

NACIONES UNIDAS
CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



Distr.
GENERAL
E/CEPAL/G.1312
25 de junio de 1984
ORIGINAL: ESPAÑOL

CEPAL

Comisión Económica para América Latina

GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA. ESTUDIO DE POSIBILIDADES
DE FABRICACION LOCAL DE EQUIPOS */

*/ Este documento fue preparado por el Grupo de Trabajo del Proyecto sobre "La situación y las perspectivas del abastecimiento y la producción de bienes de capital" (RLA/77/015). En la serie Cuadernos de la CEPAL N° 46 (E/CEPAL/G.1241 de junio de 1983) se publicó el estudio "Demanda de equipos para generación, transmisión y transformación eléctrica en América Latina", en el cual se detallan los proyectos conocidos hasta comienzos de 1983. A dicho documento puede referirse el lector para evaluar el significado global de las demandas industriales que en este trabajo ilustrativo se analizan con ejemplos puntuales.

84-2-282

INDICE

	<u>Página</u>
Introducción	1
I. EQUIPAMIENTO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA	2
1. Prototipo seleccionado	2
2. Características	2
3. Obras principales y valor de la inversión	2
4. Principales componentes del equipamiento	3
II. CLASIFICACION DE LAS POSIBILIDADES DE FABRICACION LOCAL DE LOS EQUIPOS	4
III. DESAGREGACION DEL EQUIPAMIENTO Y POSIBILIDAD TECNOLÓGICA DE SU FABRICACION LOCAL	5
1. Compuertas	5
2. Rejas hidráulicas	6
3. Puentes-grúas y grúas portales	6
4. Válvulas de protección	7
5. Turbinas	8
6. Generadores	8
7. Transformadores de poder	9
8. Transformadores auxiliares y de medida	9
9. Equipos de seguridad y maniobra	9
10. Tuberías de presión	10
11. Estructuras metálicas en casa de máquinas y otras	11
12. Estructuras del patio de alta tensión	11
13. Equipos varios	11
14. Sistema de transmisión asociado	12
15. Maquinaria para construcción y obras civiles	13
IV. RESUMEN DEL EQUIPAMIENTO INCLUIDO	14
1. Equipos de calderería y estructuras	14
2. Equipos mecánicos y eléctricos	15
V. DETALLES DE FABRICACION DE LOS ELEMENTOS DE CALDERERIA Y ESTRUCTURAS	17
1. Compuertas y sus mecanismos	17
2. Rejas hidráulicas	19
3. Puentes-grúas y grúas portales	19
4. Tuberías de presión (blindajes)	20
5. Turbinas (elemento de calderería)	21
Anexo I - Demanda de equipamiento en centrales hidroeléctricas	23
Anexo II - Necesidad horas-hombre de trabajo directo para la fabricación de equipos en la central prototipo	25
Anexo III - Planos de detalle	27
Anexo IV - Desglose de equipos de una central de 500 MW	37

/Introducción

Introducción

El presente estudio se ha preparado con el fin de colaborar al conocimiento de las posibilidades de fabricación local de bienes de capital en los países latinoamericanos en el sector de generación de energía eléctrica. Como es ampliamente conocido, este sector es uno de los que significan una mayor demanda de equipos de base en casi todos los países, incluso la necesidad de grandes inversiones en obras civiles y en equipos, que abarcan desde los más simples a otros de gran complejidad.

En el informe se analizan los principales componentes del equipamiento de una central hidroeléctrica utilizada como prototipo y se estudian las posibilidades de fabricación local de los equipos, según niveles o categorías de complejidad que determinan el mayor o menor grado de dificultad para su fabricación.

Como complemento de la información obtenida del estudio de la central de 300 MW considerada como prototipo, se ha agregado un anexo con el desglose de equipos de otra central ligeramente mayor, de 500 MW y se ha procedido a comparar la necesidad de equipos de ambas centrales.

Si bien cada central hidroeléctrica tiene características propias, la complejidad relativa de los diversos elementos se mantiene si se trata de rangos de potencia similares. Por otra parte, las dos centrales que se analizan en este trabajo corresponden en tipo y capacidad a las que con mayor frecuencia se proyectan en los países de la costa del Pacífico de América del Sur y en América Central, por lo que pueden constituir un ejemplo ilustrativo de la participación en tal clase de obras de las industrias de países medianos y pequeños. Por lo demás, en el anexo I se comentan algunos otros casos.

Este informe tiene el carácter de documento de trabajo introductorio al estudio de esta materia y constituye un aporte para futuros análisis de mayor profundidad sobre el tema.

I. EQUIPAMIENTO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA

1. Prototipo seleccionado

Para el presente análisis se ha escogido como prototipo una central hidroeléctrica de 300 MW, de mediana altura de carga, con dos turbinas tipo Francis, que corresponde a uno de los tamaños y tipos de centrales más comunes entre las inversiones programadas por los países de Latinoamérica para ser construidas en el presente decenio.

La central seleccionada es representativa, en su equipamiento y modalidades constructivas, de un gran número de centrales hidroeléctricas proyectadas en la región, de potencias comprendidas entre 90 y 1 000 MW, que son tamaños intermedios entre las minicentrales y los grandes complejos hidroeléctricos, tales como Itaipú o la represa del Guri.

2. Características

El prototipo de central hidroeléctrica seleccionado tiene las siguientes características principales:

Potencia instalada: 300 000 kW
Energía media anual: 1 800 millones kWh
Caudal medio anual: 120 m³/seg
Caída neta media: 190 m

El equipo principal incluye:

2 turbinas Francis de 208 000 CV c/u
2 generadores de 160 MVA c/u
2 transformadores de 175 MVA c/u y de 200 KV

3. Obras principales y valor de la inversión

Las principales obras de la central seleccionada comprenden:

- Bocatomas y compuertas
- Túneles, incluidos varios tramos en presión y zonas con blindaje de acero
- Zona de caída, con chimenea de equilibrio y caverna de válvulas
- Casa de máquinas (exterior)
- Patio de alta tensión
- Sistema de transmisión asociado

La inversión total expresada en dólares de enero de 1981, para la Central y su sistema de transmisión asociado asciende al equivalente de 504 millones de dólares que se desglosa de la siguiente forma:

/Cuadro 1

Cuadro 1

VALOR DE LA INVERSION
(Millones de dólares)

Ingeniería y administración	47.55
Dirección de obras, inspección y servicios generales	63.37
Construcción de obras civiles	297.85
Equipamiento	95.45
<u>Total</u>	<u>504.22</u>

En las cifras anteriores no están incluidos los gastos financieros necesarios para ejecutar las obras e instalaciones, que ascendieron a 124.9 millones de dólares.

Si se excluyen 22 millones de dólares que correspondieron a la maquinaria para construcción y obras civiles y los gastos de fletes y montaje, el valor fob fábrica de los equipos de esta central equivalen aproximadamente a 48 millones de dólares de 1981.

4. Principales componentes del equipamiento

El equipamiento necesario para la construcción de la central prototipo y el tonelaje que lo compone se puede agrupar en los siguientes rubros básicos:

	<u>Ton</u>	<u>Ton/MW</u>
i) Compuertas	1 070	3.57
ii) Rejas hidráulicas	71	0.24
iii) Puentes-grúas y grúas de pórtico	265	0.88
iv) Válvulas de protección	834	2.78
v) Turbinas Francis completas (2 de 208 000 CV)	680	2.27
vi) Generadores (2 de 160 MVA)	1 216	4.05
vii) Transformadores de poder (2 de 175 MVA)	336	1.12
viii) Transformadores auxiliares y de medida	25	0.08
ix) Equipos de seguridad y maniobra (desconectadores, interruptores, pararrayos, etc.)	20	0.07
x) Tuberías de presión (blindajes de acero)	4 000	13.33
xi) Estructuras metálicas (casa de máquinas y otras)	580	1.93
xii) Estructuras del patio de alta tensión (acero galvanizado)	160	0.53
xiii) Equipos varios	200	0.67
xiv) Sistema de transmisión asociado	635	2.12
xv) Maquinarias para construcción y obras civiles	gl	-

/II. CLASIFICACION

II. CLASIFICACION DE LAS POSIBILIDADES DE FABRICACION LOCAL DE LOS EQUIPOS

Para estudiar en forma sistemática las posibilidades locales de fabricación de los equipos incluidos en una central hidroeléctrica, se establecerán tres niveles o categorías de complejidad o dificultad para su fabricación (A, B y C).

(A) Equipos de gran complejidad o de elevado peso y dimensiones, que sólo podrían ser fabricados por las mayores empresas productoras de bienes de capital de Argentina, Brasil o México.

Los equipos mecánicos y eléctricos incluidos en esta categoría (por ejemplo, turbinas y generadores) incluyen piezas de acero fundido de más de 60 toneladas sujetas a mecanizado de precisión en diámetros de 5 m y mayores.

Los equipos de calderería y estructuras incluidos en esta clasificación requieren cilindrado en espesores mayores de 60 mm o tienen componentes con un peso superior a 60 toneladas.

(B) Equipos de mediana complejidad o peso, que podrían ser fabricados por algunas empresas de los países de mayor desarrollo metalmeccánico en la Subregión Andina: Colombia, Perú y Venezuela. En esta clasificación debería incluirse también a Chile y en cuanto a elementos de calderería de compuertas y tuberías a Paraguay.

Los equipos mecánicos y eléctricos incluidos en esta clasificación comprenden transformadores de entre 40 y 50 MVA en 220 KV y motores trifásicos de entre 250 y 300 HP.

Los equipos de calderería y estructuras incluidos en esta clasificación comprenden cilindrado en espesores de hasta 60 mm y excepcionalmente 75 mm, incluso con alivio de tensiones. El peso de los mayores componentes puede alcanzar a 60 toneladas.

(C) Equipos de menor complejidad o peso, que podrían ser fabricados por algunas empresas de los países de menor desarrollo metalmeccánico en la Subregión Andina: Ecuador y Bolivia. En esta clasificación debe incluirse también a Uruguay y a algunos países de Centroamérica.

Los equipos eléctricos incluidos en esta clasificación comprenden hasta transformadores eléctricos de 1.5 MVA.

Los equipos de calderería y estructuras incluidos en esta clasificación comprenden cilindrado en espesores de hasta 20 mm y en el caso de Ecuador, de hasta 45 mm. El peso de los mayores componentes puede alcanzar hasta 30 toneladas.

/III. DESAGREGACION

III. DESAGREGACION DEL EQUIPAMIENTO Y POSIBILIDAD
TECNOLOGICA DE SU FABRICACION LOCAL

1. Compuertas

En total el equipamiento de la central prototipo incluye 1 070 toneladas de compuertas planas y radiales. Las posibilidades de fabricación local de las compuertas dependen principalmente de su peso y dimensiones, y por lo tanto, de las posibilidades de manipular en taller elementos voluminosos y de gran peso, además de la necesidad de mandrinado de los agujeros para el pivote central en las compuertas radiales.

El total de compuertas que incluye la central se pueden subdividir en dos grupos: mayores y simples.

Las compuertas mayores corresponden a la categoría B, y podrían fabricarse en los países de mayor desarrollo metalmeccánico de la Subregión Andina, en Chile y en Paraguay.

5 compuertas radiales (sectores) de servicio, de 15 m alto x 10.20 m ancho, de 114 toneladas cada una. Cada compuerta es accionada por mecanismos de 2 x 70 toneladas de capacidad.

4 compuertas planas de toma principal, de 6.50 m x 2.70 metros ancho, de 33.25 toneladas cada una. Accionadas por mecanismos de cremallera de 32 toneladas de capacidad.

Peso total de las compuertas mayores (B): 703 toneladas

Las compuertas simples corresponden a la categoría C, y podrían fabricarse en los países menores de la Subregión Andina y en algunos de Centroamérica.

2 sectores radiales desripiadores de 5.60 m x 3.20 m ancho con mecanismos de cremallera de 2 x 29 toneladas de capacidad:	15.0 ton c/u
3 sectores radiales de 5.20 m x 7.20 m de ancho c/u con mecanismos de 32 toneladas de capacidad:	24.5 ton c/u
6 paños de compuertas planas auxiliares 2.0 m x 7.20 metros ancho:	9.4 ton c/u
2 compuertas planas de salida de difusores, de 5.30 m x 6.90 m ancho:	19.0 ton c/u
1 compuerta plana automática 3.00 m x 1.80 m ancho:	18.0 ton
1 compuerta plana automática 2.40 m x 1.20 m ancho:	10.0 ton

/10 paños

10 paños compuertas planas de emergencia 2.80 m x 10.20 m ancho:	8.8 ton c/u
3 paños compuertas planas de emergencia 3.00 m x 11.40 m ancho:	10.6 ton c/u
2 paños compuertas planas auxiliares 3.60 m x 5.60 m ancho:	6.2 ton c/u
2 compuertas planas de servicio 3.60 m x 2.05 m ancho:	3.2 ton c/u
1 compuerta plana emergencia 3.60 m x 3.00 m ancho:	2.0 ton
Peso total de las compuertas menores (C):	367.0 ton

2. Rejas hidráulicas

La central prototipo incluye 71 toneladas de rejas hidráulicas, cuya fabricación es sencilla, por lo que corresponden en su totalidad a la clasificación C.

Este rubro incluye los siguientes elementos:

1 reja hidráulica compuesta de varias secciones, con dimensiones totales de 9.00 m alto x 21.00 m ancho:	63.0 ton
1 reja hidráulica compuesta de varias secciones, con dimensiones totales de 3.20 m alto x 12.50 metros ancho:	8.0 ton
Peso total de rejas hidráulicas (C):	71.0 ton

3. Puentes-grúas y grúas portales

La central incluye en total tres puentes-grúa y cuatro grúas portales de diversas capacidades.

