



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

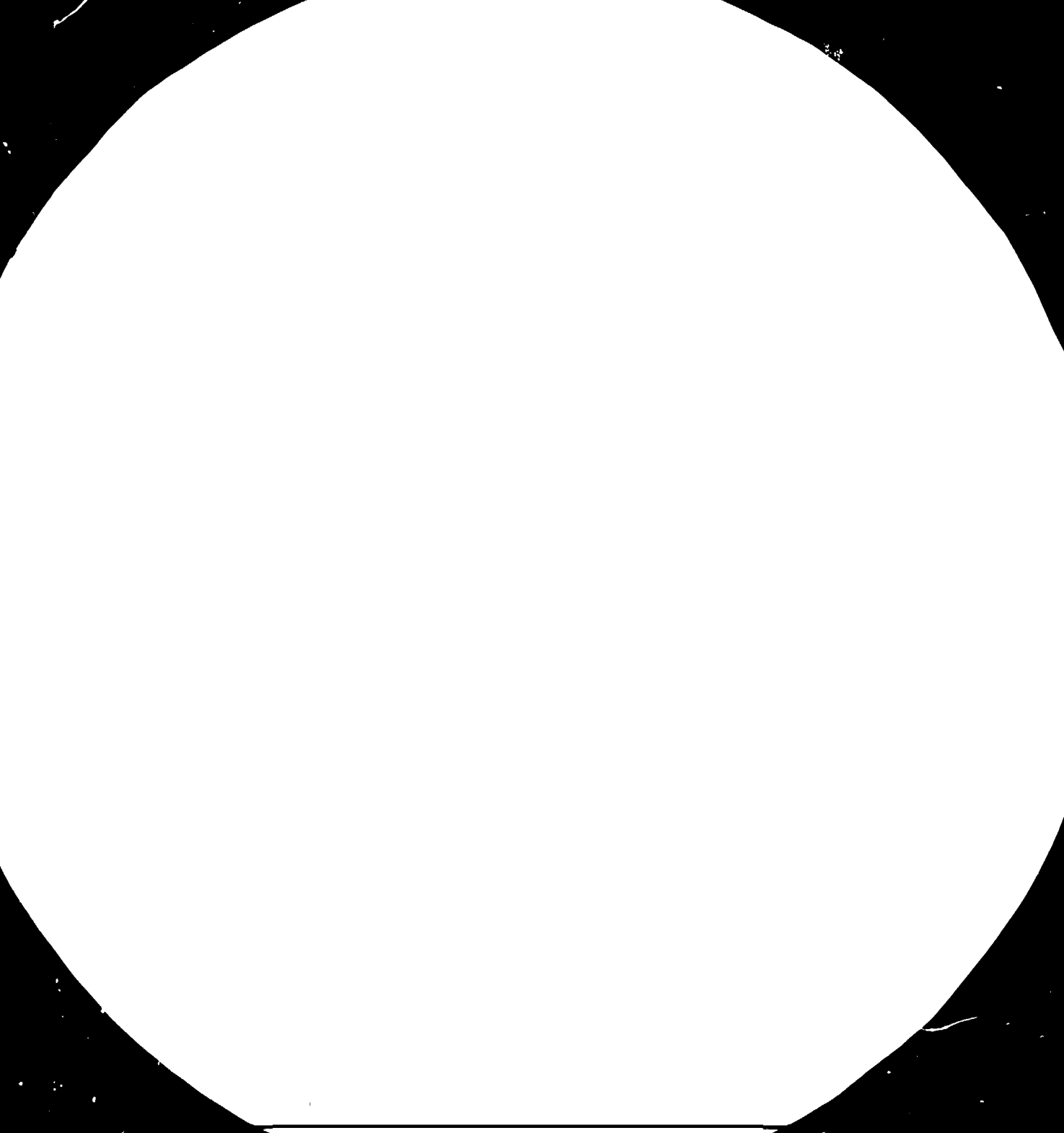
FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org



11201-S

Distr. LIMITADA

UNIDO/IS.284

2 febrero 1982

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL

ESPAÑOL

Original: INGLES

EXPERIENCIA CHINA EN LA ESFERA DE LAS MINICENTRALES HIDROELECTRICAS*

Preparado por

El Ministerio de Conservación Hidrológica
República Popular de China

* Edición preliminar de una publicación de la ONUDI que aparecerá en la serie "Desarrollo y Transferencia de Tecnología". El presente documento no ha pasado por los servicios de edición de la Secretaría de la ONUDI.

V.82-24401

Prefacio

Actualmente se acepta en general que la descentralización de la generación de energía hidroeléctrica es una de las formas posibles y adecuadas de desarrollar los recursos energéticos para satisfacer las necesidades rurales integradas, así como para apoyar proyectos y programas de industrialización rural y descentralización de las industrias en los países en desarrollo.

La ONUDI organizó el "segundo seminario-curso práctico/gira de estudios sobre desarrollo y aplicación de la tecnología para pequeños generadores hidroeléctricos (MCH)", en Hangzhou, China, el 17 de octubre de 1980, y en Manila, Filipinas, del 3 al 8 de noviembre de 1980. Uno de los objetivos del seminario-curso práctico/gira de estudios era promover el intercambio de datos sobre las experiencias en las esferas de la planificación, la construcción y la aplicación de minicentrales hidroeléctricas en los países en desarrollo, particularmente para aprender el método de planificación y ejecución del programa de la República Popular de China.

En la reunión los delegados chinos presentaron varios documentos sobre pequeños generadores hidroeléctricos basados en sus experiencias. No obstante, muchos participantes pidieron a la ONUDI más información sobre las experiencias chinas. Ese es el motivo de que la ONUDI solicitará a las autoridades chinas que prepararan la presente publicación. Se decidió que la primera edición del Manual no debía esperar que fuera perfecta, sino que estaría sujeta a modificaciones y mejoras regulares basadas en las sugerencias y propuestas de los lectores.

Se pretende que el presente Manual sea complementario y suplementario de la publicación anterior de la ONUDI titulada "Minicentrales hidroeléctricas-manual para los responsables de las decisiones" (publicación No. UNIDO/IS.225). Se señalan igualmente a la atención de los lectores varios otros documentos preparados en conexión con los mencionados seminarios de Hangzhou y Manila.

La preparación del presente Manual ha sido posible gracias a la contribución del Gobierno chino al Fondo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial de la ONUDI (FNUDI).

De la preparación del Manual se ha encargado principalmente:

El Sr. Guo Ruizhang
Ingeniero jefe adjunto
Oficina de Conservación Hidrológica de Shanghai

secundado por:

Sr. Zhu Xiaozhang
Ingeniero jefe adjunto
Institución de Diseño de Lanchow
Ministerio de Conservación Hidrológica

Sr. Liu Kewei
Subjefe de división
Oficina de Conservación Hidrológica
de la Provincia de Sichuan

Sr. Lu Renchao
Ingeniero
Oficina de Conservación Hidrológica
de la Provincia de Hunan

Sr. Lee Renlin
Ingeniero
Oficina de Conservación Hidrológica
de la Provincia de Hunan

y revisado por:

Sr. Bai Lin
Subjefe de la División de Energía Hidroeléctrica
Ministerio de Conservación Hidrológica

La ONUDI espera sinceramente que el presente Manual sea un instrumento práctico y útil para la planificación de minicentrales hidroeléctricas en los países en desarrollo.

INDICE

| | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| PREFACIO | i |
| CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES | 1 |
| I. Los recursos hidroeléctricos de China y su desarrollo | 1 |
| II. Concepción y construcción de las MCH | 3 |
| III. Las funciones de las MCH en la economía social | 4 |
| A. Promoción de la conservación hídrica para la agricultura y creación de condiciones para su rápido desarrollo | 4 |
| B. Creación y expansión de industrias administradas por el condado o la comuna que se sirven de los suministros económicos de energía de las MCH. | 5 |
| C. Acumulación de fondos por el condado, la comuna y la brigada de producción | 5 |
| D. Promoción del desarrollo de la electrificación y la mecanización rurales | 6 |
| IV. Organización, programación, construcción y explotación de una MCH | 6 |
| A. Organigrama de una MCH de China a diversos niveles | 6 |
| B. Procesos | 8 |
| 1. Planificación fluvial | 8 |
| 2. Diseño | 8 |
| a. Diseño preliminar | |
| b. Diseño detallado | 9 |
| 3. Construcción | 9 |
| 4. Explotación | 9 |
| 5. Mantenimiento | 9 |
| CAPITULO 2: POLITICAS Y MEDIDAS | 10 |
| I. Dependencia del desarrollo de las MCH de la participación popular | 10 |
| II. Fuentes de financiación | 10 |
| III. Planificación global y utilización múltiple | 10 |
| IV. Suministro de materias primas para los grupos motores y el equipo auxiliar | 11 |
| V. Principio de integración de la MCH en la red nacional | 11 |
| CAPITULO 3: CONSIDERACIONES ECONOMICAS CON RESPECTO A LAS MCH | 13 |
| I. Análisis económico de las MCH en China | 13 |
| II. Comparación de las MCH con otras fuentes de energía | 17 |
| A. Generación térmica en pequeña escala | 17 |

