,64%)	20,980,980	86,886,224	78.25	2.45
6	Instalación de una unidad adicional (10m ³ /s y 86,64%)	21,772,966	94,866,820	81.51	2.60
7	Ejecución de las alternativas 4 y 5	32,251,216	88,365,435	56.59	2.12
8	Ejecución de las alternativas 4 y 6	33,043,202	98,830,008	60.37	2.28
9	Ejecución de las alternativas 3 y 5	23,468,524	89,827,391	72.69	2.37
10	Ejecución de las alternativas 3 y 6	24,260,510	100,715,489	77.56	2.57
11	Ejecución de la alternativa 7 y transvase de cuenca del Chilac	42,251,216	62,414,265	37.63	1.55
12	Ejecución de la alternativa 8 y transvase de cuenca del Chilac	43,043,202	61,746,212	36.99	1.53
13	Ejecución de la alternativa 9 y transvase de cuenca del Chilac	33,468,524	69,822,611	46.78	1.77
14	Ejecución de la alternativa 10 y transvase de cuenca del Chilac	34,260,510	69,154,557	45.76	1.75

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

- 1.- Del análisis económico realizado en el presente estudio, la condición 10 que involucra mejorar la eficiencia del sistema de conducción ejecutando obras de reparación del túnel aductor e instalar una unidad de generación de 10 m³/s, ejecutando obras de ampliación de la toma de la central, instalando una nueva tubería forzada y el equipamiento electromecánico correspondiente, presenta los índices económicos más atractivos.

VAN (US\$)	116 580 623
B/C	2,57
Inversión (US\$)	24 260 510

- 2.- Para la selección de la alternativa más conveniente tanto técnica como económica, es importante mencionar que la C.H. Yaupi cuenta con más de 35 años de servicio, durante el cual las unidades de generación, en especial los generadores no han recibido un mantenimiento total, por lo que recomendamos la condición 8, que adicional a lo anterior, se debe realizar el rebobinado de los generadores, cambio de rodets, modificaciones en la

carcasa y sistema de inyectores, mejorando así la eficiencia del equipamiento electromecánico, alargando el tiempo de vida de la central.

VAN (US\$)	115 515 240
B/C	2,28
Inversión (US\$)	33 043 202

- 3.- Las alternativas que consideran el proyecto de afianzamiento de la cuenca a través del transvase Chilac, resultaron económicamente más atractivas, pero la suposición de que la inversión sea compartida con C.H. Yuncán es necesario concretarla a través de negociaciones entre las dos empresas.

- 4.- Para la operación en cascada con la C.H. Yuncán, es importante desarrollar un programa de generación que optimice el uso de los recursos hídricos y la capacidad instalada, con el fin de maximizar los beneficios económicos y la producción anual de energía, para que operen con un sistema de regulación de centrales en cascada.

BIBLIOGRAFÍA

1. “Aprovechamientos Hidroeléctricos y de Bombeo”
Humberto Gardea Villegas
2. “La Gestión de Proyectos y el Diseño de Centrales Eléctricas”
Hugo Streil Losse
3. “Centrales Hidroeléctricas”
Gaudencio Zopetti Júdez
4. “Estudio de Factibilidad del Proyecto Paucartambo II (Yuncán)”
Electric Power Development Co.
5. “Estudio Definitivo del Transvase Chilac”
Consorcio CORPEI - WALSH
6. “Manual de Pequeña Hidráulica”
European Small Hydropower Association

7. “Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas”
Claudio Mataix

8. “Estudio de Factibilidad de la Central Hidroeléctrica El Caño”
CESEL S.A.

9. “Estudio de Repotenciamiento de la C.H. Yaupi”
Klohn-Crippen Consultants Ltd. y SVS Ingenieros S.A.

10. “Tratado de Arquitectura Hidráulica”
Schoklitsch, Armin

APENDICE 1
FORMULAS APLICADAS PARA EL ANALISIS

a) Altura Neta (Hn)

$$H_n = 527 - H_p$$

donde: H_p : pérdidas en el túnel y tuberías (m)

b) Pérdidas en el túnel (h_{pT}) y en las tuberías (h_{p1} , h_{p2})

Para el cálculo de las pérdidas por fricción en el túnel y en las tuberías forzadas, se hará uso de la fórmula de Manning - Strickler:

Para secciones no circulares:

$$h_p = \frac{1,621 \times Q^2 \times n^2 \times L}{D^4 \times R^{4/3}}$$

donde:

h_p : pérdidas por fricción (m)
 Q : caudal (m^3/s)
 n : coeficiente de manning
 L : longitud (m)

D : diámetro equivalente (m)

R: radio hidráulico (m)

Para secciones circulares:

$$h_p = \frac{10,293 \times Q^2 \times n^2 \times L}{D^{16/3}}$$

donde:

hp : pérdidas por fricción (m)

Q : caudal (m³/s)

n : coeficiente de manning

L : longitud (m)

D : diámetro medio (m)

Coefficiente de manning n :