La parte estructural puede fabricarse en muchos países de Latinoamérica, dependiendo de su peso y capacidad. Los componentes electromecánicos son importados.

a) Los puentes-grúa mayores, que corresponden a la clasificación B, incluyen los siguientes:

2 puentes-grúa en casa de máquinas
Capacidad: 200 toneladas cada uno
Luz: 21.30 m.l.
Peso: 64 toneladas cada uno

/1 Puente-grúa

1 Puente-grúa en caverna de válvulas

Capacidad: 60 toneladas
Luz: 10 m.l.
Peso: 32 toneladas

Peso total puentes-grúa mayores (B): 160 toneladas

b) Las grúas portales de la central se incluyen en la clasificación C y comprenden los siguientes equipos:

1 Grúa portal en casa de máquinas, para compuertas de difusores

Capacidad: 30 toneladas
Peso: 25 toneladas

2 Grúas portales en bocatoma principal (compuertas de emergencia)

Capacidad: 20 toneladas cada una
Peso: 35 toneladas cada una

1 Grúa portal en bocatoma (compuerta de emergencia)

Capacidad: 10 toneladas
Peso: 10 toneladas

Peso total grúas portales (C): 105 toneladas

4. Válvulas de protección

La central hidroeléctrica prototipo incluye en su equipamiento cuatro válvulas de tipo mariposa de gran diámetro, para protección de las tuberías y turbinas. Las válvulas son accionadas por control remoto y se abren mediante un servomotor.

Las válvulas son elementos cuya fabricación se clasifica en la categoría A, pues requieren grandes instalaciones para su mecanizado e incluyen piezas fundidas de más de 50 toneladas.

Las características de las válvulas son:

- Dos válvulas de mariposa para protección de las tuberías de presión:

Diámetro: 5.00 m
Presión máxima de servicio: 113.00 m.c.a.
Peso cada válvula: 183 toneladas (con servomotor y contrapeso)

- Dos válvulas de mariposa para protección de las turbinas

Diámetro: 4.00 m.
Presión máxima de servicio: 292.00 m.c.a.
Peso de cada válvula: 234 toneladas (con servomotor y contrapeso)

Peso total de válvulas (A): 834 toneladas

/5. Turbinas

7. Transformadores de poder

Los generadores van conectados en bloque a transformadores trifásicos de potencia, que elevan el voltaje de 13.8 a 220 KV.

Los transformadores de esta central, por su gran tamaño y peso, requieren de grandes instalaciones para su fabricación, clasificándose por lo tanto en la categoría A.

Las principales características de los transformadores de potencia de la central son:

Potencia:	175 MVA
Relación:	13.8/230 KV
Número de fases:	3
Circulación forzada de agua y aceite:	
Peso total:	168 toneladas cada uno
Peso de los transformadores (A):	336 toneladas

8. Transformadores auxiliares y de medida

El equipo eléctrico en la casa de máquinas y patio de alta tensión incluye los siguientes transformadores auxiliares y de medida.

12 Transformadores de corriente:	220 KV
6 Transformadores de tensión, capacitivos:	220 KV
6 Transformadores de tensión, inductivos:	220 KV
2 Transformadores reguladores de voltaje:	13.8 KV
4 Transformadores para servicios auxiliares:	300 KV c/u; 13.8/0.4 KV

Los transformadores de alto voltaje (220 KV) sólo pueden ser fabricados en algunas empresas de Argentina, Brasil o México, debiendo por lo tanto ser clasificados como equipos de la categoría A.

Los transformadores reguladores de voltaje y para servicios auxiliares pueden clasificarse como equipos de la categoría B.

Peso de los transformadores de 200 KV (A):	15 toneladas
Peso de los transformadores de 13.8 KV (B):	10 toneladas

9. Equipos de seguridad y maniobra

La central hidroeléctrica incluye en su equipamiento un gran número de equipos de seguridad y maniobra, que en su mayor parte se encuentran en el patio de alta tensión. Por el alto voltaje de operación son equipos de mucho valor y de fabricación difícil y especializada. En general son de poco peso, por lo que sólo puede darse una estimación global del tonelaje total.

/Los principales

Los principales equipos corresponden a:

Pararrayos de 220 KV
Desconectadores de 200 KV
Interruptores de 220 KV y planta de aire comprimido
Trampas de onda y condensadores de acoplamiento
Equipos de maniobra 13.8 KV, 400 V y reactor
Equipos de maniobra 125 Vcc y 48 Vcc
Relés de distancia, protección y auxiliares

La fabricación de los equipos de seguridad y maniobra en 220 KV se debe clasificar en la categoría A por el alto voltaje a que deben funcionar.

El peso de estos equipos (A) se ha estimado en 20 toneladas

10. Tuberías de presión

La central estudiada como prototipo incluye un importante tonelaje de tuberías en presión, como revestimiento interno de túneles y sifones. En su mayor parte son tuberías de acero de 5.00 m de diámetro, por espesores variables de 15 a 28 mm y de 6.30 m de diámetro por espesores de 18 a 50 mm más un pequeño tramo de 3.30 m de diámetro por espesores de 13 a 20 mm.

La fabricación de los tubos se efectúa en la obra, soldando las secciones de plancha gruesa ancha que han sido cortadas, curvadas y biseladas previamente. Los tubos son de hasta \emptyset 6.30 m por 9 m de largo y peso de hasta 70 toneladas para los de 50 mm de espesor.

Para preparar las secciones se requiere contar con máquina roladora de gran potencia, ya que es necesario curvar planchas de acero de alta resistencia, de hasta 50 mm de espesor por 3 m de ancho.

Algunos tramos de tubería llevan soldados exteriormente anillos transversales y otros llevan soldados longitudinalmente trozos de platinas de 25 por 250 mm.

Los tonelajes aproximados y dimensiones de tuberías de presión incluidas en la central son los siguientes:

3 200 toneladas de tuberías de \emptyset 5.00 m por 15 a 28 mm de espesor
(1 000 m.l.)
700 toneladas de tuberías de \emptyset 6.30 m por 18 a 50 mm de espesor
(120 m.l.)

La fabricación de las tuberías anteriores debe clasificarse en la categoría B en su mayor parte.

100 toneladas de blindajes que incluyen una tubería de \emptyset 3.30 m por 13 a 20 mm de espesor (67 m.l.).

/La fabricación

La fabricación de estas últimas secciones de blindaje, por su menor grosor y dimensiones debe clasificarse en la categoría C, al igual que una parte de las anteriores.

Peso total de tuberías mayores (B): 2 900 toneladas
Peso de tuberías menores (C): 1 100 toneladas

11. Estructuras metálicas en casa de máquinas y otras

La casa de máquinas es una estructura mixta, de hormigón y acero ubicada al exterior. La superficie edificada es de 1 650 m².

Las estructuras metálicas suman 277 toneladas de estructuras soldadas medianas y vigas portagrúas que suman 103 toneladas adicionales.

En el rubro de estructuras metálicas se incluyen también 200 toneladas de blindajes planos preparados para protección de secciones de hormigón en la parte exterior de la bocatoma principal.

La fabricación de todas estas estructuras no presenta mayores dificultades, por lo que pueden clasificarse en la categoría C.

Peso total de estructuras metálicas (C): 580 toneladas

12. Estructuras del patio de alta tensión

El patio de alta tensión está ubicado frente a la casa de máquinas, sobre un relleno de 18 000 m² e incluye un edificio de mando que se ubica junto al patio mismo.

El patio de alta tensión incluye 160 toneladas de estructuras livianas galvanizadas. Al patio llegan dos circuitos de 220 KV y de él salen tres circuitos de 220 KV dispuestos en dos líneas.

La fabricación de las diversas estructuras livianas galvanizadas no ofrece dificultades, por lo que puede calificarse en la categoría C.

Peso total de estructuras en patio de alta tensión (C): 160 toneladas

13. Equipos varios

Además de los equipos detallados anteriormente y de mucha maquinaria utilizada en la construcción de las obras civiles, una central hidráulica incluye numerosos equipos misceláneos, que en parte se detallan a continuación:

/Una máquina

Una máquina limpiarregas de 9 toneladas de peso
Grupos electrógenos de emergencia Diesel (1 de 300 KVA y 3 de 50 KVA)
Equipos de aire acondicionado y ductos
Equipo de presurización
Barras capsuladas
Bombas de refrigeración, drenaje y vaciado
Tableros, bastidores, pupitre y bandejas de cables
Instrumentos de tablero en sala de comando
Equipos de telecontrol
Luminarias y sus postes
Barra principal en U y de transferencia
Mecanismos diversos
Motores y servomotores

El total de equipos misceláneos suma alrededor de 200 toneladas, de las que cerca de la mitad corresponden a equipos especializados y de alta complejidad, que deben clasificarse en la categoría A y el resto a la categoría B.

Peso de equipos misceláneos complejos (A): 100 toneladas
Peso de equipos misceláneos simples (B): 100 toneladas

14. Sistema de transmisión asociado

Además de la planta de generación propiamente tal, la construcción de esta central ha requerido instalar un sistema de transmisión asociado, que incluye una línea de alta tensión de 68 km hasta empalmar con el sistema interconectado existente.

La línea de un circuito de 220 KV está compuesta por 204 torres autoestables de 30 m de alto y aproximadamente 3 toneladas de peso cada una. Las torres de suspensión más repetitivas pesan cerca de 2.5 ton y las de anclaje, cerca de 4 toneladas cada una.

Peso total de las torres de alta tensión (C): 635 toneladas

En esta oportunidad las torres se fabricaron con acero especial resistente a la corrosión (CORTEN A) pero en casi todas las líneas de alta tensión construidas en el país se ha empleado acero común galvanizado.

Además de las torres de alta tensión, el sistema de transmisión asociado ha incluido otros elementos, tales como:

Conductores de hebras de aluminio (805.8 mm²)
Bancos de condensadores estáticos en las subestaciones de llegada, de
15 KV; 110 MVr y 60 MVr y sus equipos de maniobra
30 transformadores de corriente, aislación 230 KV
20 transformadores de potencial inductivos, aislación 230 KV

/25 desconectores

25 desconectadores de alta tensión, tripolares, del tipo de apertura central, para tensiones nominales de 245 KV y corriente nominal de 2 000 A
10 interruptores de tensión nominal de 245 KV y corriente 1 250 A
10 Pararrayos clase 192 KV
Conjuntos de sujeción, anclaje y fijación para la línea

15. Maquinaria para construcción y obras civiles

En el total de equipamiento adquirido para esta central, se incluye una inversión de 22 millones de dólares en maquinaria y equipos para construcción, utilizados principalmente en la excavación de túneles.

Los equipos de construcción incluyen, entre otros, los siguientes:

Palas excavadoras
Jumbos tipo Gantry de 10 perforadoras cada uno
Locomotoras de 25 toneladas
Carros mineros de 8 m³
Tren hormigonador con molde metálico deslizante
Plantas de hormigón por un total de 225 m³/h
Tractores de oruga
Excavadoras
Perforadoras sobre camión
Cargadores frontales
Compresores portátiles
Grúas, pórticos y equipos de montaje.

IV. RESUMEN DEL EQUIPAMIENTO INCLUIDO

El equipamiento total incluido en la central hidroeléctrica tomada como prototipo alcanza a 9 457 toneladas, lo que corresponde a 31.5 toneladas por cada MW de capacidad instalada.

En el tonelaje anterior no se han considerado las torres de alta tensión del sistema de transmisión asociado.

El equipamiento total puede subdividirse en dos grupos principales: equipos de calderería y estructuras y equipos mecánicos y eléctricos.

1. Equipos de calderería y estructuras

El tonelaje de los equipos de calderería y de las estructuras incluido en la central alcanza a 6 146 toneladas, que corresponden a 20.49 toneladas por MW de capacidad instalada. Dentro de este tonelaje, las tuberías de presión (blindajes) representan una parte importante y muy variable en las diversas centrales, por lo que es conveniente considerarlas separadamente.

Los rubros de calderería y estructuras metálicas, excepto las tuberías de presión, suman 2 146 toneladas, que corresponden a 7.16 toneladas por MW de capacidad instalada, con el siguiente detalle:

	<u>Toneladas</u>	<u>Ton/MW</u>
Compuertas	1 070	(3.57)
Rejas hidráulicas	71	(0.24)
Puentes-grúa y grúas portales	265	(0.88)
Estructuras metálicas, incluso galvanizadas	740	(2.47)
<u>Total</u>	<u>2 146</u>	<u>7.16</u>

Estos tonelajes son normales y coinciden con las cifras que se observan en numerosas centrales hidroeléctricas de tamaños medianos equipadas con turbinas del tipo Francis.

El valor medio de estos rubros de equipamiento en calderería y estructuras metálicas, sin incluir mecanismos, alcanza a cerca de 4 000 dólares por tonelada (dólares de enero de 1981).

Las tuberías de presión (blindajes de acero) pueden presentar grandes variaciones en sus tonelajes para diversas centrales hidroeléctricas, ya que dependen mucho de la configuración geográfica de la zona en que se construye la central y de sus características y tamaño. Para diversas centrales se pueden observar variaciones desde 1.5 ton/MW a 15 ton/MW para el rubro de tuberías de presión.

/La central

La central hidroeléctrica que se ha utilizado como prototipo incluye un importante tonelaje de tuberías de presión (4 000 toneladas) en forma de blindajes de túneles y en sifones en presión. El tonelaje indicado equivale a 13.33 toneladas por MW de capacidad instalada, con un valor medio de 2 500 dólares por tonelada de tubería puesta en obra. Un tonelaje más común para este tipo de centrales alcanzaría a unas 5 toneladas por MW de capacidad, lo que equivaldría a unas 1 500 toneladas para una central de este tamaño.