INDICE (cont.)

| | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| B. Pequeña planta con motor diesel | 20 |
| C. Extensión de la red eléctrica | 21 |
| D. Generación eléctrica por biogás | 22 |
| E. Otras fuentes de energía para la producción de electricidad | 23 |
| CAPITULO 4: EXPLOTACION Y DISEÑO | 24 |
| I. Criterios aplicables al diseño de las MCH | 24 |
| II. Planificación | 28 |
| A. Planificación general | 28 |
| B. Viabilidad de la explotación de las cascadas | 28 |
| C. Disposición general de las MCH y de las plantas eléctricas importantes e integración de las MCH en la red eléctrica | 29 |
| D. Elección de la mejor solución con características favorables de energía y economía | 29 |
| E. Elección de un emplazamiento con condiciones favorables topográficas, geológicas e hidráulicas | 31 |
| F. Ahorro de materiales de construcción y disponibilidad del equipo | 31 |
| III. Hidrología | 31 |
| A. Descripción general | 31 |
| B. Cálculo del escurrimiento | 32 |
| 1. Métodos para calcular \bar{Q}_{aa} | 33 |
| a) Método de las isohietas | 33 |
| i) Aplicación de un mapa de isohietas de la profundidad de escurrimiento medio anual (\bar{y}) o del módulo medio anual de escurrimiento (\bar{M}) | 33 |
| ii) Método para calcular el escurrimiento anual a partir de un mapa de isohietas de precipitaciones | 35 |
| b) Cálculo del escurrimiento anual a partir de las precipitaciones anuales | 36 |
| i) Evaluación de las series de precipitaciones anuales en la cuenca del proyecto | 37 |
| ii) Evaluación de la serie de escurrimiento anual de la cuenca del proyecto | 38 |
| c) Evaluación del escurrimiento anual de la estación del proyecto a partir del escurrimiento anual de la estación de referencia (método de analogía hidrológica) | 40 |
| 2. Elección de un año muestra característico | 40 |
| a) Volumen de escurrimiento anual previsto | 41 |

INDICE (cont.)

| | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| b) Distribución del escurrimiento anual previsto en un año | 41 |
| i) Hidrógrafo de un año típico | 42 |
| ii) Determinación del hidrógrafo de caudal en una región no aforada | 42 |
| 3. Determinación del desagüe de nivel bajo cuando no se dispone de datos hidrológicos | 43 |
| C. Crecidas | 44 |
| 1. Desagüe calculado del nivel máximo de la crecida | 45 |
| a) Cálculo del desagüe máximo calculado por medio de datos de observación | 45 |
| b) Cálculo del desagüe máximo previsto por otros métodos | 46 |
| i) Cálculo de desagüe máximo previsto a partir del método racional de tormentas previstas | 46 |
| ii) Fórmulas empíricas | 49 |
| iii) Investigación y cálculo de la "inundación histórica" | 51 |
| 2. Volumen de la crecida calculado | 51 |
| 3. Hidrógrafo de la crecida calculada | 53 |
| i) Ampliar el hidrógrafo de la crecida típica | 53 |
| ii) Hidrógrafo simplificado de crecida calculada | 54 |
| D. Establecimiento de una relación etapa-desagüe | 56 |
| IV. Energía hídrica | 56 |
| A. Carga eléctrica | 57 |
| 1. Carga diaria | 60 |
| 2. Diagrama de la carga anual | 61 |
| B. Planta hidroeléctrica a filo de agua | 61 |
| 1. Determinación de la energía estable | 61 |
| 2. Producción de energía media anual | 62 |
| 3. Determinación de la capacidad instalada | 63 |
| a) La capacidad instalada es un múltiplo de la energía estable | 66 |
| b) La capacidad instalada se basa en las horas utilizadas al año | 68 |
| c) La capacidad instalada está ajustada por la unidad turbina-generador normalizada | 70 |
| C. Planta hidroeléctrica de regulación diaria | 71 |
| 1. Generación concentrada de energía | 71 |

INDICE (cont.)

| | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 2. Intervalo de la explotación de la energía | 72 |
| D. Plantas hidroeléctricas de regulación anual | 74 |
| V. Tipo de MCH y estudio de un caso práctico | 75 |
| A. Planta "tipo presa": el salto se obtiene de la presa | 75 |
| 1. Plantas hidroeléctricas que actúan como estructuras de retención del agua | 75 |
| 2. Plantas hidroeléctricas emplazadas aguas abajo de la presa | 78 |
| B. Planta de "tipo derivación": el salto se obtiene por la estructura del conducto | 86 |
| C. Las plantas de "tipo compuesto" | 93 |
| D. Diversas formas de explotación de la energía hídrica | 94 |
| 1. Utilización de las caídas de agua | 94 |
| 2. Utilización de los rápidos y de los descensos naturales | 95 |
| 3. Utilización de los descensos de los canales | 95 |
| 4. Utilización de los recodos de los ríos | 99 |
| 5. Derivación del agua en cuencas transfluviales | 100 |
| 6. Utilización de los lagos de tierras altas | 100 |
| 7. Utilización de la energía de las mareas | 101 |
| 8. Intercepción de las aguas subterráneas o captura de manantiales para generación de energía hidroeléctrica | 101 |
| VI. Plan eléctrico y subestación intermedia | 102 |
| CAPITULO 5: MAQUINAS Y EQUIPOS HIDROELECTRICOS PARA MCH | 108 |
| I. Conjunto turbina-generador para MCH | 108 |
| II. Principal equipo auxiliar | 118 |
| III. Suministro de un equipo completo | 120 |
| CAPITULO 6: INVESTIGACIONES, EXPERIMENTACION, FORMACION Y REDUCCION DE LOS COSTOS DE LAS MCH | 121 |
| I. Investigaciones | 121 |
| A. Aplicación de tuberías de hormigón pretensado en las MCH | 121 |
| 1. Ventajas de las tuberías de hormigón pretensado | 121 |
| a) Bajo costo y escaso consumo de acero | 123 |
| b) Durabilidad | 123 |
| c) Comodidad de instalación y mejor cierre hidráulico de las juntas | 123 |
| d) Bajo costo de mantenimiento | 124 |

INDICE (cont.)

| | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 2. Diseño de las tuberías HPT | 124 |
| a) Criterios de diseño | 124 |
| b) Cálculos con respecto a la tubería | 124 |
| 3. Tecnología de fabricación y examen de la calidad de las tuberías de hormigón pretensado | 126 |
| a) Control de la pretensión longitudinal | 126 |
| b) Control de la calidad de los agregados | 128 |
| c) Control de la proporción de la mezcla de hormigón. | 128 |
| d) Control del proceso centrífugo dividido en tres etapas | 129 |
| i) Control de la velocidad lenta | 129 |
| ii) Control de la velocidad intermedia | 130 |
| iii) Control de la velocidad alta | 131 |
| iv) Control de las técnicas de funcionamiento | 132 |
| e) Control de la pretensión circunferencial | 132 |
| f) Protección del alambre pretensado circunferencial | 134 |
| g) Prueba de presión hidráulica | 136 |
| B. Aplicación de válvulas de seguridad en las MCH | 137 |
| 1. Válvula de seguridad del tipo TFW-400 con un sistema de control de todo el aceite | 138 |
| a) La construcción de la válvula propiamente dicha | 139 |
| b) Sistema de control de la válvula de seguridad | 140 |
| 2. Calidad del proceso de estabilidad y transitorio del sistema de regulación de la turbina dotado de válvula de seguridad | 142 |
| 3. Diseño en serie de la válvula de seguridad y su aplicación | 144 |
| II. Innovación técnica | 147 |
| A. Dispositivo de resistencia hídrica | 147 |
| B. Tercer sistema armónico de inducción de tensión | 149 |
| 1. Viabilidad económica | 150 |
| 2. Desempeño tecnológico satisfactorio | 150 |
| 3. Reducción de la labor de mantenimiento y reparación | 151 |
| C. Garantía de la calidad y aumento de la fiabilidad del suministro de energía | 151 |
| III. Formación del personal de las MCH | 152 |
| IV. Reducción del costo de las MCH | 153 |
| A. Presas de tierra | 154 |

INDICE (cont.)

| | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| B. Presas de mampostería de piedra | 156 |
| C. Presas de construcción simple | 158 |
| 1. Presas de revestimiento duro | 158 |
| a) Construcción de las presas de revestimiento duro | 158 |
| b) Diseño estructural | 159 |
| c) Técnicas de construcción | 16i |
| 2. Presas de piedra firme | 162 |
| a) El límite de la filtración para las presas de piedra firme | 165 |
| b) Paramento exterior | 165 |
| c) Tratamiento de los cimientos | 165 |
| d) Control de calidad | 166 |
| 3. Presa de vertedero de tierra y roca | 167 |
| 4. Presa de rocalla | 171 |

LISTA DE FIGURAS

| <u>Nº</u> | <u>Título</u> | |
|-----------|---|----|
| 4-1 | Curva de precipitación y escurrimiento | 39 |
| 4-2 | Hidrógrafo simplificado triangular de crecida | 55 |
| 4-3 | Diagrama de carga típica diaria | 60 |
| 4-4 | Curva de duración de producción media diaria | 63 |
| 4-5 | Regulación diaria (a) | 72 |
| 4-6 | Regulación diaria (b) | 73 |
| 4-7 | MCH de Ganxi (1) | 76 |
| 4-8 | MCH de Ganxi (2) | 77 |
| 4-9 | Planta hidroeléctrica popular | 78 |
| 4-10 | MCH de Yanwotan | 80 |
| 4-11 | MCH de Yanwotan (1) | 81 |
| 4-12 | MCH de Yanwotan (2) | 82 |
| 4-13 | MCH de Yunxiao | 83 |
| 4-14 | MCH de Meixi I | 84 |
| 4-15 | MCH de Meixi | 85 |
| 4-16 | MCH Doble Dragón | 86 |
| 4-17 | MCH de Baizhangtan | 88 |
| 4-18 | MCH de Qingtong | 89 |
| 4-19 | MCH de Chongshan (1) | 90 |

INDICE (cont.)

| LISTA DE FIGURAS (cont.) | | <u>Página</u> |
|--------------------------|---|---------------|
| <u>Nº</u> | <u>Título</u> | |
| 4-20 | MCH de Chongshan (2) | 91 |
| 4-21 | MCH de Qing Yuen | 92 |
| 4-22 | MCH de Zaixi | 94 |
| 4-23 | Utilización de un rápido | 95 |
| 4-24 | Disposición separada de la casa de máquinas y el descenso | 96 |
| 4-25 | Plan de la Central hidroeléctrica No. 3 sobre el canal Beijing - MIMYUN | 97 |
| 4-26 | MCH sobre el canal Beijing-Minyun | 98 |
| 4-27 | MCH de la vía de agua | 99 |
| 4-28 | MCH de Daton | 100 |
| 4-29 | Sistema de conductor único (no seccionado) | 103 |
| 4-30 | Sistema de conductor único 6,3 kW (seccionado) | 104 |
| 4-31 | Bloque generador-transformador | 105 |
| 4-32 | Sistema "puente" | 105 |
| 4-33 | Sistema de colector único 10,5/38,5 kV | 106 |
| 6-1 | MCH de Huantongjiang | 122 |
| 6-2 | MCH de Shuixia | 122 |
| 6-3 | Dimensión de tubería HPT | 125 |
| 6-4a | Conexión del cable eléctrico y el segmento de acero | 127 |
| 6-4b | Conexión del soldador por arco y el segmento de acero | 127 |
| 6-5 | Alargamiento de la barra de acero | 128 |
| 6-6 | Colocación de hormigón en el muro interior de la tubería | 130 |
| 6-7 | Segmento de acero pretensado enrollado sobre el muro interior de la tubería | 133 |
| 6-8 | Principio de funcionamiento de la máquina de enrollar | 134 |
| 6-9 | Revestimiento automático del segmento de acero pretensado | 135 |
| 6-10 | Máquina para probar la presión del agua | 136 |
| 6-11 | Estructura de la válvula de seguridad | 140 |
| 6-12 | Diagrama del sistema de control | 141 |
| 6-13 | Comparación de la región de estabilidad del regulador | 143 |

INDICE (cont.)

| LISTA DE FIGURAS (cont.) | | <u>Página</u> |
|--------------------------|--|---------------|
| <u>No.</u> | <u>Título</u> | |
| 6-14 | Campo de aplicación de las válvulas de seguridad | 146 |
| 6-15 | Tipo de presa de tierra | 155 |
| 6-16 | Presa de gravedad de pantalla de Yanwotan | 157 |
| 6-17 | Presa de estructura dura de mampostería | 159 |
| 6-18 | Sección transversal de una presa de estructura dura de mampostería | 160 |
| 6-19 | Sección transversal de una presa de mampostería concertada extendida en seco | 163 |
| 6-20 | Tipos de presa de mampostería concertada en seco | 164 |
| 6-21 | Tratamiento del pie de una presa de mampostería en seco | 166 |
| 6-22 | Sección transversal de la "presa compuesta" de Laxia | 169 |
| 6-23 | Estructura de la coronación de la presa compuesta | 169 |
| 6-24 | Sección transversal de una presa compuesta tipo Chaokuchē | 171 |
| 6-25 | Presa baja de vertedero de rocalla | 171 |

LISTA DE CUADROS

| <u>No.</u> | <u>Título</u> | |
|------------|--|----|
| 1-1 | Definición de las minicentrales, microcentrales y pequeñas centrales hidroeléctricas | 22 |
| 1-2 | Organigrama de una MCH de China | 77 |
| 3-1 | Análisis técnico y económico de una MCH ("tipo derivación") | 14 |
| 3-2 | Análisis técnico y económico de una MCH ("tipo presa") | 15 |
| 3-3 | Análisis técnico y económico de una MCH ("tipo escurrimiento y compuesto") | 16 |
| 3-4 | Costo de una pequeña central termoeléctrica recientemente construida | 18 |
| 3-5 | Gastos de explotación de una pequeña central termoeléctrica | 19 |
| 3-6 | Índice de producción de biogás | 22 |
| 4-1 | Clasificación de los proyectos de conservación hidráulica y energía hidroeléctrica | 25 |
| 4-2 | Clasificación de la estructura hidráulica | 26 |

INDICE (cont.)

| LISTA DE CUADROS (cont.) | | <u>Página</u> |
|--------------------------|---|---------------|
| <u>No.</u> | <u>Título</u> | |
| 4-3 | Inundaciones previstas de las estructuras hidráulicas permanentes en funcionamiento normal | 26 |
| 4-4 | Límite inferior de las inundaciones previstas de las estructuras hidráulicas permanentes en condiciones anormales | 27 |
| 4-5 | Parámetro de desagüe máximo | 50 |
| 4-6 | $\frac{T_i}{T}$ F de un distrito | 55 |
| 4-7 | Consumo de energía medio | 58 |
| 4-8 | Capacidad de transmisión de energía y distancia de transmisión de diferentes potencias de transmisión | 59 |
| 4-9 | Valor de C (capacidad instalada/energía estable) | 67 |
| 4-10 | Horas anuales de utilización previstas de la capacidad instalada (h) | 69 |
| 4-11 | Capacidad instalada de las estaciones de cascada del canal Beijing-Mimyun | 96 |
| 5-1 | Número de serie de diversos tipos de turbinas hidráulicas | 110 |
| 5-2 | Capacidad de los generadores hidroeléctricos | 113 |
| 5-3 | Condiciones de funcionamiento de algunas centrales hidroeléctricas de diversos tipos | 115 |
| 5-4 | Tipo de reguladores de velocidad | 118 |
| 6-1 | Principales características de las válvulas de seguridad TFW | 145 |
| 6-2 | Dimensión de referencia de la presa con una estructura exterior de mampostería de piedra | 161 |
| 6-3 | Dimensiones de referencia de una presa de piedra firme | 163 |
| 6-4 | Dimensiones de referencia de una presa tipo Chaokuhe | 170 |

CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES

I. Los recursos hidroeléctricos de China y su desarrollo

China posee ricos recursos hídricos con una capacidad potencial total de unos 680.000 MW, de los que son explotados 370.000 MW. La geografía de China se caracteriza por unas tierras altas en el oeste y unas tierras bajas en el este. La mayor parte de los principales ríos de China nacen en las mesetas occidentales. Por otro lado, las precipitaciones son abundantes en la China meridional y, en consecuencia, los recursos hidroeléctricos son más ricos en esa región en comparación con el norte donde las precipitaciones son bastante escasas.