0,0095	tuberías de fibrocemento
0,013	tuberías de fundición nuevas
0,017	tuberías de fundición en servicio
0,013 a 0,017	tuberías de hormigón
0,008 a 0,012	tuberías de acero

Para el cálculo de las pérdidas locales en las tuberías forzadas, se hará uso de la

fórmula de Darcy:

$$h_p = \frac{0,08262 \times Q^2 \times k}{D^4}$$

donde:

- h_p : pérdidas locales (m)
 Q : caudal (m³/s)
 k : coeficiente que depende del equipo
 D : diámetro equivalente (m)

c) Potencia Generable (P)

$$P = 9.81 \times Q \times H_n \times \eta_{t+g}$$

donde:

- P : potencia producida (MW)
 η_{t+g} : eficiencia del conjunto turbina + generador

El cuadro muestra las eficiencias del equipamiento nuevo:

	Proyecto Yuncán	Proyecto El Caño
η_g :	97,35%	97,40%
η_t :	89,00%	89,00%
η_{t+g} :	86,64%	86,69%

d) Diámetro óptimo de la tubería forzada (D)

Para el cálculo del diámetro óptimo, se ha supuesto que a lo largo de la tubería forzada se tiene un diámetro constante, y limitamos las pérdidas de carga al 4% del salto bruto.

$$D = 2,8315 \times (Q^2 \times n^2 \times L/H)^{0,1875}$$

donde:

- Q : caudal medio anual (m³/s)
n : coeficiente de manning
L : longitud (m)
H : Salto bruto (m)

Cálculos: Pérdidas primarias en el Túnel

Las pérdidas en el túnel fueron medidas experimentalmente, solo se ha procedido hacer una aproximación.

Longitud (L) 12504 m

Tipo de sección	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
Diámetro medio (D)	3.054	3.869	3.64	3.905
Radio hidráulico (R)	0.754	0.958	0.899	0.964
Longitud (L)	224	2750	4585	4945
Coef. Manning (n) :	0.015	0.015	0.015	0.03

Pérdidas de carga en el Túnel

P	Q _{aprox}	ACTUAL	
		hp _T exp	hp _T aprox
0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	1.25	0.28	0.08
10.00	2.50	0.55	0.31
15.00	3.75	0.73	0.70
20.00	5.00	0.90	1.24
25.00	6.25	2.00	1.94
30.00	7.50	3.12	2.79
35.00	8.75	4.28	3.80
40.00	10.00	4.67	4.97
45.00	11.25	5.80	6.29
50.00	12.50	7.61	7.76
55.00	13.75	8.03	9.39
60.00	15.00	9.92	11.17
65.00	16.25	11.46	13.11
70.00	17.50	14.40	15.21
75.00	18.75	17.84	17.46
80.00	20.00	19.72	19.87
85.00	21.25	21.60	22.43
90.00	22.50	24.09	25.14
95.00	23.75	27.99	28.01
100.00	25.00	30.25	31.04
105.00	26.25	34.32	34.22
110.00	27.50	---	37.56
115.00	28.75	---	41.05
120.00	30.00	---	44.70
125.00	31.25	---	48.50
130.00	32.50	---	52.46
135.00	33.75	---	56.57
140.00	35.00	---	60.84

Cálculos: Pérdidas en las Tuberías

Pérdidas por fricción

Las pérdidas se han calculado usando la fórmula de Manning-Strickler

	Tubería No.1	Tubería No.2
Longitud (L)	1,222 m	1,296 m
Material	acero	acero
Diametro (D)	1.92 m	1.55 m
Coefficiente de Manning (n)	0.012	0.012

Pérdidas locales

Las pérdidas locales se han calculado por la fórmula conocida.

Por codos:

Tabla de coeficiente de pérdidas en función del ángulo del codo

a	20°	40°	60°
k	0.046	0.139	0.364
a	80°	90°	100°
k	0.740	0.984	1.260
a	120°	140°	
k	1.861	2.481	

Bibliografía: SCHOKLITSCH, ARMIN

"Tratado de Arquitectura Hidraulica"

Interpolando:

a	35°34'15"	32°59'58"	31°46'07"
k	0.118	0.106	0.101
a	27°49'22"	26°43'31"	
k	0.082	0.077	

Por válvula mariposa:

Tabla de coeficiente de pérdidas en función del ángulo de cierre de la válvula mariposa

a	0°	10°	20°
k	0.4	0.6	1.0
a	30°	40°	50°
k	2.0	5.0	18.0
a	60°	70°	
k	40.0	140.0	

Bibliografía: MATAIX, CLAUDIO

"Mecanica de fluidos y máquinas hidráulicas"

Por válvula esférica:

Coeficiente de pérdidas para la posición completamente abierta de la válvula esférica

a	0°
k	0.05

Bibliografía: ESHA

"Manual de Pequeña Hidraulica"