2. Equipos mecánicos y eléctricos

El equipamiento de la central hidroeléctrica utilizada como prototipo incluye poco más de 3 300 toneladas de equipos en los que predominan los componentes mecánicos y eléctricos. Este tonelaje equivale a 11.04 toneladas por cada MW de capacidad instalada. Los rubros principales corresponden a:

	<u>Toneladas</u>	<u>Ton/MW</u>
Turbinas	680	(2.27)
Generadores	1 216	(4.05)
Válvulas de mariposa	834	(2.78)
Transformadores de poder	336	(1.12)

Si se incluyen además los transformadores auxiliares y de medida, los equipos de seguridad y maniobra y equipos varios, se llega a un total de 3 311 toneladas (11.04 ton/MW).

Estos tonelajes son normales y coinciden con los rangos que se observan en muchas centrales de mediano tamaño equipadas con turbinas Francis.

En centrales de menor altura, equipadas también con turbinas Francis, éstas serían de menor velocidad y proporcionalmente más pesadas.

Además de los equipos mayores destacados anteriormente, hay otros misceláneos, predominantemente mecánicos o eléctricos, tales como los mecanismos de las compuertas y equipos varios, que en general representan un alto valor y poco tonelaje.

Casi todos los equipos mecánicos o eléctricos corresponden a la categoría A, compuesta por equipos de alta complejidad, que en Latinoamérica sólo podrían ser fabricados por algunas empresas de Argentina, Brasil o México. En promedio, estos equipos corresponden a valores cercanos a los 10 000 dólares por tonelada.

En el cuadro 2 siguiente se indica un resumen del equipamiento que incluye la central considerada como prototipo, clasificado según sus posibilidades de fabricación local.

Además, en el anexo II se presenta una información resumida de las necesidades de horas/hombre para la elaboración respectiva.

/Cuadro 2

Cuadro 2

RESUMEN DEL EQUIPAMIENTO Y DE SUS POSIBILIDADES DE FABRICACION

(Toneladas)

	A	B	C	Total	Ton/MW
<u>Equipos de calderería y estructura</u>					
- Compuertas	-	703	367	1 070	3.57
- Rejas hidráulicas	-	-	71	71	0.24
- Puentes-grúa y grúas portales	-	160	105	265	0.88
- Estructuras metálicas	-	-	740	740	2.47
- Blindajes (tuberías en presión)	-	2 900	1 100	4 000	13.33
<u>Subtotal</u>	-	3 763	2 383	6 146	20.49
<u>Equipos mecánicos y eléctricos</u>					
- Turbinas	680	-	-	680	2.27
- Generadores	1 216	-	-	1 216	4.05
- Válvulas de mariposa	834	-	-	834	2.78
- Transformadores de poder	336	-	-	336	1.12
- Transformadores auxiliares y de medida	15	10	-	25	0.08
- Equipos de seguridad y maniobra	20	-	-	20	0.07
- Equipos varios	100	100	-	200	0.67
<u>Subtotal</u>	<u>3 201</u>	<u>110</u>	-	<u>3 311</u>	<u>11.04</u>
<u>Total</u>	<u>3 201</u>	<u>3 873</u>	<u>2 383</u>	<u>9 457</u>	<u>31.5</u>

/V. DETALLES

V. DETALLES DE FABRICACION DE LOS ELEMENTOS
DE CALDERERIA Y ESTRUCTURAS

Con el fin de entregar una mayor información acerca de las posibilidades y dificultades relativas a la fabricación de equipos incluidos en una central de generación hidroeléctrica, se incluyen algunos antecedentes sobre los equipos de calderería y estructuras. Estos equipos presentan gran interés, pues las posibilidades tecnológicas de su fabricación están al alcance de muchas maestranzas, incluso en países de mediano o menor grado de desarrollo industrial en Latinoamérica. En cambio, los principales equipos mecánicos y eléctricos, tales como las turbinas, los generadores, las válvulas y los transformadores de poder, sólo pueden ser fabricados por unas pocas empresas de gran capacidad y altamente especializadas, de Argentina, Brasil o México.

Se ha tratado de proporcionar una mayor información de aquellos elementos de calderería y estructura que representan altos tonelajes y en cuya fabricación se suelen encontrar mayores dificultades.

En el anexo III se presentan algunos planos que aportan un mayor detalle a las características de la construcción de estos equipos.

1. Compuertas y sus mecanismos

La central escogida como prototipo incluye un total de 1 070 toneladas de compuertas planas y radiales. Las mayores cuentan con sus propios mecanismos de accionamiento. De acuerdo con la dificultad de su fabricación se pueden subdividir en dos grupos:

a) Compuertas mayores

Se incluyen las siguientes compuertas, con un peso total de 703 toneladas:

- 5 compuertas radiales (sectores) en vertedero, que permiten evacuar las crecidas. Cada compuerta tiene 10.20 m de ancho y 15 m de alto; pesa 114 toneladas y es accionada por un mecanismo de huínche de 2 x 70 toneladas de capacidad.

Cada compuerta está formada al menos por cuatro partes o subconjuntos, con un peso máximo de 30 toneladas cada uno, los que son soldados en la obra. Se requiere en todo caso un premontaje en el taller.

- 4 compuertas planas de toma (2 de servicio y 2 de emergencia).

Cada compuerta tienen 6.50 m de alto por 2.70 m de ancho y pesa 33 toneladas. Las dos compuertas de servicio son accionadas por mecanismos de cremallera de 32 toneladas de capacidad.

/Una limitación

Una limitación para la fabricación de las nueve compuertas anteriores estriba en la posibilidad de movimiento en taller de elementos de alrededor de 30 toneladas de peso. En las compuertas radiales es también un factor fundamental la posibilidad de maquinado (mandrinado) del pivote central sobre el que gira la compuerta. Los mecanismos de accionamiento pueden adquirirse separadamente en todos los casos, por lo que no son determinantes en la factibilidad de fabricación de las compuertas.

b) Compuertas menores

Incluye principalmente las siguientes, con un peso total de 367 toneladas.

- 2 compuertas radiales (sectores) desripiadores, de 5.60 m x 3.20 m de ancho, con mecanismos de cremallera de 2 x 29 toneladas de capacidad.
Peso de las compuertas: 15 toneladas cada una
- 3 compuertas radiales (sectores) en vertedero, de 5.20 m x 7.20 m de ancho con tres mecanismos de 32 toneladas de capacidad.
Peso de las compuertas: 24.5 toneladas cada una
- 10 paños de compuertas planas de emergencia de 2.80 m x 10.20 m de ancho. Peso: 8.8 toneladas cada una
- 3 paños de compuertas planas de emergencia de 3.00 m x 11.40 m de ancho. Peso: 10.6 toneladas cada una
- 2 paños de compuertas planas auxiliares de 3.60 m x 5.60 m de ancho. Peso: 6.2 toneladas cada una
- 6 paños de compuertas planas auxiliares de 2.00 m x 7.20 m de ancho. Peso: 9.4 toneladas cada una
- 2 compuertas planas de salida de difusores de 5.30 m x 6.90 m de ancho. Peso: 19.0 toneladas cada una
- 1 compuerta plana de toma secundaria, automática de 3.00 m x 1.80 m de ancho. Peso: 18.0 toneladas
- 1 compuerta plana de toma secundaria, automática de 2.40 m x 1.20 m de ancho. Peso: 10.0 toneladas
- 2 compuertas planas de servicio en toma secundaria, de 3.00 m x 2.05 m de ancho. Peso: 3.2 toneladas cada una
- 1 compuerta plana de emergencia de 3.60 m x 3.00 m de ancho. Peso: 2.0 toneladas

/Se han

Se han considerado todas estas compuertas menores en la categoría C como de menor dificultad relativa en cuanto a su fabricación. De todas ellas sólo presentan algún grado de dificultad las dos compuertas radiales desripiadoras y las tres radiales de vertedero, por su mayor peso (15 y 24.5 toneladas cada una), por llevar sistemas de mecanismos y por la necesidad de maquinado del agujero del pivote central sobre el que giran, aunque es de mucho menor diámetro que en el caso de las grandes compuertas radiales de vertedero.

2. Rejas hidráulicas

La central prototipo incluye dos rejas hidráulicas sumergidas, con un peso total en acero de 71 toneladas. La fabricación de estas rejas no reviste dificultades especiales. Ambas están formadas por varias secciones.

La reja hidráulica mayor tiene como dimensiones exteriores totales 9 m de alto por 21 m de ancho, con una sección útil de 170 m² y un peso de 63 toneladas.

La reja hidráulica menor tiene como dimensiones exteriores totales 3.20 m de altura por 12.50 m de ancho, con una sección útil de 36 m² y un peso de 8 toneladas.

La reja mayor está formada por diez secciones de 4.50 m x 4.20 m, de 6.3 toneladas cada una. Sus componentes son todos elementos fijos formados por barras y ángulos soldados a un marco rígido. Todos los elementos móviles corresponden a una máquina limpiarrejas que constituye un mecanismo separado.

3. Puentes-grúa y grúas portales

La central incluye dos puentes-grúa en la casa de máquinas y uno en la caverna de válvulas.

Son puentes-grúa de diseño normal, sin exigencias especiales, salvo que en el caso de los de la casa de máquinas se especifica una gran precisión en el movimiento transversal, ya que se utilizan para el montaje y reparaciones de generadores y turbinas. El peso de la parte estructural de los puentes-grúa mayores alcanza a 64 toneladas cada uno.

Los dos puentes-grúa mayores son de 200 toneladas de capacidad y 21.30 m de luz y deben poder operar en conjunto. Cada puente-grúa está formado por dos vigas de tipo cajón, cerradas.

El puente-grúa menor, ubicado en la caverna de válvulas, tiene una capacidad de 60 toneladas y una luz de 10 metros. Su peso alcanza a 32 toneladas y también está formado por dos vigas cerradas iguales.

El peso de los elementos mayores que deben moverse en taller para su fabricación es el de cada viga de los puentes mayores, que pesa alrededor de 25 toneladas.

/Las grúas

Las grúas portales son de 30, 20 y 10 toneladas de capacidad con un peso máximo de 35 toneladas.

La fabricación de la parte estructural de las grúas portales no reviste dificultades especiales y se subdivide en varias partes componentes, de tal forma que el peso del componente mayor que debe moverse en taller no sobrepasa las 15 toneladas.

4. Tuberías de presión (blindajes)

La central estudiada incluye un importante tonelaje de tuberías en presión (4 000 toneladas) en forma de blindaje de túneles y de sifones. Este tonelaje es más alto del que suelen incluir otras centrales de este tamaño.

La mayor parte de los blindajes, alrededor de 3 200 toneladas, corresponde al blindaje de la zona de caída, entre la chimenea de quilibrio y la casa de máquinas. La obra comprende principalmente dos tuberías de acero, de sección circular y 5 m de diámetro, montadas al interior de túneles y hormigonadas contra la roca. Los primeros 203 m de estos túneles tienen una inclinación de 45° y la última parte (233 m cada una) es casi horizontal.

La presión interior máxima alcanza a 292 m de columna de agua y la presión exterior máxima alcanza a 160 m.c.a.

Las tuberías están formadas con acero de alta resistencia de grosores variables entre 15 y 28 milímetros. En las zonas de mayor presión, además de aumentar el grosor, se utilizó acero de más alta resistencia (en total se incluyen seis calidades de acero de alta resistencia). Se utilizaron aceros con resistencias a la ruptura desde 41 hasta 72 kg/mm² y límites de fluencia desde 28 hasta 56 kg/mm².

La fabricación de estas tuberías requiere contar con una máquina cilindadora de gran potencia, para rolar en frío planchas de acero de alta resistencia en grosores de 28 milímetros por 3 metros de ancho.

Los tubos se formaron al pie de obra, soldando las secciones previamente curvadas y biseladas. Los tubos debían tener hasta 9 metros de largo y haber sido sometidos a ensayo hidrostático. (En el caso de la central considerada como prototipo, se instaló un taller para cortar, rolar y biselar las planchas al pie de obra y posteriormente para formar allí mismo los tubos.)

En algunas zonas los tubos son lisos, pero en los codos, curvas y secciones finales, llevan soldados exteriormente anillos de 25 mm de espesor, que sobresalen 250 mm y se encuentran a 1.70 m de distancia entre sí. Estos anillos se han formado cortando secciones de plancha y tienen por finalidad lograr una mayor adherencia entre el tubo y la roca, evitando deslizamientos en sentido longitudinal, además de aumentar su rigidez.

/En las

En las zonas en que la roca puede ejercer una mayor presión externa sobre los tubos, para evitar su aplastamiento, estos llevan soldadas en sentido longitudinal secciones de platinas en dimensiones aproximadas de 25 mm por 250 mm a 1.50 m de distancia entre sí.

Los otros tramos de tubería de acero corresponden a trozos de tubería en puente, para atravesar dos ríos. El mayor es de 6.30 m de diámetro por 120 m de largo, con espesores que varían entre 18 y 50 mm y el menor es de 3.30 m de diámetro por 67 m de largo, con espesores de 13 a 20 mm. El peso de estos dos tramos alcanza aproximadamente a 700 toneladas y 100 toneladas y se han formado con las mismas calidades de acero que en la tubería principal.

5. Turbinas (elemento de calderería)

Las turbinas hidráulicas del tipo Francis son conjuntos que comprenden partes mecánicas y de calderería, de gran tamaño y elevadas exigencias de precisión.

Los componentes mecánicos, que incluyen principalmente el rodete, eje, distribuidor y chumacera, son piezas de grandes dimensiones y peso, con exigencias de maquinado de precisión, que sólo pueden ser fabricadas por algunas grandes empresas altamente especializadas de Argentina, Brasil o México.

El caracol o carcasa exterior y la carcasa o tubos de desfogue (difusores) son elementos de calderería de gran peso y volumen, cuya fabricación local deberían intentar los países que cuentan con maestranzas capacitadas.

En el caso de la central utilizada como prototipo, que incluye dos turbinas Francis de 150 MW, el caracol de las turbinas tiene un diámetro de entrada de 3.10 m y un peso de cerca de 100 toneladas cada uno. El tubo de desfogue de cada turbina tiene un diámetro máximo de 3.60 m y un peso total superior a 50 toneladas.