Desde la liberación del país en 1949 el Gobierno de China ha atribuido gran importancia a la explotación de los recursos hidroeléctricos y ha conseguido grandes éxitos. La capacidad instalada total pasó de 160 MW en 1949 a 19.450 MW a fines de 1979. Sin embargo, la energía hidroeléctrica explotada utiliza únicamente alrededor del 5% de los recursos hídricos totales. Existe, pues, un enorme potencial de desarrollo.

Según los datos estadísticos, en 1979 el carbón era la primera fuente de energía eléctrica en China, seguido del petróleo y la energía hidroeléctrica, que ocupaba el último lugar, cubría solamente el 17% de las necesidades.

Los recursos hidroeléctricos que utilizan ríos medianos y pequeños son también abundantes (según un cálculo aproximado equivalen a unos 150.000 MW).

En cuanto a la determinación de las minicentrales hidroeléctricas, microcentrales hidroeléctricas y otros pequeños generadores hidroeléctricos, su definición varía según el país y la organización, como se indica en el cuadro siguiente.

Cuadro 1-1. Definición de las minicentrales, microcentrales
y pequeñas centrales hidroeléctricas

| País u Organización | | pequeñas centrales hidroeléctricas (kW) | minicentrales (kW) | microcentrales (kW) |
|---|---------------------------------|---|-----------------------|------------------------|
| ONUDI | seminario de Katmandú | | 100-1.000 | hasta 100 |
| | seminario de Hangzhou-Manila | 2.001-10.000 | 101-2.000 | hasta 100 |
| China | por central | hasta 6.000 | | |
| | por capacidad instalada | hasta 12,000 | | |
| Filipinas | | hasta 5.000 | | |
| Perú | | 500-5.000 | 51-500 | 5-50 |
| Rumania | | 5-5.000 | | |
| Tailandia* | | | hasta 1.000 | |
| Turquía* | | 1.001-5.000 | 101-1.000 | 0-100 |
| Estados Unidos de América | | hasta 15,000 | | |
| Suecia | | 100-1.500 | | |
| Comité preparatorio de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Fuentes de Energía Nuevas y Renovables (Grupo sobre energía hidroeléctrica) | | 1.001-10.000 | | hasta 1.000 |

*) Clasificación no muy clara

Sin embargo, de acuerdo con el desarrollo de las zonas rurales en China, las centrales hidroeléctricas con una capacidad instalada total de hasta 12 MW, con una capacidad de cada central inferior a 6 MW, así como los pequeños sistemas locales, están principalmente integrados en pequeñas plantas hidroeléctricas clasificadas como pequeños generadores de energía hidroeléctrica (PGH). Con el fin de evitar confusiones, se ha convenido en utilizar la expresión de minicentrales hidroeléctricas (MCH) en lugar de (PGH).

II. Concepción y construcción de las MCH

El agua es una fuente de energía barata, limpia y renovable. Desde la liberación el Gobierno de China ha atribuido gran importancia al desarrollo de las MCH. Hasta fines de 1979 China construyó más de 89.000 MCH con una capacidad total de más de 6.300 MW.

En 1979 la producción anual de energía de las MCH fue de 11.900 gWh, lo que representa en torno al 35% del consumo agrícola de electricidad (con inclusión del riego y del drenaje, las pequeñas fábricas administradas por las comunas, las industrias conexas, el alumbrado rural, etc., pero con exclusión de las empresas administradas por los condados). Según los datos estadísticos, en 1979 del total de más de 2.000 condados, 1.500 habían establecido su propia MCH. Unos 700 condados dependían principalmente de las MCH para el suministro de electricidad a la industria y la agricultura. Gracias al suministro de energía por el sistema estatal y las MCH dispersas, el 87% de las comunas rurales, el 62% de las unidades de producción y el 50% de los equipos de producción ya utilizaban electricidad.

La construcción de las MCH en China se inició a partir de un movimiento nacional de cooperación agrícola que se llevó a cabo a comienzos de los años cincuenta. Las zonas rurales están comparativamente retrasadas desde el punto de vista económico. Para el desarrollo de la producción industrial y agrícola se precisa un gran volumen de energía eléctrica. En amplias zonas rurales era difícil cubrir las cargas necesarias, en las regiones rurales remotas era incluso imposible, recurriendo simplemente a las centrales eléctricas grandes y medianas construidas con inversiones públicas.

La plena utilización del potencial de las pequeñas centrales hidroeléctricas dispersas por el país en combinación con la utilización del agua para otros fines es posible gracias a la construcción de centrales y la electricidad de origen local. Existen numerosas centrales, cada una de las cuales atiende

a diversas regiones, distribuidas por todo el país. Se constituyó una red local que más tarde se conectó con el sistema estatal. Ello contribuirá a satisfacer la demanda de electricidad en las zonas rurales y a promover un desarrollo más rápido de la agricultura con menos inversiones estatales.

En China el ritmo de desarrollo de las MCH ha sido bastante rápido y puede dividirse aproximadamente en tres etapas: en los años cincuenta la capacidad total instalada anual era de sólo varios miles de kW; en los años sesenta, la capacidad total anual instalada era de varias docenas de miles de kW; en los años setenta, esa capacidad había pasado a ser de varios cientos de miles de kW, alcanzando en 1979 la cifra aproximada de un millón de kW. Con el nivel actual de tecnología la construcción de una MCH con una capacidad instalada de varios miles de kW lleva unos dos años desde el inicio de la construcción hasta su entrada en servicio. La capacidad instalada de todos los proyectos en construcción debería más que triplicar la capacidad instalada que se debe completar en ese mismo año, es decir, si la capacidad instalada total en un año es de 1 000 MW, la capacidad de diseño del proyecto en construcción ese mismo año debe ser de unos 3.000 MW.

El costo de construcción de una MCH es bastante reducido, y equivale a unos dos a tres fen (moneda china) por kWh en comparación con las pequeñas centrales térmicas a base de carbón o de combustible diesel cuyos costos de producción son de unos diez fen por kWh o más.

III. Las funciones de las MCH en la economía social:

Estos últimos años, como resultado de la construcción en gran escala de MCH, tanto el personal como las masas se han dado cuenta de que las MCH, aunque pequeñas, son numerosas. Las MCH han desempeñado una función muy importante. Sus ventajas son las siguientes:

A. Promoción de la conservación hídrica para la agricultura y creación de condiciones para su rápido desarrollo.

Dondequiera que existe una MCH el regadío se puede extender rápidamente y los medios de protección contra las inundaciones y las sequías se pueden mejorar. Por ejemplo, en el condado Enping, provincia de Guangdong, se explotaron las cascadas del río Jinjiang y se construyeron 130 minicentrales hidroeléctricas con una capacidad total de 36 MW. El drenaje y el riego mejoraron rápidamente gracias al suministro de energía

por las MCH. Actualmente los 280.000 mu de tierras agrícolas a lo largo de las riberas del río Jinjiang están irrigados y los 120.000 mu de tierras agrícolas bajas anteriormente amenazados de encharcamiento se han convertido en tierras agrícolas que producen un rendimiento alto y estable, independientemente de las inundaciones y las sequías.

B. Creación y expansión de industrias administradas por el condado o la comuna que se sirven de los suministros económicos de energía de las MCH.

Anteriormente, en muchas de las regiones montañosas no había industria, pero después del establecimiento de las MCH se han establecido diversas industrias como la de maquinaria agrícola, cemento, fertilizantes, papel, textil y alimentos. Por ejemplo, actualmente se dispone de una capacidad instalada de 18.000 kW de una MCH en el condado Hendong, provincia de Hunan. En 1979 la producción anual de energía fue de 70 gWh. La producción industrial total es varias veces superior a la que se alcanzaba antes de la construcción de las MCH.

Por otro lado, el desarrollo de la industria local acelera la explotación de las MCH. En la actualidad las fábricas locales (por lo común administradas por el condado) están produciendo un equipo importante para las MCH. Los trabajos de mantenimiento y reparación con respecto a las MCH también corren a cargo de la industria local. Así pues, el desarrollo de una MCH local y el desarrollo de la industria local están interconectados.

C. Acumulación de fondos por el condado, la comuna y la brigada de producción.

La minicentral hidroeléctrica de la Guardia Roja sita sobre el canal popular (canal de riego) del condado de Peng, provincia de Sichuan, tiene una capacidad instalada de 6.400 kW y produce una renta anual de 1.940.000 Yuan desde que se puso en servicio. La minicentral del Dragón Amarillo del condado de Wufeng, provincia de Hubei, tiene una capacidad instalada de 2.400 kW. El reembolso de las inversiones se hizo en sólo cuatro años. La minicentral de Dafeishui en el condado de Dayi, provincia de Sichuan, tiene una capacidad instalada de 5.000 kW. Sus ingresos totales en los últimos nueve años han alcanzado la cifra de 10.270.000 Yuan, equivalente a siete veces el capital originario.