Pérdidas en las Tuberías

Potencia (MW)	Q (m ³ /s)	Tubería No.1		Tubería No.2
		hp _T exp	hp _T aprox	hp _T aprox
0	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.25	0.63	0.03	0.05
10	2.50	1.28	0.14	0.20
15	3.75	2.01	0.31	0.45
20	5.00	2.76	0.55	0.79
25	6.25	2.97	0.86	1.24
30	7.50	3.18	1.24	1.79
35	8.75	3.34	1.69	2.43
40	10.00	3.86	2.21	3.18
45	11.25	4.87	2.79	4.02
50	12.50	5.19	3.45	4.96
55	13.75	7.15	4.17	6.01
60	15.00	7.21	4.97	7.15
65	16.25	7.76	5.83	8.39
70	17.50	7.85	6.76	9.73
75	18.75	8.05	7.76	11.17
80	20.00	8.93	8.83	12.71
85	21.25	11.01	9.97	14.34
90	22.50	12.79	11.18	16.08
95	23.75	14.07	12.45	17.92
100	25.00	17.60	13.80	19.85
105	26.25	20.24	15.21	21.89

Cálculo del Caudal:

Este cálculo esta basado en la Primera Ley de la Termodinámica

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_p$$

donde:

- P : presión manométrica (Pa)
 z : altura o elevación (m)
 v : velocidad del flujo (m/s)
 g : aceleración de la gravedad (m/s²)
 γ : peso específico del fluido (N/m³)

El cálculo se ha realizado en 3 etapas:

1ra Etapa: Entre la toma Yuncan y la sala de válvulas mariposas ubicadas al final del túnel e inicio de las tuberías forzadas.

2da Etapa: Entre la válvula mariposa No.1 y el extremo de la tubería forzada No.1

3ra Etapa: Entre la válvula mariposa No.2 y el extremo de la tubería forzada No.2

Las pérdidas de carga debida al sistema de conducción, para 100 MW:

$$H_p = 47.87 \text{ (m)}$$

Desarrollando, la velocidad del chorro de agua es:

$$v_2 = 100.26 \text{ (m/s)}$$

Cálculo del caudal para una tobera

$$Q = C_q \times A \times v$$

donde:

- Q : caudal (m³/s)
C_q : coeficiente de caudal
A : area (m²)
v : velocidad (m/s)

$$C_q = C_c \times C_v$$

donde:

- C_c : coeficiente de contraccion (1,0)
C_v : coeficiente de velocidad (0,98)

Bibliografia: MATAIX, CLAUDIO

"Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas"

El area del chorro de agua (Diagrama del fabricante):

	Area
Unidades 4 y 5	0.027 m ²
Unidades 1-2 y 3	0.026 m ²

Q =	25.94 (m ³ /s)
-----	---------------------------

Cálculo de la eficiencia Turbina + Generador

Para el cálculo de la eficiencia, usaremos los resultados del cálculo del caudal.

Potencia (MW)	Caudal (m ³ /s)	Salto Neto (m)	Eficiencia Turb+Gen
100	25.94	477.26	82.34%

Pérdidas de carga en el túnel reparado

P	Q_{aprox}	h_{pT} reparado
0.00	0.00	0.00
5.00	1.25	0.04
10.00	2.50	0.16
15.00	3.75	0.35
20.00	5.00	0.63
25.00	6.25	0.99
30.00	7.50	1.42
35.00	8.75	1.93
40.00	10.00	2.52
45.00	11.25	3.19
50.00	12.50	3.94
55.00	13.75	4.77
60.00	15.00	5.68
65.00	16.25	6.66
70.00	17.50	7.73
75.00	18.75	8.87
80.00	20.00	10.09
85.00	21.25	11.39
90.00	22.50	12.77
95.00	23.75	14.23
100.00	25.00	15.77
105.00	26.25	17.39
110.00	27.50	19.08
115.00	28.75	20.86
120.00	30.00	22.71
125.00	31.25	24.64
130.00	32.50	26.65
135.00	33.75	28.74
140.00	35.00	30.91

APENDICE 3

Cálculos: Pérdidas primarias de la tuberías propuesta

Las pérdidas se han calculado usando la fórmula de Manning, limitando las pérdidas al 4% de la altura bruta. (Bibliografía "Manual de pequeña hidráulica")

	Tubería propuesta
Longitud (L)	1,300 m
Material	acero

Coefficiente de Manning (n) :	acero	0.012
-------------------------------	-------	-------

$$D = 2,8315 \times (Q^2 \times n^2 \times L/H)^{0,1875}$$

Pérdidas primarias de la tuberías propuesta

Q	D	hpT
(m ³ /s)	(m)	(m)
5.00	1.17	21.05
7.50	1.36	21.05
10.00	1.51	21.05
12.50	1.65	21.05
15.00	1.76	21.05
17.50	1.87	21.05
20.00	1.96	21.05
22.50	2.05	21.05
25.00	2.14	21.05
27.50	2.21	21.05
30.00	2.29	21.05
32.50	2.36	21.05
35.00	2.42	21.05