Ambas piezas y en especial el caracol, están sujetas a grandes presiones, por lo que se fabrican normalmente con planchas de gran espesor de aceros de alta resistencia. Las secciones son formadas en prensa y luego preparadas para efectuar las uniones soldadas finales en terreno.

Normalmente se exige efectuar en taller el premontaje del caracol o cámara en espiral en conjunto con el distribuidor de las turbinas.

La fabricación de los componentes de calderería, que son de gran tamaño, particularmente el caracol y la tubería de desfogue, presenta numerosas dificultades de construcción, pero es técnicamente factible para las maestranzas más capacitadas en la clasificación B. En todo caso, la fabricación de estos elementos de calderería requiere una estrecha complementación y apoyo tecnológico de parte de la empresa que fabrica los elementos principales de la turbina.

Es interesante destacar el caso de las grandes turbinas de la central de Itaipú, en que el caracol y las tuberías de desfogue están siendo fabricadas por la Empresa Paraguaya CIE con el apoyo técnico de grandes empresas fabricantes brasileñas. En las mismas condiciones, la CIE está fabricando también los anillos o base de apoyo de los generadores de Itaipú.

Anexo I

DEMANDA DE EQUIPAMIENTO EN CENTRALES HIDROELECTRICAS

La posibilidad de determinar necesidades de equipamiento de otras centrales de generación hidroeléctrica proyectadas en Latinoamérica a través del análisis de una central prototipo depende de lo representativa que pueda ser la central escogida y de la dispersión de cifras que presenten las diversas centrales.

El tonelaje de equipos propios de calderería y estructuras en la central analizada alcanza a un total de 6 146 toneladas (20.49 toneladas por MW) con el siguiente detalle:

	<u>Toneladas</u>	<u>Ton/MW</u>
Compuertas	1 070	(3.57)
Rejas hidráulicas	71	(0.24)
Puentes-grúa y grúas portales	265	(0.88)
Estructuras metálicas	740	(2.47)
Tuberías de presión	4 000	(13.33)

Estos tonelajes son bastante normales y en general corresponden a las cifras que se observan en muchas centrales hidroeléctricas de tamaños medianos, equipadas con turbinas del tipo Francis, excepto el rubro de tuberías de presión, que es muy variable, pues depende en gran parte de las características de la central y de la configuración geográfica de la zona en que se construye. El tonelaje de tuberías de presión en la central considerada como prototipo (13.33 ton/MW) es alto y considerablemente superior a los tonelajes más comunes para este rubro, que suelen ser cercanos a 5 toneladas por MW de capacidad.

A modo de comparación, se han estudiado los tonelajes de los equipos propios de calderería y estructuras de cinco centrales de tamaño mediano (250 a 540 MW), obteniéndose los siguientes valores, que pueden compararse con los de la central analizada como prototipo.

También se compara con los tonelajes de la segunda central hidroeléctrica estudiada, de 500 MW, cuyas cifras se detallan en el anexo IV.

TONELAJE EN CALDERERIA Y ESTRUCTURAS

(Valores en ton/MW)

	<u>Máximo</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Medio</u>	<u>Prototipo</u> 300 MW	<u>Central</u> 500 MW
Compuertas	3.84	2.02	3.15	3.57	3.01
Rejas hidráulicas	0.64	0.11	0.35	0.24	0.26
Puentes-grúa y pórticos	1.08	0.52	0.87	0.88	0.97
Tuberías de presión	10.33	2.40	5.45	13.33	3.10

Como puede observarse, sin que esta comparación constituya en ningún caso una prueba estadística, los valores en ton/MW obtenidos para la central prototipo son bastante similares a los de varias otras centrales, siendo muy cercanos a los valores promedio, excepto en las tuberías de presión, en que son muy superiores.

Los tonelajes de estructuras metálicas de la central utilizada como prototipo (2.47 ton/MW) parecen ser también bastante normales, aunque no se dispone de cifras de otras centrales hidroeléctricas. Hay también casos de centrales que tienen menores tonelajes de estructuras metálicas en sus casas de máquinas, al ser estas subterráneas, en cuyo caso este rubro se limita principalmente al tonelaje de las vigas portagrúas, las columnas de soporte y las estructuras livianas galvanizadas propias del patio de alta tensión.

Anexo II

NECESIDAD DE HORAS-HOMBRE DE TRABAJO DIRECTO PARA LA
FABRICACION DE EQUIPOS EN LA CENTRAL PROTOTIPO

Se determinará la necesidad de horas-hombre de trabajo directo de acuerdo a los niveles de productividad considerados más adecuados en Latinoamérica, que en general suelen requerir más horas que las que se estiman normales en los países de mayor desarrollo.

Se calcularán las horas-hombre según la clasificación de tonelajes de posible fabricación indicados anteriormente en el cuadro 2.

1) Empresas catalogadas como B, es decir, algunas de los países de mayor desarrollo en la Subregión Andina (Colombia, Perú y Venezuela) a las que pueden agregarse algunas de Chile y Paraguay.

Cuadro 1

HORAS-HOMBRE PARA TONELAJES CLASIFICADOS EN "B"

Equipos		h/h necesarias
Compuertas mayores	(703 ton x 200 h/h)	140 600
Estructuras de puentes-grúa	(160 ton x 120 h/h)	19 200
Tuberías de presión	(2 900 ton x 60 h/h)	174 000
		<u>333 800</u>

2) Productos fabricables por empresas catalogadas como C, es decir empresas de los países de menor desarrollo metalmeccánico de la Subregión Andina (Ecuador y Bolivia) a las que pueden agregarse empresas de Uruguay y algunas de Centroamérica.

Cuadro 2

HORAS-HOMBRE PARA TONELAJES CLASIFICADOS EN "C"

Equipos		h/h necesarias
Compuertas menores	(367 ton x 140 h/h)	51 380
Estructura de grúas-pórticos	(105 ton x 120 h/h)	12 600
Rejas hidráulicas	(71 ton x 120 h/h)	8 520
Tuberías de presión	(1 100 ton x 60 h/h)	66 000
Estructuras medianas	(580 ton x 80 h/h)	46 400
Estructuras livianas	(160 ton x 110 h/h)	17 600
		<u>202 500</u>

El total de horas-hombre de trabajo directo necesarias para fabricar los equipos en que predominan en procesos de calderería y estructura clasificados en B y C alcanza a 536 300 para la central considerada como prototipo. Teniendo en cuenta un tonelaje más normal de 1 500 toneladas de tuberías de presión, el total de horas-hombre de trabajo directo se reduce a 386 300.

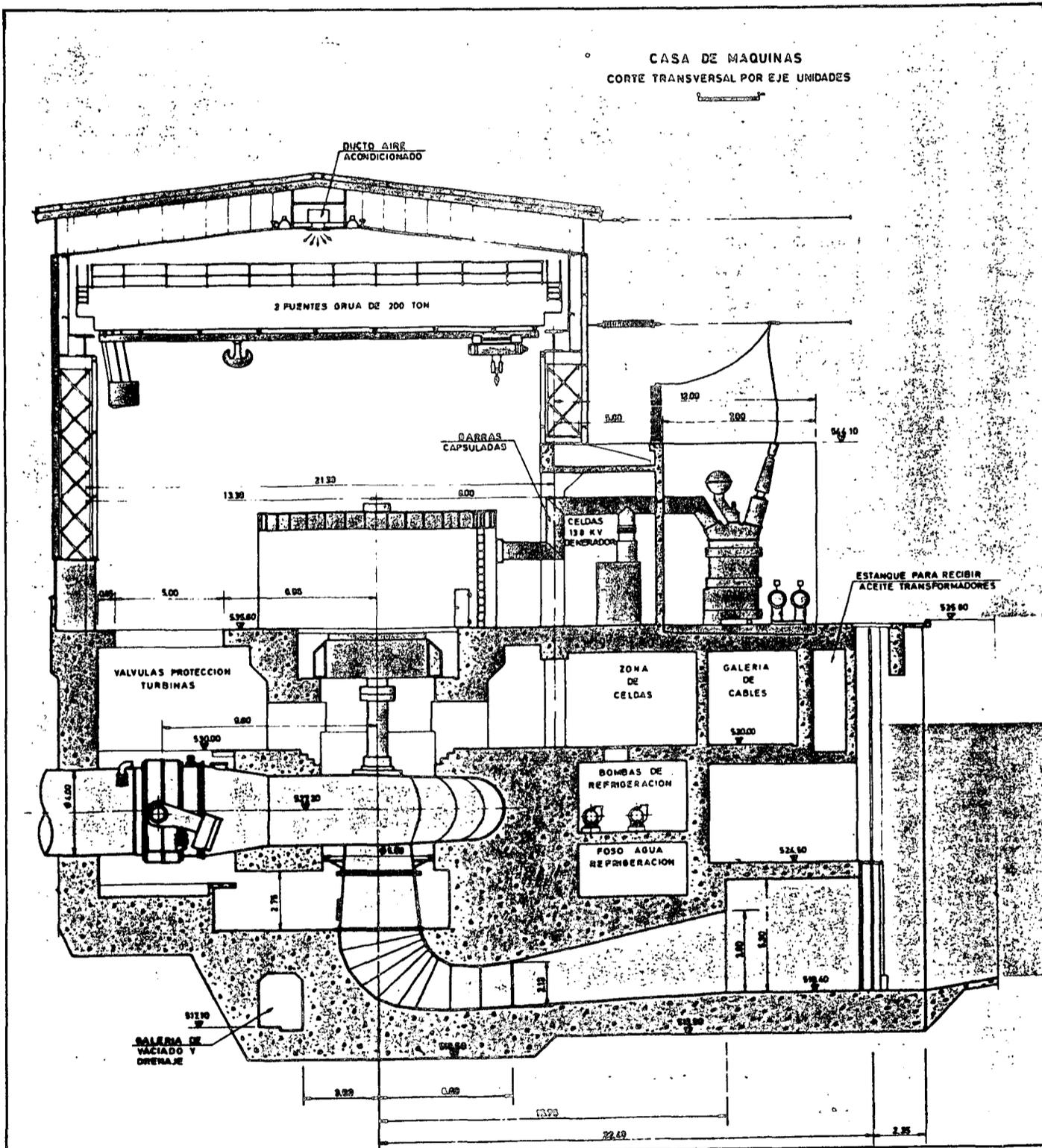
Si se calcula a razón de 2 000 horas de trabajo total por persona, se requerirían 193 personas trabajando durante un año.

Si se estima un rendimiento útil de 80% del tiempo total, se requerirían 241 personas de trabajo directo.

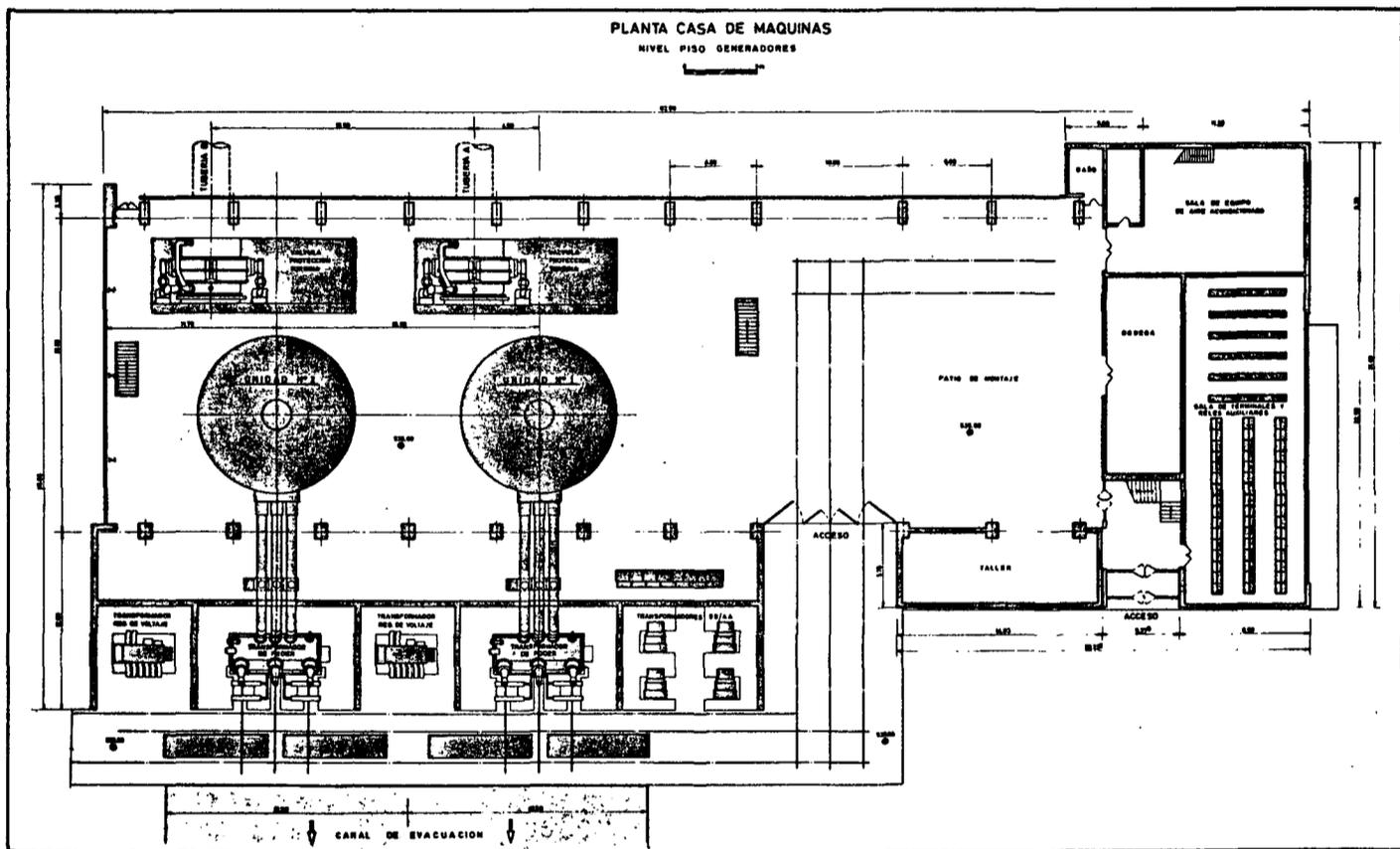
Si se calcula para las maestranzas una relación de 65% de personal directo y 35% indirecto, el cálculo anterior alcanza a una necesidad total de 370 personas para talleres que trabajen durante todo un año para producir los equipos descritos de una central prototipo de una potencia instalada de 300 MW.