D. Promoción del desarrollo de la electrificación y la mecanización rurales.

El suministro de energía por una MCH enriquece también y promueve la vida cultural del pueblo y acelera la construcción de nuevas aldeas. La población rural alaba a las MCH y considera que "dondequiera que se establece una minicentral hidroeléctrica se produce un gran cambio".

En resumen, el desarrollo de las MCH tiene un gran futuro en China. La energía hidroeléctrica en pequeña escala es una importante fuente de energía para la modernización de las industrias agrícolas. Dondequiera que existe un recurso hídrico abundante, una MCH puede suministrar la principal energía para los pueblos y ciudades de esa región. Ello se debe a las siguientes condiciones: 1) el potencial de energía de una MCH está ampliamente dispersado y es fácilmente accesible; 2) la tecnología de la construcción es popular.

El ritmo del aumento de los suministros de energía no puede hacer frente a las demandas de electricidad necesarias para la economía social y para mejorar el nivel de vida. Aunque el consumo de energía eléctrica en las zonas rurales es bastante bajo, conviene recordar que la explotación y gestión de una MCH están aún atrasadas. El potencial del equipo instalado no se ha aprovechado todavía plenamente en algunos lugares porque la construcción de las líneas de transmisión y de las subestaciones es más lenta que la construcción de las respectivas minicentrales hidroeléctricas. En consecuencia, incluso después de la entrada en servicio de una minicentral hidroeléctrica, el suministro de energía sigue estando limitado por la capacidad de transmitir la energía. Estos problemas habrán de resolverse en el próximo futuro.

IV. Organización, programación, construcción y explotación de una MCH

A. A continuación figura el organigrama de una MCH de China a diversos niveles.

Cuadro 1-2. Organigrama de una MCH de China

| Nivel | Organización encargada de la conservación hidrológica | Organización encargada de las MCH |
|---------------------|---|--|
| Gobierno central | Ministerio de Conservación Hidrológica | Departamento de conservación hidrológica agrícola - División de energía hidroeléctrica |
| Gobierno provincial | Oficina de conservación hidrológica | División de energía hidroeléctrica |
| Prefectura | Departamento de conservación hidrológica | División de energía hidroeléctrica |
| Gobierno de condado | División de conservación hidrológica | Sección de energía hidroeléctrica - Empresa encargada de la MCH |

Observación: La sección del nivel de condado de la energía hidroeléctrica suele ser la oficina local que se ocupa del diseño, la construcción, la explotación y el mantenimiento, y la distribución de la MCH. Actualmente muchos condados disponen de una capacidad instalada total de 10-20 MW y de una línea que tiene varios cientos de kilómetros.

B. El proceso se lleva a cabo de la manera siguiente.

1. Planificación fluvial

La planificación fluvial debe correr a cargo del gobierno central, la provincia, la prefectura o el condado, según la extensión del río. Si el río atraviesa más de una provincia, los trabajos de planificación deben ser efectuados por el Ministerio de Conservación Hidrológica. Si el río fluye por una sola provincia, pero está relacionado con más de una prefectura, los trabajos de planificación deben correr a cargo de la oficina provincial de conservación hidrológica. Este mismo principio se aplica a la planificación fluvial para un río pequeño que se circunscriba a una prefectura o un condado.

El contenido del informe de planificación de un río debe incluir planes para el desarrollo en el próximo futuro, el futuro distante y para el proyecto en la primera etapa de su ejecución. El estudio de previabilidad forma también parte de esta etapa.

2. Diseño

Una vez que se ha aprobado la planificación del río, debe continuar el trabajo de diseño en la primera etapa del proyecto. En los proyectos de MCH, suele haber dos fases.

a. Diseño preliminar: Por lo común el condado emprende el trabajo de diseño del proyecto de una pequeña central hidroeléctrica. La aprobación de ese diseño se da:

- i) A nivel provincial cuando la capacidad de la central es superior a 500 kW (o la línea de transmisión es de 35 kV o superior);
- ii) A nivel de prefectura o condado cuando la capacidad de la central es inferior a 500 kW.

Las principales consideraciones que se tienen en cuenta para aprobar el diseño son:

- i) Demandas sociales;
- ii) Capacidad del Estado o de la provincia o de la autoridad local;
- iii) Beneficios económicos.

b. Diseño detallado: De éste se debe encargar el condado si la capacidad de la central es inferior a 500 kW. Los proyectos de MCH con una capacidad bastante superior deben ser efectuados por el instituto de diseño de la prefectura o la provincia.

Después de la aprobación del diseño preliminar, el Comité de planificación realizará un balance global para decidir si el proyecto debe incluirse en el presupuesto del año actual o en el del año siguiente. Entonces puede comenzar la construcción del proyecto.

3. Construcción

a) Una MCH de condado con una capacidad superior a 500 kW debe ser organizada por el condado y apoyada por un equipo profesional de la prefectura o la provincia.

b) Una MCH de condado con una capacidad inferior a 500 kW debe ser organizada por la comuna o la brigada y también contar con el apoyo de un equipo profesional de la prefectura o la provincia.

c) La organización sobre el terreno se compone de dos partes:

Equipo profesional: Equipo de ingeniería) de la provincia
Equipo de instalación) o la
Equipo de línea de) prefectura
transmisión)

Mano de obra común: organizada por las autoridades locales.

4. Explotación

En cada minicentral hidroeléctrica se establecen reglamentos de explotación y registros.

5. Mantenimiento

El condado puede encargarse del mantenimiento y las reparaciones de menor importancia. La prefectura deberá realizar de cuando en cuando una revista general.

CAPITULO 2: POLITICAS Y MEDIDAS

El Gobierno de China y las autoridades competentes han establecido una serie de principios generales para el desarrollo de las MCH, que se resumen a continuación:

I. Dependencia del desarrollo de las MCH de la participación popular

En el desarrollo de las MCH se debe hacer hincapié en el esfuerzo e iniciativa de las masas. Se alienta a los condados, comunas populares y sus subdivisiones a construir minigeneradores de energía hidroeléctrica. Se debe aplicar el principio de que "todo el que hace inversiones en una central y la construye será su propietario, la administrará y se beneficiará de ella". Si las inversiones y la construcción de la central han sido efectuadas conjuntamente por varias organizaciones, será propiedad de todas ellas. Esta política ha demostrado más de una vez ser una forma "mejor, más rápida y más económica" de acelerar el desarrollo de las MCH.

II. Fuentes de financiación

La financiación (incluidos los préstamos) procederá principalmente de organizaciones locales a diferentes niveles y estará también constituida por subvenciones de los gobiernos central y provincial. El gobierno suele proporcionar una subvención del 30% aproximadamente de la inversión total.

Con el fin de que los préstamos puedan cobrar mayor importancia, el Banco Popular Provincial de Sichuan ha establecido cinco condiciones para la solicitud de un préstamo: (1) El diseño y el presupuesto del proyecto han de ser realizados y aprobados por la autoridad competente y figurar en la lista de construcciones para el año corriente; (2) El suministro de los grupos motores y los principales materiales de construcción tendrá que ser confirmado por los departamentos competentes; (3) Debe existir la posibilidad de poner en servicio la MCH en el año corriente; (4) La energía se debe poder consumir y transmitir después de la terminación de la MCH; (5) Se debe ya haber obtenido una parte del fondo por autofinanciación. Si se cumplen todas esas condiciones, se otorgará el préstamo.

III. Planificación global y utilización múltiple

La construcción de una MCH debe ajustarse al derecho objetivo natural. La planificación, la exploración geológica y el trabajo de diseño se deben

llevar a cabo con meticulosidad; la supervisión de la construcción debe ser exigente y rigurosa para garantizar la calidad y la eficiencia.

La planificación de las MCH se efectuará de conformidad con el sistema natural de cada río, teniendo en cuenta las condiciones hidrológicas y geológicas y las demandas de consumo. Durante la planificación se deberá respetar el principio de la planificación global y de la explotación con fines múltiples. Se deberá prestar atención a la coordinación entre los departamentos interesados y a la solución de las contradicciones entre la generación de energía, la protección contra las inundaciones, el regadío, la navegación, la pesca y el transporte de troncos.

Los documentos relativos a un proyecto de MCH serán aprobados por los siguientes órganos: el estudio de viabilidad y el informe sobre el diseño de una planta MCH con una capacidad superior a los 500 kW (incluidas la subestación y la línea de transmisión correspondientes) deben ser aprobados por la oficina o el departamento de conservación hidrológica de la provincia; el documento relativo al diseño de una planta MCH con una capacidad inferior a los 500 kW debe ser aprobado por el departamento de conservación hidrológica de la prefectura o el condado. Si el proyecto de MCH se refiere a dos provincias, dos condados, dos comunas o dos brigadas, se deberá adjuntar al documento un acuerdo entre ambas partes.