PLANOS DE DETALLE

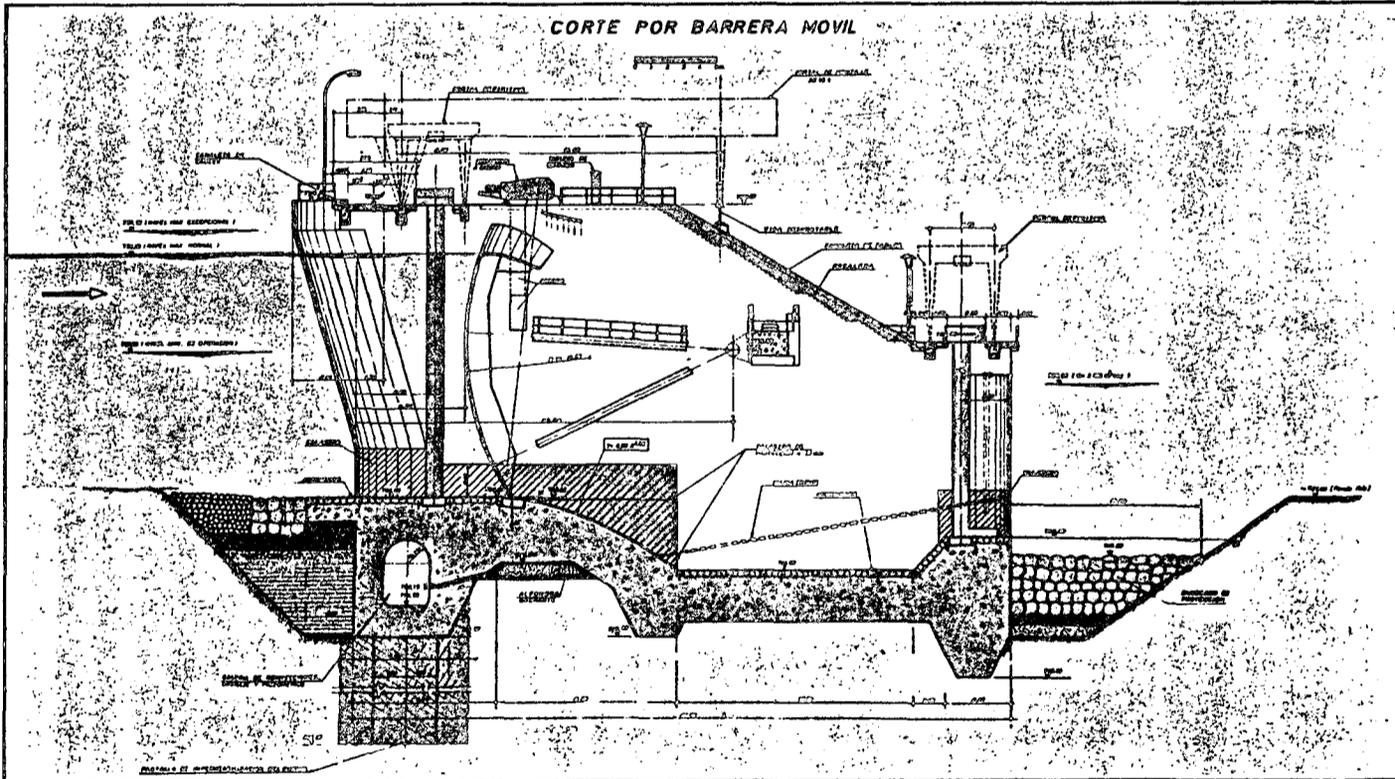
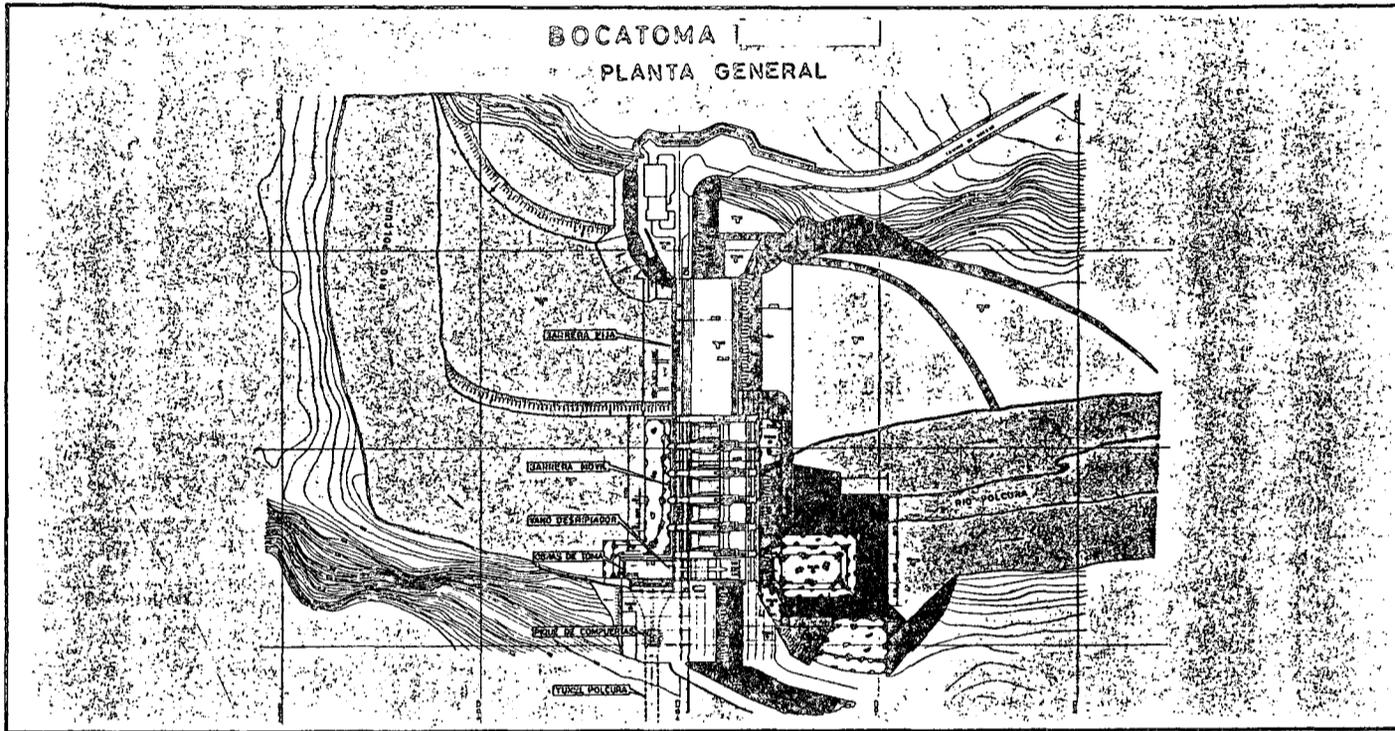
1. CASA DE MAQUINAS. CORTE TRANSVERSAL



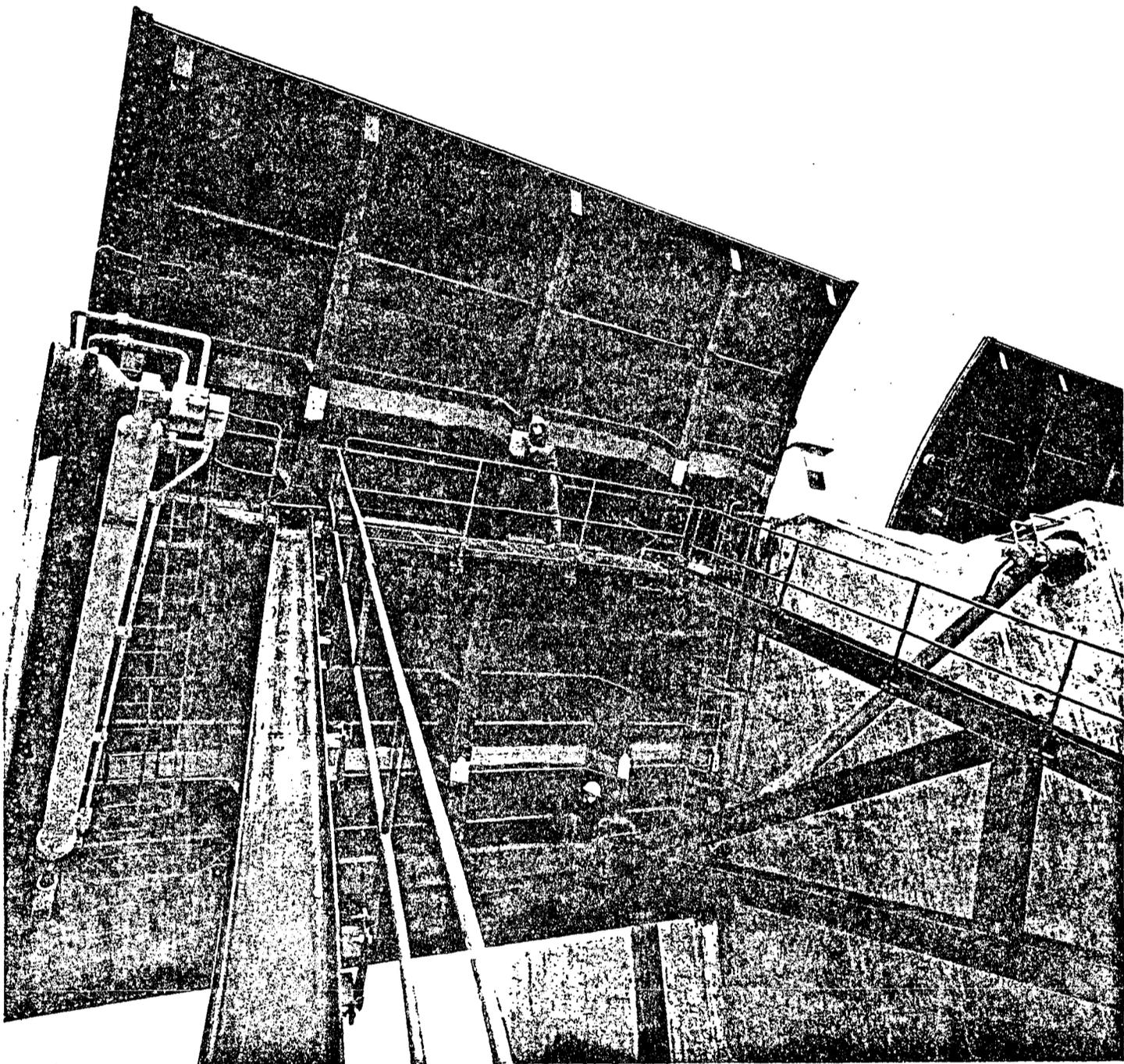
2. CASA DE MAQUINAS. PLANTA



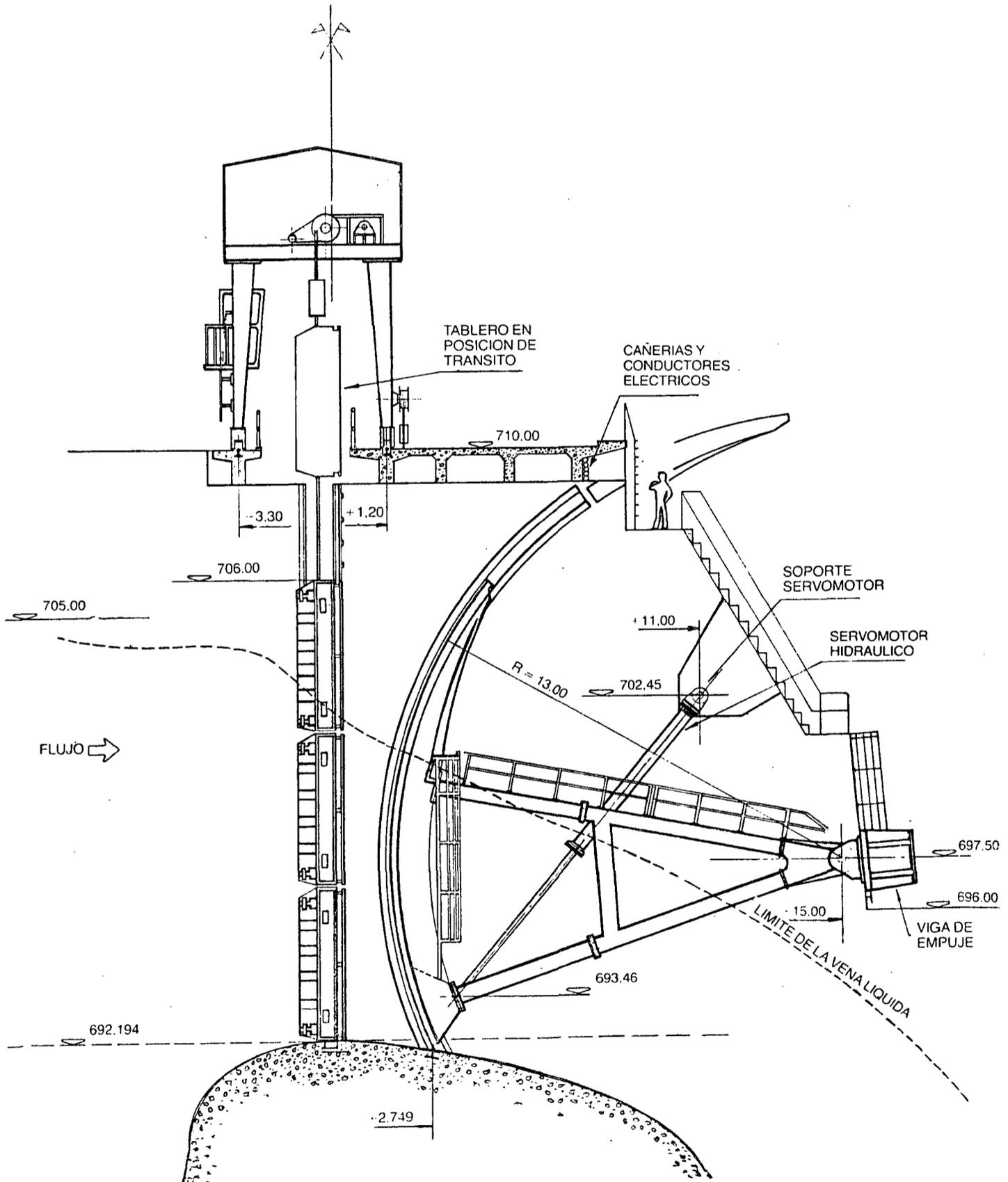
3. BOCATOMA Y CORTE DE LA BARRERA.



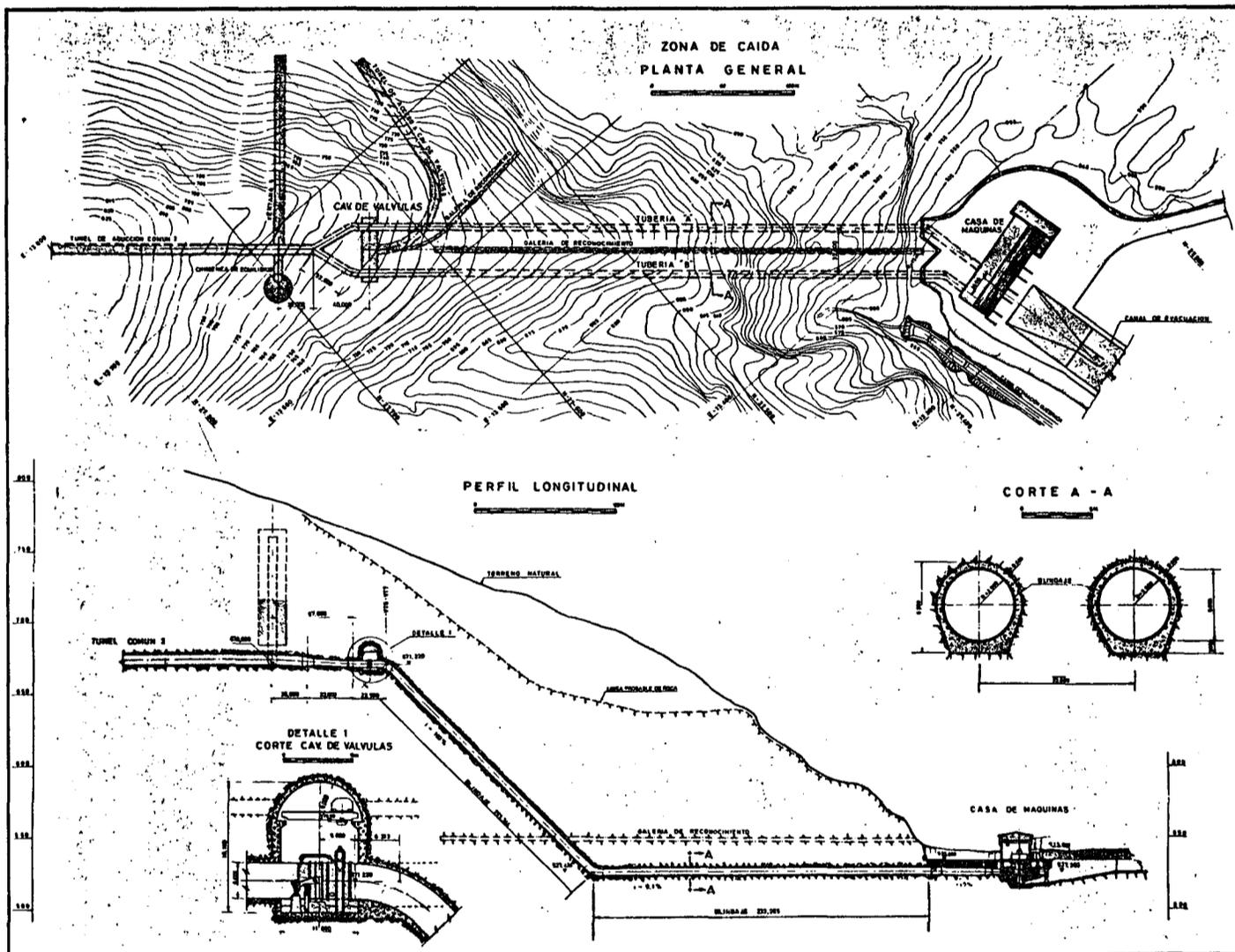
4. COMPUERTA RADIAL DE VERTEDERO



5. CORTE DE COMPUERTAS DE VERTEDERO Y DE EMERGENCIA

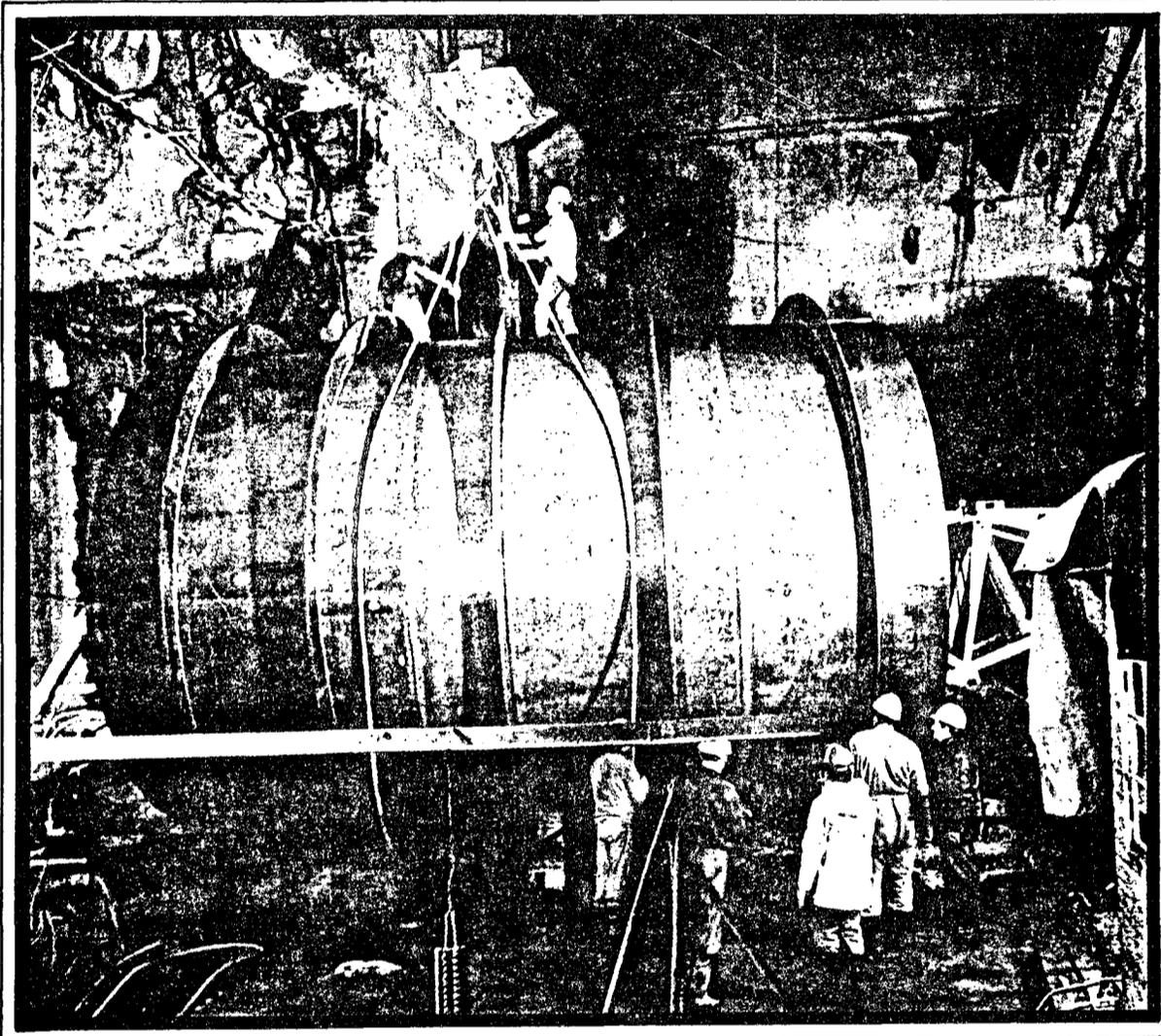


6. PLANTA Y PERFIL DE TUBERIAS DE PRESION (BLINDAJES)

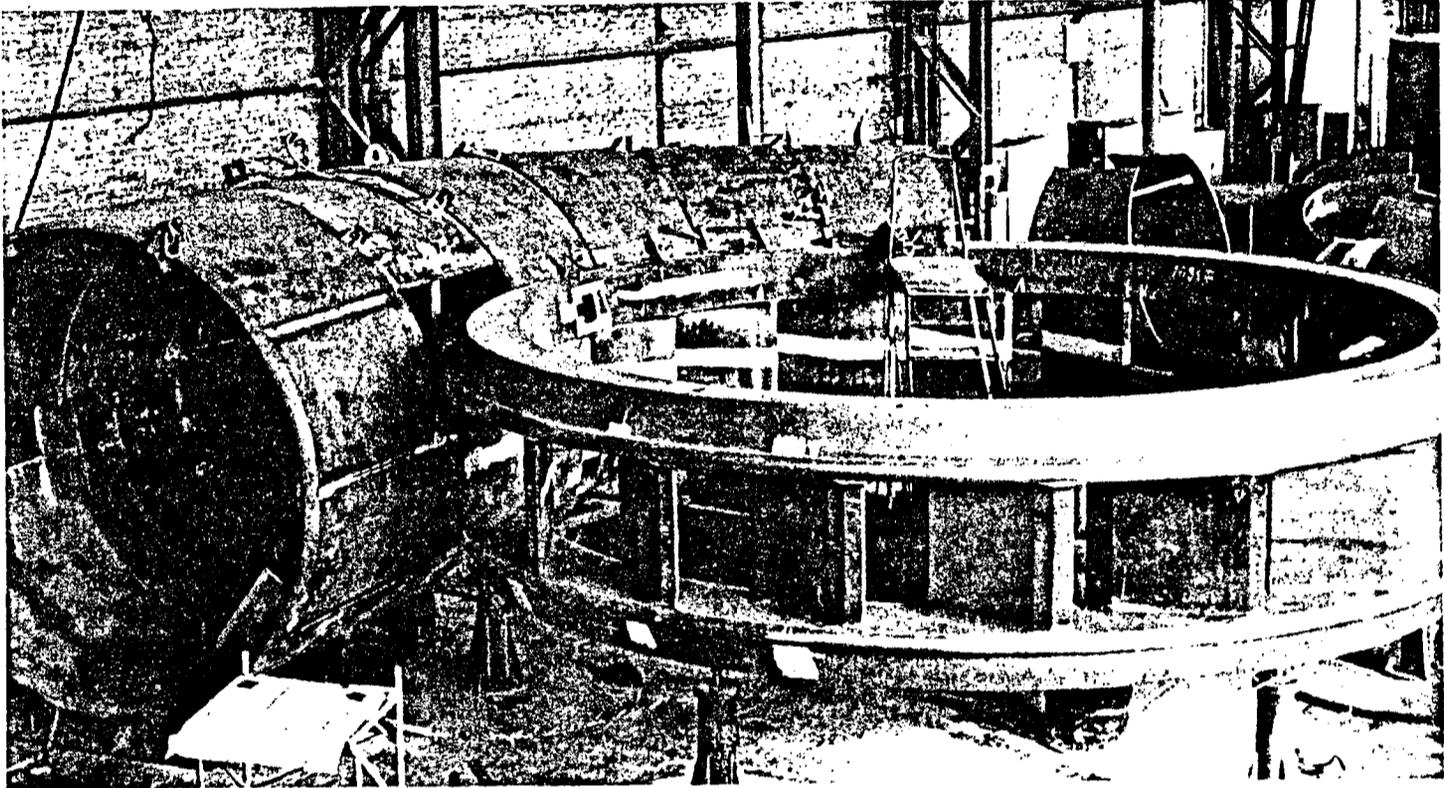


7. MONTAJE DE TUBERIAS DE PRESION

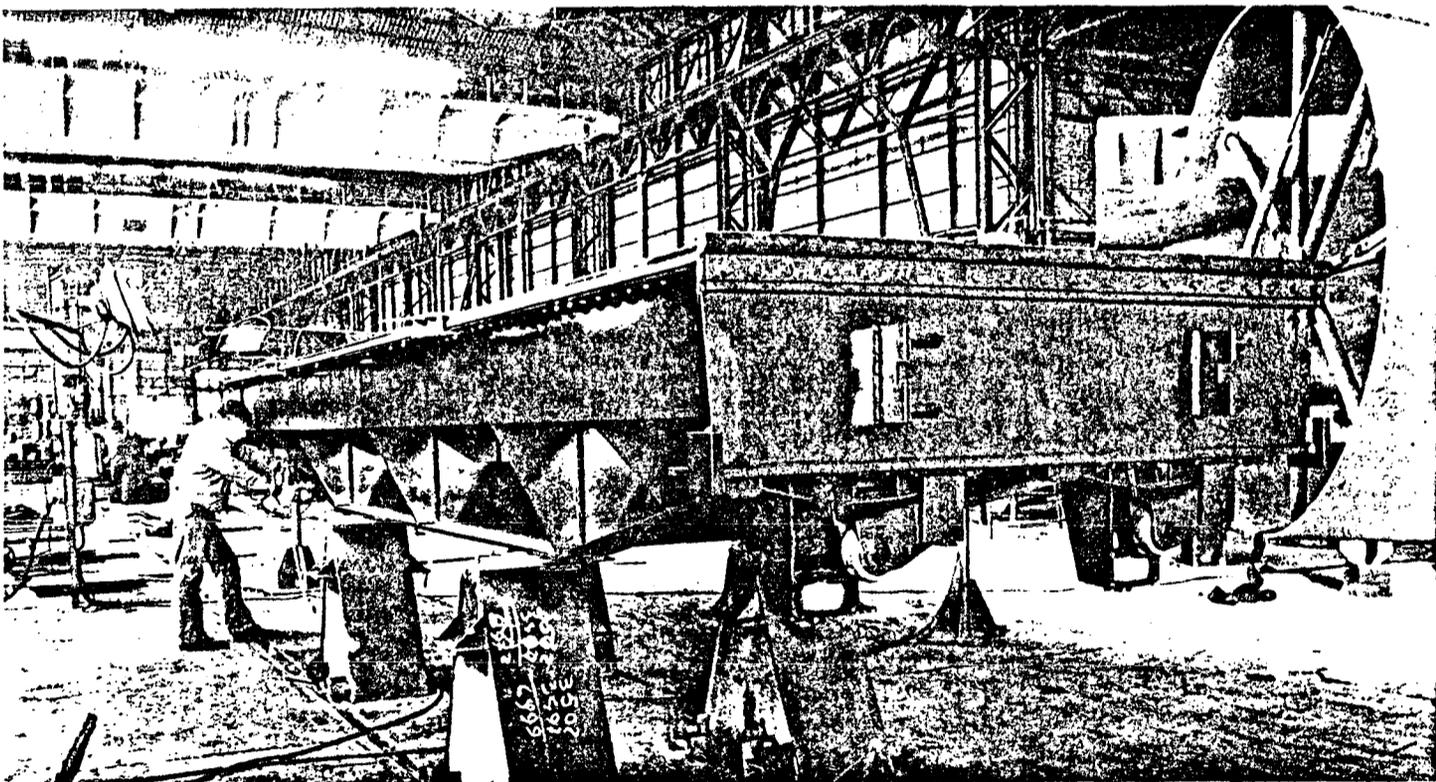
Montaje de la tubería en la casa de válvulas.



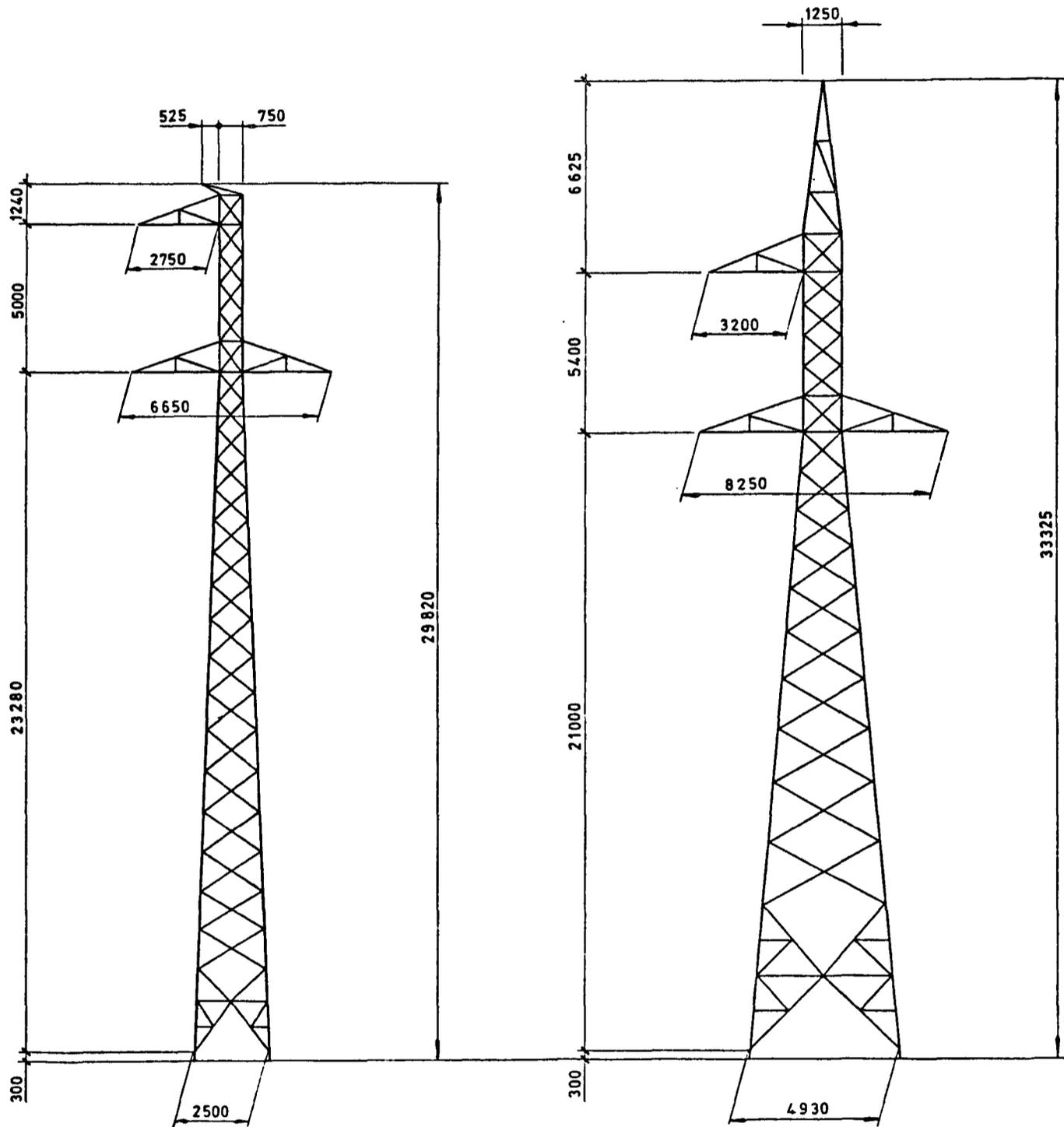
8. PREMONTAJE DE CARACOL Y DISTRIBUIDOR



FABRICACION DE PAÑO DE COMPUERTA DE EMERGENCIA



9. TORRES DE ALTA TENSION



TORRES TIPO DE SUSPENSION Y ANCLAJE

Anexo IV

DESGLOSE DE EQUIPOS DE UNA CENTRAL DE 500 MW

Como complemento de la información obtenida al estudiar el detalle del equipamiento de una central hidroeléctrica de 300 MW, utilizada como prototipo, se ha estimado conveniente comparar las cifras obtenidas con las de otra central ligeramente mayor, también con turbinas tipo Francis, de una potencia total de 500 MW.

1. Características de la central

Esta segunda central analizada, que también corresponde a ríos que desembocan en el Océano Pacífico, se encuentra aún en la etapa de proyecto y tiene las siguientes características principales:

Potencia instalada: 500 MW
Energía media anual: 2 650 GWh
Caudal medio: 182 m³/seg.
Caudal máximo: 300 m³/seg.
Altura neta media: 194,2 m

El equipo principal incluye:

2 turbinas Francis de 250 MW cada una
2 generadores de 263 MVA cada uno
2 transformadores de 290 MVA c/u 230 KV

2. Obras principales y valor de la inversión

Las obras fundamentales de esta central incluyen los siguientes rubros:

- Bocatomas, represa y sistemas de compuertas
- Túneles, incluidas las zonas en presión, con blindaje de acero
- Zona de caída, con chimenea de equilibrio y caverna de válvulas
- Caverna de máquinas
- Patio de alta tensión
- Sistema de transmisión asociado

La inversión total en esta central, expresada en dólares del 1º de julio de 1981, se calcula en el equivalente de 613.5 millones de dólares desglosados en la siguiente forma:

Cuadro 1

PRESUPUESTO DE LAS OBRAS

	Total (miles dólares equivalentes)
<u>1. Ingeniería y administración de la construcción</u>	<u>69 947</u>
1.1 Ingeniería	32 700
1.2 Administración de la construcción	37 247
<u>2. Costos de construcción</u>	<u>522 843</u>
2.1 Infraestructura	34 152
2.2 Obras civiles	311 205
2.3 Equipos	72 874
2.3.1 Equipos civiles	(3 304)
2.3.2 Eléctricos	(37 838)
2.3.3 Equipos mecánicos	(31 732)
2.4 Montaje	28 937
2.4.1 Montaje de equipos civiles	(1 652)
2.4.2 Montaje electromecánico	(27 287)
2.5 Gastos portuarios	2 427
2.6 Fletes en el país	2 186
2.7 Derechos de internación	6 934
2.8 Imprevistos	64 128
<u>Total del costo directo</u>	<u>592 790</u>
Gastos Generales	20 748
<u>Total</u>	<u>613 538</u>

3. Principales componentes del equipamiento

Los equipos necesarios para la construcción de esta central y sus tonelajes aproximados se pueden agrupar en los siguientes rubros básicos:

	<u>Toneladas</u>	<u>Ton/MW</u>
1. Compuertas	1 505	3.01
2. Rejas hidráulicas	130	0.26
3. Puentes-grúa y pórticos	485	0.97
4. Válvulas de protección	600	1.20
5. Turbinas	1 120	2.24
6. Generadores	1 950	3.90
7. Transformadores de poder	540	1.08
8. Transformadores auxiliares y de medida	45	0.09
9. Equipos de seguridad y maniobra	30	0.06
10. Tuberías de presión (blindajes)	1 550	3.10
11. Estructuras metálicas (Cavernas de máquinas y de válvulas)	650	1.30