Una MCH no puede figurar en la lista de las construcciones del año corriente sin la aprobación del documento relativo al diseño.

IV. Suministro de materias primas para los grupos motores y el equipo auxiliar

El grupo motor para una minicentral hidroeléctrica (con una capacidad inferior a 500 kW) suele fabricarse localmente. El Estado suministra cierta cantidad de las materias primas, pero los materiales restantes deben ser suministrados por la provincia (o el municipio). Los grupos motores (con una capacidad superior a los 500 kW) son fabricados y controlados por el Estado de acuerdo con el plan. En China, con el fin de simplificar los procedimientos de suministro y de acelerar el plan de construcción, la empresa pública correspondiente debe suministrar el equipo completo destinado a la MCH.

V. Principio de integración de la MCH en la red nacional

Se debe dar prioridad al consumo local de la MCH. Con el fin de que se pueda hacer pleno uso de la MCH y mejorar el grado de seguridad del suministro

de energía, las plantas MCH podrán integrarse gradualmente para formar un sistema local y finalmente integrarse en la red nacional, cuando se den las condiciones necesarias.

Un acuerdo de integración debe firmarse y aplicarse, pero la gestión y comercialización de una planta MCH se efectúan por separado de conformidad con el acuerdo. La propiedad y la capacidad administrativa de la MCH no se modifican después de la integración. Tanto la red eléctrica nacional como la local tienen la responsabilidad de apoyar activamente la integración de la MCH. Si el sistema eléctrico se interrumpe, se autorizará a desintegrar la MCH y a explotarla independientemente.

CAPITULO 3. CONSIDERACIONES ECONOMICAS CON RESPECTO A LAS MCH

I. Análisis económico de las MCH de China

Las características económicas especiales de las MCH de China son las siguientes:

- 1) El período de construcción es breve y los resultados son rápidos.
- 2) Los materiales y la mano de obra locales se utilizan plenamente.
- 3) El equipo se fabrica en el país e incluso localmente cuando la capacidad de la central es inferior a 500 kW.

Debido a la extensión de China, las condiciones locales varían considerablemente de una región a otra y los costos de capital de una MCH pueden oscilar de más de 500 Yuan a más de 2.000 Yuan por kW. En general, el costo de instalación varía de 1.000 a 1.300 Yuan por kW.

En los cuadros 3-1, 3-2 y 3-3 se indican las características técnicas y económicas de 25 plantas MCH construidas en los años sesenta y setenta en las provincias Zhejiang, Guangdong, Hunan, Jiangxi y Sichuan y en la región autónoma de Guangxi Zhuang (la altura del salto de agua puede variar de 4,5 a 612 metros y la capacidad instalada de 150 a 12.000 kW).

Las diferencias de extensión de las líneas de transmisión de las diversas MCH influyen en cierta medida en el desglose de los costos. En porcentajes del costo total, la distribución de los costos se puede resumir como sigue: costos de obras civiles, 42 a 65%; costos de equipo, 31 a 48%; costo de la línea de transmisión, 4 a 14%.

Cuadro 3-1 Análisis técnico y económico de una MCH ("tipo derivación")

| Nombre de la planta | Emplazamiento (provincia) | Tipo de planta | Descarga proyectada CMS | Descarga máx. proyectada CMS | Salto medio M | Capacidad instalada total kW | Costo total (10 ⁴ Yuan) | Horas medias anuales de utilización | Costo por kW (Yuan) | Costo por kWh (Yuan) | Costo de generación Fen/kWh |
|---------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|
| Zhanqiangmiao | Jiangxi | derivación | 64 | 10 | 8,44 | 2 x 1250 | 478 | 4800 | 950 | 0,19 | 2,61 |
| Yongan | Sichuan | derivación | 63 | 11 | 10,0 | 3 x 1250 | 665,088 | 7989 | 1498 | 0,19 | 1,194 |
| Tonglienyen | Jiangxi | derivación | 8,88 | 22,9 | 22,4 | 3 x 250 | 130 | 4215 | 730 | 0,28 | 2,5 |
| Tongkouqi | Zhejiang | derivación | 4,0 | 48,4 | 46,9 | 2 x 800 | 166,1 | 2000 | 1038 | 0,27 | 3,8 |
| Yaqi | Zhejiang | derivación | 11 | 51,6 | 50,4 | 4450 | 650 | 3120 | 1460 | 0,46 | 1,0 |
| Tangshaoshui | Jiangxi | derivación | 2,5 | 56 | 55 | 1 x 200 | 110,3 | 4716 | 1100 | 0,24 | 3 |
| Minyangkuan | Jiangxi | derivación | 4,2 | 76 | 75 | 2 x 800 | 266 | 3670 | 1064 | 0,27 | 2 |
| Tongyuan II | Jiangxi | derivación | 3,6 | 80 | 80 | 2 x 1250 | 109 | 2822 | 860 | 0,27 | 2,5 |
| Kenghuang | Zhejiang | derivación | 0,32 | 91,6 | 93,6 | 200 | 19,83 | 2500 | 992 | 0,4 | 3,8 |
| Xixiankou | Región autónoma de Guangxi Zhaung | derivación | 3 | 132 | 130 | 2 x 1600 | 260 | 3150 | 813 | 0,26 | 2,5 |
| Datian | Zhejiang | derivación | 1 | 181 | 181 | 3 x 400 | 87,5 | 5000 | 729 | 0,146 | 2,5 |
| Chongshan | Hunan | derivación | 0,6 | 210 | 210 | 4 x 250 | 87,66 | 3360 | 876,6 | 0,26 | 3 |
| Jiangkou | Hunan | derivación | 0,28 | 612 | 612 | 2 x 500 | 84 | 1200 | 840 | 0,11 | 1,5 |

Cuadro 3-2 Análisis técnico y económico de una MCH ("tipo presa")

| Nombre de la planta | Emplazamiento (provincia) | Tipo de planta | Descarga proyectada CMS | Descarga máx. proyectada CMS | Salto medio M | Capacidad instalada total kW | Costo total (10 ⁴ Yuan) | Horas medias anuales de utilización | Costo por kW (Yuan) | Costo por kWh (Yuan) | Costo de generación Fen/kWh |
|---------------------|---------------------------|----------------|-------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|
| Yangtang | Hunan | x | 6,8 | 5,5 | 4,5 | 6 x 1500 4 x 252 | 2090 | 4334 | 2090 | 0,484 | 1,2 |
| Qingshan | Zhejiang | x | 21,8 | 13 | 10,9 | 4 x 500 | 205 | 2500 | 1025 | 0,34 | 1 |
| Dalongdong | Guangdong | x | 12 | 25 | 20 | 2000 | 238,9 | 4380 | 1195 | 0,27 | 2 |
| Maoqi | Hunan | x | 20 | 45 | 36 | 4 x 1250 | 761 | 3920 | 842 | 0,2 | 1,2 |
| Yangwotan | Hunan | x | 12 | 50 | 43,75 | 1 x 3200 2 x 3000 | 80 | | | | |
| Kaofeng II | Hunan | x | 4 x 0,48 | 136 | 136 | 4 x 500 | | | | | |
| Kaofeng I | Hunan | x | 3 x 0,77 | 219 | 202,5 | 3 x 1250 | 321,9 | 5450 | 556 | 0,102 | 2,1 |

x Central eléctrica situada debajo de la presa,

Cuadro 3-3 Análisis técnico y económico de una MCH ("tipo escurrimiento y compuesto")

| Nombre de la planta | Emplazamiento (provincia) | Tipo de planta | Descarga proyectada CMS | Descarga máx. proyectada CMS | Salto medio M | Capacidad instalada total kW | Costo total (10 ⁴ Yuan) | Horas medias anuales de utilización | Costo por kW (Yuan) | Costo por kWh (Yuan) | Costo de generación Fen/kWh |
|---------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|
| Chenjiang | Zhejiang | rfo de escurrimiento | 10,8 | 4,5 | 4,25 | 4 x 75 | 40,6 | 5500 | 1353 | 0,24 | 3 |
| Xuntang | Zhejiang | idem | 3,9 | 5,7 | 5,5 | 2 x 75 | 27,63 | 5225 | 1841,9 | 0,36 | 1,9 |
| Chenguan | Hunan | idem | 13,68 | 5,125 | 4,125 | 8 x 500 | 551,47 | 6150 | 1400 | 0,207 | 2,5 |
| Gangi | Hunan | idem | 16,9 | 11,6 | 10,5 | 10 x 1250 | 2005,3 | 6150 | 1600 | 0,26 | 0,9 |
| Tongkengqi | Zhejiang | mixto | 0,5 | 150 | 136 | 2 x 500 | 99 | 3500 | 990 | 0,33 | 4,83 |
| Tongbai | Zhejiang | mixto | 3,4 | 310 | 300 | 2 x 4000 | 1250 | 4144 | 1563 | 0,3 | 2,5 |

II. Comparación de las MCH con otras fuentes de energía

China es un país muy extenso que dispone de múltiples tipos de fuentes de energía. De acuerdo con la planificación de la demanda de carga, las necesidades de energía que deben satisfacerse en primer lugar son las del sector técnico agrícola. Se efectuará una comparación entre las diversas posibilidades de explotación de fuentes de energía y se dará prioridad a las fuentes de energía barata y de buena calidad de que se dispone localmente. Es preferible que el suministro rural de electricidad se base en los recursos de energía propios.