12. Estructuras galvanizadas	300	0.60
13. Equipos varios	300	0.60
14. Sistema de transmisión asociado	220	0.44

4. Desagregación de los equipos y posibilidades tecnológicas de su fabricación local

Se clasificarán las posibilidades de fabricación local en las mismas categorías A, B y C, utilizadas en el análisis de la central de 300 MW.

a) Compuertas

Se calcula un total aproximado de 1 505 toneladas de compuertas planas y radiales. Las posibilidades de fabricación local de las compuertas (excluidos los mecanismos) dependerán principalmente de su peso y dimensiones y por lo tanto, de manipular en taller elementos voluminosos y de gran peso. Además, puede ser determinante la necesidad de mandrinado de los agujeros para el pivote central en las compuertas radiales (de sector).

El total de las compuertas se puede dividir en dos grupos:

i) Compuertas mayores, correspondientes a la categoría B, que sólo podrían fabricarse en los países de mayor desarrollo metalmeccánico de la Subregión Andina, en Chile y en Paraguay.

- 3 compuertas radiales (sectores) de vertedero, de 10.20 m de ancho por 12.40 m de alto (100 toneladas cada una)
- 6 compuertas radiales de vertedero en la bocatoma, de 10.20 m de ancho por 7.30 m de alto (52 toneladas cada una)
- 2 compuertas planas de cierre en túnel de desviación, de 8.60 m x 8.60 m de alto (70 toneladas cada una)
- 2 compuertas planas de toma en la aducción común de 4.20 m x 6.00 m de alto (37.5 toneladas cada una)

Peso total de las compuertas mayores: (B) 827 toneladas

ii) Compuertas menores, correspondientes a la categoría C, que podrían fabricarse en los países menores de la Subregión Andina y en algunos de Centroamérica.

- 4 compuertas planas de toma, de 4.80 m x 3.20 m de alto (21 toneladas cada una)
- 8 compuertas auxiliares (emergencia) tableros 4.0 x 4.80 m (10 toneladas cada una)
- 6 paños de 2 compuertas de emergencia (tableros) cada uno de 10.20 m de ancho x 4.00 m accionados por grúas portales (12.5 toneladas cada una)
- 3 paños de 2 compuertas de emergencia (tableros) cada una de 10.20 m de ancho x 4.00 m accionados por grúa portal (12.5 toneladas cada una)
- 2 compuertas planas de tableros, 5.00 m x 4.20 m alto (16 toneladas cada una)
- 2 compuertas planas en desviación, de 1.50 m x 2.50 m de alto (10 toneladas cada una)
- 2 compuertas planas de emergencia, de 1.50 m x 2.50 m de alto (10 toneladas cada una)
- 3 compuertas auxiliares de 3 tableros cada uno de 10.20 m x 4.16 m en vertedero (13 toneladas cada tablero)

4 compuertas de tableros, en aducción común, cada una de dos tableros de 4.20 x 3.00 m accionados por grúa portal	(5 toneladas cada una)
2 compuertas planas de difusores, de cuatro tableros de 6.00 x 2.40 m cada una	(7.5 toneladas cada una)
Peso total de las compuertas menores: (C)	678 toneladas

b) Rejas hidráulicas

La central de 500 MW incluye un total aproximado de 125 toneladas de rejas hidráulicas, cuya fabricación es sencilla y corresponden por lo tanto a la clasificación C.

Se incluyen las siguientes rejas:

Bocatoma:	Un total de 144 m ² de rejas (25 toneladas)
Entrada a túnel:	2 secciones de 5.00 x 6.00 m (60 m ²) (10 toneladas)
Aducción común:	1 reja de 21.50 m ancho x 13.40 m (288 m ²) (95 toneladas)

Peso total de rejas hidráulicas: (C) 130 toneladas

c) Puentes-grúa y grúas portales

La central estudiada incluye un total de cinco puentes-grúa y cinco pórticos para alzamiento de compuertas.