La comparación económica entre las diferentes opciones suele considerar conjuntamente la inversión total y el costo anual de explotación. Actualmente es común adoptar el método de "años de compensación". Cuando la inversión total Z_1 de la alternativa 1 es mayor que Z_2 de la alternativa 2, y el costo anual de explotación F_1 de la alternativa 1 es inferior a F_2 de la alternativa 2, se puede hacer una comparación calculando N ("años de compensación").

$$N = \frac{Z_1 - Z_2}{F_2 - F_1} \quad (1)$$

Después de obtener N , se deben tomar en consideración otros factores como la disponibilidad de una fuente local, el estado técnico y la capacidad económica del inversionista, etc. N suele corresponder a unos 10 años.

En China las alternativas a las MCH para la electrificación rural son las siguientes:

- 1) una pequeña central termoeléctrica o de generación diesel
- 2) una extensión de la red actual regional o estatal.

En algunos lugares concretos se puede también estudiar la generación por biogás, la generación geotérmica y la generación eólica, según las características locales.

A. Generación térmica en pequeña escala.

El costo de capital y los gastos de explotación de una pequeña central termoeléctrica recientemente construida (cifras estadísticas de los años sesenta) figuran en los cuadros 3-4 y 3-5, respectivamente.

Cuadro 3-4 Costo de una pequeña central termoeléctrica recientemente construida

| Capacidad de la central eléctrica (kW) | Costo | | | | | Costo (Yuan/kW) |
|--|---------------------------|------------------------|-----------------|---------------|--------|-----------------|
| | Costo total (10,000 Yuan) | Desglose de los costos | | | | |
| | | Equipo % | Obras civiles % | Instalación % | Varios | |
| 2 x 750 | 150 | 65 | 17 | 10 | 8 | 1000 |
| 2 x 1500 | 270 | 60 | 24 | 8 | 8 | 900 |
| 2 x 3000 | 504 | 60 | 24 | 8 | 8 | 840 |
| 2 x 6000 | 876 | 53 | 26 | 8 | 8 | 730 |

Cuadro 3-5 Gastos de explotación de una pequeña central termoeléctrica

| Capacidad de la central eléctrica (kW) | Amortización, gastos de material y piezas de recambio (Yuan/kW) | Remuneraciones, gastos generales (Yuan/kW) | Número de empleados (hombres/MW) | Consumo nacional de energía (%) | Consumo de carbón (kg/kWh) | Costo (Yuan/kW) | Horas/año de utilización máxima | Costo de generación (Yuan/kWh) |
|--|---|--|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1 x 750 | 97,3 | 47,3 | 70 | 14-15 | 1,7 | 1200 | 1500-2000 | 0,144-0,120 |
| 1 x 1500 | 87,5 | 40,6 | 60 | 11-12 | 0,875 | 1080 | 2000-2500 | 0,099-0,086 |
| 1 x 3000 | 81,8 | 30,4 | 45 | 10-11 | 0,625 | 1010 | 2500-3000 | 0,069-0,062 |
| 1 x 6000 | 71,0 | 16,9 | 25 | 8- 9 | 0,578 | 876 | 3000-3500 | 0,051-0,047 |

Habitualmente las pequeñas centrales rurales termoeléctricas se construyen cerca de la ciudad o región en la que se puede obtener fácilmente combustible y donde no existen recursos hídricos o están lejos de la red eléctrica estatal.

Las centrales termoeléctricas a base de carbón se deben construir cuando se dispone de carbón en el lugar o la central se encuentra a una corta distancia de la mina y el centro de carga. La escasez de carbón nacional y el transporte a largas distancias del carbón elevará considerablemente el costo de producción.

En comparación con una MCH, la explotación y gestión de una pequeña central termoeléctrica es bastante complicada. El costo de producción es superior (de 8 a 15 fen/kWh) y estará también influido por los precios del carbón. La adaptabilidad al cambio de carga es escasa. La contaminación producida por una pequeña planta térmica puede también ser bastante seria. Antes de construir una pequeña central termoeléctrica se deben tomar en consideración todos estos factores desfavorables.

La explotación de una MCH puede ahorrar carbón combustible y suministrar energía barata. Una planta hidroeléctrica con una capacidad de regulación puede desempeñar una función importante y suprimir parte de la carga durante el período de consumo máximo. El inconveniente de las MCH es la deficiencia de energía en la estación seca, pero la construcción de pequeñas plantas térmicas puede compensar esa deficiencia. En consecuencia, la construcción de pequeñas plantas térmicas en el sistema eléctrico en desarrollo, que está principalmente constituido por plantas hidroeléctricas, puede compensar la deficiencia de energía en la estación seca y elevar así el grado de seguridad del suministro de energía.

B. Pequeña planta con motor diesel

En China la capacidad de generación de electricidad con motor diesel suele ser menor (por debajo de los 100 kW). Esas plantas se han construido principalmente en ciudades más pequeñas y en pequeñas fábricas, minas y otras empresas. El costo de capital de una central diesel (de unos 500 a 600 Yuan/kW) y su consumo nacional es reducido. El arranque y paro de una planta diesel es bastante simple y sólo exige un número reducido de trabajadores. Sin embargo, debido al consumo diesel, el costo de producción es relativamente elevado. Se requiere asimismo un nivel superior de tecnología en la

explotación y gestión. Como resultado de ello sólo se debería adoptar una planta generadora diesel en los casos en que la carga no sea pesada, el centro de carga esté alejado de la mina de carbón o de la red y no se disponga de fuentes hidráulicas en las regiones circundantes, o cuando constituye sólo un expediente como fuente provisional de energía.

C. Extensión de la red eléctrica

El suministro de energía a partir de una red eléctrica regional o estatal existentes puede ser más seguro y de mejor calidad debido a que las redes tienen suficiente capacidad para suministrar energía a las zonas rurales. Ello las hace más adaptables a las regiones en que la demanda de consumo aumenta rápidamente. En comparación con una MCH y la extensión necesaria de las líneas de transmisión de la red regional o estatal, en la mayoría de los casos, si se excluyen los costos de construcción de la planta eléctrica existente en la red, el costo de suministro de energía a partir de ella será inferior. En consecuencia, en las zonas rurales, cuando las demandas sean altas, exista una red eléctrica cerca pero no se disponga de recursos de energía hidráulica, el suministro de energía dependerá de la extensión de esa red eléctrica. En la actualidad, sin embargo, a causa de la deficiencia de energía en la red, es difícil satisfacer estas demandas rurales de consumo dispersas en el próximo futuro. Por otro lado, se requieren largas líneas de transmisión para atender a aldeas rurales distantes y la construcción de nuevas centrales eléctricas medianas o grandes requerirá grandes inversiones del Estado, en comparación con una MCH. El período de construcción de estas centrales medianas o grandes es también superior al de las MCH. En resumen, las minicentrales hidroeléctricas presentan estos rasgos particulares: plena utilización del potencial hídrico disperso, adaptabilidad a la distribución esparcida de los pueblos rurales y combinación de los usos hídricos para otros fines con las MCH. Todo el mundo debería alentar a las autoridades locales a diferentes niveles a construir MCH en los límites de sus posibilidades. Existe asimismo una reducción de las inversiones por el Estado y un período más corto de construcción con resultados más rápidos. De ahí que sea preferible construir una MCH cuando se dispone de recursos hídricos para proporcionar electricidad a las aldeas locales. Con ello no sólo se reducirá la carga del sistema eléctrico, sino que se satisfará también la demanda rural de consumo en un breve período de tiempo.

Se recomienda conectar las minicentrales hidroeléctricas a una red o integrarlas en el sistema eléctrico regional o nacional con el fin de utilizar plenamente la energía hídrica. Desde el punto de vista del suministro ininterrumpido de energía para promover la producción agrícola, la integración de las MCH es una medida viable.