La parte estructural puede fabricarse en muchos países de Latinoamérica, dependiendo de su peso y capacidad, importando los componentes electromecánicos.

i) Los puentes-grúa mayores, que corresponden a la clasificación B son los siguientes:

2 puentes-grúa en caverna de máquinas	
Capacidad:	250/40 toneladas cada uno
Luz:	23 m
Peso aproximado:	150 toneladas cada uno

1 puente-grúa en caverna de válvulas	
Capacidad:	100 toneladas
Luz:	11 m
Peso parte estructural	45 toneladas

Peso puentes-grúa mayores: (B) 345 toneladas

/ii) Los

ii) Los pórticos y puentes menores de la central se incluyen en la clasificación C y comprenden los siguientes:

- 1 pórtico en aducción común
 - Capacidad: 30 toneladas
 - Peso propio: 25 toneladas
- 2 pórticos en barrera móvil
 - Capacidad: 25 toneladas cada uno
 - Peso propio: 25 toneladas
- 1 pórtico en vertedero de embalse
 - Capacidad: 25 toneladas
 - Peso propio: 25 toneladas
- 1 puente-grúa para compuertas de difusores
 - Capacidad: 40 toneladas
 - Luz: 5.50 m
 - Peso propio: 20 toneladas
- 1 puente-grúa en caverna de compuertas
 - Capacidad: 20 toneladas
 - Luz: 9.40 m
 - Peso propio: 10 toneladas
- 1 pórtico en entrada o túnel
 - Capacidad: 7 toneladas
 - Peso propio: 10 toneladas

Peso total pórticos y puentes menores: (C) 140 toneladas

d) Válvulas de protección

La central incluye dos válvulas de mariposa de gran diámetro, para protección de tuberías y turbinas.

Las válvulas de mariposa son equipos cuya fabricación se clasifica en la categoría A, pues requieren grandes instalaciones para su mecanizado e incluyen piezas fundidas de más de 50 toneladas.

Las válvulas que tendrá esta central son:

- 2 válvulas de mariposa para protección de las tuberías de presión y de las turbinas
 - Diámetro: 5.00 m
 - Ubicación: Caverna de válvulas
 - Presión: 185 m de columna de agua
 - Peso estimado: 300 toneladas cada una (con servomotor y contrapeso)

Peso total de válvulas: (A) 600 toneladas

e) Turbinas

La central incluye entre sus equipos dos turbinas de tipo Francis de eje vertical, de las siguientes características:

Potencia: 251.6 MW
Altura: 185 m de columna de agua
Velocidad: 187.5 rpm
Peso aproximado: 560 toneladas cada una

Peso total de turbinas: (A) 1 120 toneladas

f) Generadores

La central incluye dos generadores sincrónicos, que al igual que las turbinas, son equipos cuya fabricación se clasifica en la categoría A por ser de muy alta especialización y complejidad de producción.

Las características de los generadores son:

Potencia: 263/269 MVA
Tensión: 13.8 KV
Velocidad: 187.5 rpm
Sistema de frenado: mecánico
Peso aproximado: 975 toneladas cada uno

Peso total de los generadores: (A) 1 950 toneladas

g) Transformadores de poder

Los generadores van conectados en bloque a transformadores trifásicos de potencia, que elevan el voltaje a 230 KV.

Por su gran tamaño y peso, la fabricación de estos transformadores se clasifica en la categoría A.

Las características de estos transformadores son:

Potencia: 290 MVA
Relación: 13.8/230 KV
Trifásicos
Circulación forzada de agua y aceite
Peso total aproximado: 270 toneladas

Peso de los transformadores: (A) 540 toneladas

h) Transformadores auxiliares y de medida

La central incluye numerosos transformadores auxiliares de corriente, de voltaje y de medición en 230 KV, cuyo peso se puede estimar en 20 toneladas y que corresponde clasificar en categoría A.

Para alimentación de servicios auxiliares (y para la construcción) se instalará una subestación de 20 MVA (154/13.8 KV) y se instalarán además transformadores de 150 y 250 KVA (13.8/0.4 KV).

Estos equipos corresponden a la clasificación B y su peso se estima en 25 toneladas en total.

Peso de equipos auxiliares y de medida:	
Peso de transformadores: (A)	20 toneladas
Peso de transformadores: (B)	25 toneladas

i) Equipos de seguridad y maniobra

La central de 500 MVA incluye numerosos equipos de seguridad y maniobra, que en su mayor parte han sido diseñados para operar a un nivel de 230 KV, por lo que su fabricación debe clasificarse en la categoría A.

Los principales equipos de seguridad y maniobra corresponden a pararrayos, desconectadores, interruptores, trampas de onda, equipos de maniobra, relés, etc.

El peso de estos equipos (A) se estima en 30 toneladas.

j) Tuberías de presión (blindajes)

La central estudiada incluye un importante tonelaje de tubería de presión, como blindajes de revestimiento interior en túneles. La mayor parte del tonelaje corresponde a tuberías de acero de 5.00 m de diámetro, en espesores de 15 a 25 mm y un tramo de tubos de 8.50 m de diámetro en espesores de 30 mm más una pieza especial de bifurcación de 8.50 m con salidas de 5.00 m de diámetro.

Las especificaciones de las tuberías a presión son para propuestas en que se solicita el diseño, fabricación y montaje en obra. Normalmente las mejores alternativas corresponden a tuberías fabricadas con acero de alta resistencia y de gran soldabilidad, que en su mayor parte se curva y suelda en faena instalada junto a la obra. Las secciones de tubos se someten a inspección completa de soldadura y a prueba hidráulica antes de su montaje definitivo.

Para preparar las secciones de los tubos se necesita contar con máquinas roladoras de gran potencia, ya que normalmente se utilizan planchas gruesas de acero de alta resistencia de 3 m de ancho por espesores máximos cercanos a 30 milímetros.

Algunas secciones de tubos llevan soldados exteriormente anillos transversales o bien placas en sentido longitudinal, para aumentar la rigidez, evitar el aplastamiento y asegurar mayor adherencia con la roca.

El tonelaje total de las tuberías de presión de la central alcanzará aproximadamente a 1 550 toneladas (el tonelaje definitivo puede variar de acuerdo con las características del acero que se utilice y las modalidades de cálculo de las soluciones que se adopten).

Por su mayor dificultad de fabricación se estima que las secciones de 8.50 m de diámetro y la pieza de bifurcación, con un tonelaje aproximado de 650 toneladas corresponderían a la categoría B de fabricación y el resto podría ser fabricado por empresas catalogadas en C.

Peso total de tuberías mayores: (B)	650 toneladas
Peso de tuberías menores: (C)	900 toneladas

k) Estructuras metálicas medianas y pesadas

La central incluirá alrededor de 650 toneladas de estructuras de acero medianas y pesadas.

En este tonelaje se incluyen 303 toneladas de vigas de acero para dos puentes y el resto corresponde principalmente a vigas porta grúas en las cavernas de máquinas y de válvulas y a los pilares correspondientes, más algunas estructuras de sostén de los equipos.

No se considerará como estructuras metálicas un total cercano a 5 000 toneladas de marcos de acero de refuerzo que se emplearán en los túneles, por no constituir equipos ni partes complementarias, sino partes de las obras civiles.

Peso total de estructuras metálicas: (C)	650 toneladas
--	---------------

l) Estructuras livianas galvanizadas

La central incluirá alrededor de 300 toneladas de estructuras livianas de acero galvanizado en las obras correspondientes a patio de alta tensión y ampliación de subestación.

La fabricación de las estructuras livianas galvanizadas no ofrece mayores dificultades, por lo que puede clasificarse en la categoría C.

Peso total de estructuras galvanizadas: (C)	300 toneladas
---	---------------

m) Equipos varios

Además de los equipos detallados anteriormente, una central hidráulica incluye una gran cantidad de equipos misceláneos, que por su dispersión son de difícil clasificación.

Algunos de estos equipos misceláneos son:

Máquinas limpiarrejjas; grupos electrógenos de emergencia; sistemas de refrigeración, drenaje, aire comprimido, ventilación y motobombas; barras capsuladas; tableros; luminarias; mecanismos diversos, motores y servomotores.

En total, estos equipos misceláneos se pueden estimar en unas 300 toneladas, de las que cerca de la mitad corresponden a equipos especializados y de alta complejidad, que pueden clasificarse en la categoría A y el resto en B.

n) Sistema de transmisión asociado

La construcción de esta central, además de la planta de generación propiamente tal, requerirá instalar una línea de alta tensión de 25 kilómetros en doble circuito de 220 KV hasta empalmar con el sistema interconectado existente.

El tendido de esta línea incluye alrededor de 220 toneladas de torres galvanizadas de alta tensión, más los conductores y equipos auxiliares correspondientes.

5. Resumen del equipamiento incluido

El equipamiento total incluido en la central de 500 MW estudiada como prototipo, alcanza a 9 205 toneladas, lo que equivale a 18.41 toneladas por cada MW de capacidad instalada.

En este tonelaje no se han incluido las torres de alta tensión del sistema de transmisión asociado.

El equipamiento total se puede subdividir en dos grupos principales: equipos en los que predominan los procesos de calderería y estructuras y los equipos mecánicos y eléctricos.

a) Equipos de calderería y estructuras

El tonelaje de equipos de calderería y estructuras incluido en la central de 500 MW estudiada alcanza a 4 620 toneladas que corresponden a 9.24 toneladas cada MW de capacidad instalada. Dentro de ese total, las tuberías de presión representan cerca de la tercera parte, lo que difiere notablemente de la central de 300 MW estudiada como prototipo, en que este rubro equivale a dos tercios.

Los rubros propios de calderería y estructuras metálicas, exceptuadas las tuberías de presión, suman 3 070 toneladas, que corresponden a 6.14 toneladas por MW de capacidad instalada, según el siguiente detalle:

	<u>Toneladas</u>	<u>Ton/MW</u>
Compuertas	1 505	(3.01)
Rejas hidráulicas	130	(0.26)
Puentes-grúa y portales	485	(0.97)
Estructuras metálicas	950	(1.90)
	<u>3 070</u>	<u>6.14</u>

El tonelaje resultante, de 6.14 ton/MW, es muy similar al obtenido en la central de 300 MW, que fue de 7.16 ton/MW para los mismos rubros, y muestra valores ligeramente menores, lo que se explica por tratarse de una central de mayor potencia.

El tonelaje de tuberías de presión alcanza a 1 550 toneladas, equivalentes a 3.10 ton/MW. Estas cifras son considerablemente más bajas que en el caso de la central de 300 MW estudiada como prototipo, en que alcanzaban a 4 000 toneladas, equivalentes a 13.33 ton/MW.

b) Equipos mecánicos y eléctricos

El equipamiento de la central hidroeléctrica de 500 MW estudiada incluye 4 210 toneladas de equipos principales en los que predominan los componentes mecánicos y eléctricos. Este tonelaje equivale a 8.42 toneladas por cada MW de capacidad instalada. Los rubros más importantes son:

	<u>Toneladas</u>	<u>Ton/MW</u>
Turbinas	1 120	(2.24)
Generadores	1 950	(3.90)
Válvulas de mariposa	600	(1.20)
Transformadores de poder	540	(1.08)

Estos valores, expresados en ton/MW, son muy semejantes a los de la central de 300 MW estudiada anteriormente, excepto en el caso de las válvulas mariposa, en que son mucho menores. El menor peso en este caso se debe a que la central de 500 MW tendrá sólo dos válvulas en total, ya que se ha diseñado en forma tal que servirán de protección común a las tuberías y a las turbinas.

Si se incluyen además los transformadores auxiliares y de medida, los equipos de seguridad y maniobra y equipos varios, se obtiene el peso total de 4 410 toneladas, equivalentes a 9.17 ton/MW. Estos valores son bastante normales y coinciden con los rangos que se observan en varias centrales hidroeléctricas de tamaño similar equipadas con turbinas de tipo Francis.

/Casi todos

Casi todos los equipos mecánicos o eléctricos incluidos en la central de 500 MW estudiada corresponden a la categoría A, de equipos de alta complejidad, que dentro de Latinoamérica sólo podrían ser fabricados por algunas empresas de Argentina, Brasil o México.

En el cuadro 2 se indica un resumen del equipamiento incluido en la central de 500 MW estudiada, clasificado según sus posibilidades de fabricación local.

Cuadro 2

RESUMEN DEL EQUIPAMIENTO Y DE SUS POSIBILIDADES DE FABRICACION
(Toneladas)

	A	B	C	Total	Ton/MW
<u>Equipos de calderería y estructura</u>					
Compuertas	-	827	678	1 505	3.01
Rejas hidráulicas	-	-	130	130	0.26
Puentes-grúa y grúas portales	-	345	140	485	0.97
Estructuras medianas	-	-	650	650	1.30
Estructuras livianas galvanizadas	-	-	300	300	0.60
Tuberías de presión (blindajes)	-	650	900	1 550	3.10
<u>Subtotal</u>	-	<u>1 822</u>	<u>2 798</u>	<u>4 620</u>	<u>9.24</u>
<u>Equipos mecánicos y eléctricos</u>					
Turbinas	1 120	-	-	1 120	2.24
Generadores	1 950	-	-	1 950	3.90
Válvulas de mariposa	600	-	-	600	1.20
Transformadores de poder	540	-	-	540	1.08
Transformadores auxiliares y de medida	20	25	-	45	0.09
Equipos de seguridad y maniobra	30	-	-	30	0.06
Equipos varios	150	150	-	300	0.60
<u>Subtotal</u>	<u>4 410</u>	<u>175</u>	-	<u>4 585</u>	<u>9.17</u>
<u>Total</u>	<u>4 410</u>	<u>1 997</u>	<u>2 798</u>	<u>9 205</u>	<u>18.41</u>

2

3

4

5

6