D. Generación eléctrica por biogás

Las estadísticas han puesto de manifiesto que el costo de capital de la generación de energía por biogás es inferior al de las MCH, ya que equivale a sólo 400-500 yuan por kW. El equipo y la tecnología para la generación eléctrica por biogás son bastante sencillos y están al alcance de la mayoría de las comunas o brigadas. Sin embargo, la producción de biogás está limitada por condiciones como las de un buen cierre hermético (la temperatura inferior debe superar los 9°C) y el suministro de materias primas. En algunas zonas rurales el biogás se utiliza actualmente para cocinar, pero es raro que se emplee para generar energía. La generación de energía a partir del biogás con una pequeña capacidad, por lo general de varios kW a decenas de kW, sólo se utiliza en unos pocos lugares.

El biogás es una especie de gas inflamable que contiene principalmente metano y se produce a partir de materiales orgánicos de desecho mediante un proceso de fermentación por bacterias aneróbicas en ciertas condiciones de temperatura, acidez, alcalinidad y hermeticidad. Suele estar constituido en un 55-70% por metano (CH_4) y es un combustible gaseoso de buena calidad.

En el cuadro 3-6 se indica un cálculo de la producción de gas a partir de diversos materiales.

Cuadro 3-6 Índice de producción de biogás

| Material utilizado | Producción de biogás por día (M^3) |
|------------------------------------|--|
| excremento de un cerdo de 40-50 kg | 0,2 |
| excremento de un búfalo grande | 1-1,4 |
| 0,5 kg de arenque fresco | 0,3 |
| 0,5 kg de heno | 0,12 |

Actualmente el equipo para la producción de biogás utiliza un tipo de doble combustión. Este equipo se suele reajustar de los motores diesel colocando simplemente un mezclador biogás-aire en la entrada del aire. Utiliza aceite diesel así como biogás. Cuando el biogás es el principal combustible sólo se emplea una pequeña cantidad de aceite al comienzo. El consumo de aceite diesel aumenta cuando el biogás no basta o cuando su suministro se interrumpe.

E. Otras fuentes de energía para la producción de electricidad

Además de las precitadas fuentes de energía para la producción de electricidad, existe la energía geotérmica, la energía solar y la energía eólica, todas las cuales se encuentran todavía, sin embargo, en la etapa experimental.

En China se ha construido un grupo de centrales experimentales generadoras de energía a base de agua subterránea caliente. La temperatura del agua en esas centrales suele ser inferior a 100°C . Actualmente se utilizan dos métodos para la producción de energía eléctrica que son: 1) el método del bajo punto de ebullición que actúa como medio y 2) el método de reducción de presión -expansión del volumen.

La producción de energía solar está todavía en su fase experimental en China. Existen dos formas de producir energía solar: una que consiste en convertir ésta en energía térmica y luego en energía mecánica y en electricidad y el otro en producir electricidad directamente a partir de la energía solar como se hace con una batería solar.

La producción de energía eólica es más adecuada para las zonas de pastos y pastoreos, islas cercanas a la orilla y distritos montañosos alejados con vientos abundantes. En una isla cercana a la costa se ha instalado un generador de energía eólica que se está utilizando para desalinizar el agua del mar.

La calidad y la cantidad de la energía solar y la energía eólica se ven afectadas por las condiciones naturales y no son, por lo tanto, muy estables. Para compensar esa irregularidad, se deberá prever un dispositivo de almacenamiento de energía (como una batería), pero ello supone bastantes gastos.

CAPITULO 4: EXPLOTACION Y DISEÑO

I. Criterios aplicables al diseño de las MCH

La clasificación de los proyectos hidroeléctricos y sus estructuras deben ajustarse a la norma (clasificación y normas de diseño de la conservación hidrológica y de los proyectos hidroeléctricos) (en las zonas montañosas y escarpadas SDJ 12-78).

En cuanto al diseño de las estructuras hidráulicas, aparte de la norma precitada, deben también respetarse las especificaciones estipuladas en la norma del diseño de las estructuras hidráulicas correspondientes. En regiones sísmicas debe asimismo aplicarse la norma de diseño del efecto de los terremotos sobre las estructuras hidráulicas SDJ-10-78.

Los cuadros 4-1, 4-2, 4-3 y 4-4 se incluyen a título de referencia.

Cuadro 4-1 Clasificación de los proyectos de conservación hidráulica y energía hidroeléctrica

| Categoría del proyecto | Escala de proyecto | Clasificación | | Zona de regadío (10 ³ mu) | Capacidad instalada (MW) | |
|------------------------|--------------------|---|--|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| | | Capacidad bruta del embalse (10 ⁶ m ³) | protección contra las inundaciones | | | |
| | | | Zona urbana e industrial o minera | | | Región agrícola (10 ³ mu) |
| I | Grande (1) | > 1000 | Ciudad muy importante, zona industrial o minera | > 5000 | > 1500 | > 750 |
| II | Grande (2) | 1000-100 | Ciudad importante, zona industrial o minera | 5000-1000 | 1500-500 | 750-250 |
| III | Media | 100-10 | Ciudad de tamaño medio, zona industrial o minera | 1000-300 | 500-50 | 250-25 |
| IV | Pequeña (1) | 10-1 | Ciudad pequeña y zona común industrial o minera | < 300 | 50-5 | 25-0,5 |
| V | Pequeña (2) | 1-0,1 | | | < 5 | < 0,5 |

Cuadro 4-2 Clasificación de la estructura hidráulica

| Categoría de los proyectos | Categoría de las estructuras permanentes | | Estructura provisional |
|----------------------------|--|-----------------------|------------------------|
| | Estructura importante | Estructura secundaria | |
| I | 1 | 3 | 4 |
| II | 2 | 3 | 4 |
| III | 3 | 4 | 5 |
| IV | 4 | 5 | 5 |
| V | 5 | 5 | |

Cuadro 4-3 Inundaciones previstas de las estructuras hidráulicas permanentes en funcionamiento normal

| Categoría de las estructuras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------|---------|--------|-------|-------|
| Período de reaparición de las inundaciones (años) | 2000-500 | 500-100 | 100-50 | 50-30 | 30-20 |

Cuadro 4-4 Límite inferior de las inundaciones previstas de las estructuras hidráulicas permanentes en condiciones anormales

| Tipo de presa | Categoría de la estructura | | | | |
|--|-------------------------------|-------|-------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | Período de reaparición (años) | | | | |
| Presa de tierra, Presa cimentada sobre roca, Presa de cantos rodados secos | 10.000 | 2.000 | 1.000 | 500 | 300 |
| Presa de hormigón, Presa de mampostería y otras | 5.000 | 1.000 | 500 | 300 | 200 |

II. Planificación

Los principales elementos de la planificación de una MCH son la selección del tipo de central, la elección del emplazamiento y la secuencia de la construcción, la decisión de la escala de la MCH, la selección aproximada del tipo de estructuras y de la disposición, la comparación de las distintas líneas posibles de transmisión y distribución, y el cálculo de los costos de construcción.

Las principales consideraciones que se deben tener en cuenta durante el proceso de planificación son las siguientes:

A. Planificación general.

De acuerdo con el principio de la planificación general y del aprovechamiento global, se debe efectuar una investigación general de los recursos hídricos en conexión con la situación de desarrollo de la industria y la agricultura locales, y las demandas de préstamos. Durante el proceso de planificación, es necesario que exista una coordinación razonable entre los diversos departamentos competentes y evaluar la cantidad de agua de que se dispone y el período de consumo de agua. Hace falta también examinar globalmente diversos fines posibles del empleo de ese agua, con inclusión de la lucha contra las inundaciones, el riego, la producción de energía, la navegación, el suministro de agua para uso industrial y doméstico, y la pesca.

B. Viabilidad de la explotación de las cascadas.

La "explotación de las cascadas" se basa en condiciones hidrológicas, topográficas y geológicas, la distribución de las tierras de cultivo, los recursos minerales, las pérdidas del agua embalsada y otros factores técnicos y económicos. Después de efectuar un análisis global y comparaciones, se puede elegir el proyecto de explotación de máxima prioridad y determinar su primera etapa. En general las plantas hidroeléctricas con una presa de almacenamiento son preferibles para la primera cascada río arriba porque la avenida de agua regulada por el almacenamiento puede mejorar la producción de energía, el riego, la navegación y el suministro de agua.

C. Disposición general de las MCH y de las plantas eléctricas importantes e integración de las MCH en la red eléctrica.

Las pequeñas plantas hidroeléctricas de las zonas rurales suministran electricidad principalmente para la agricultura, la elaboración de productos, el riego y el drenaje, así como para iluminación. Las plantas eléctricas importantes proporcionan electricidad a las industrias administradas por las comunas populares o los condados y a grandes estaciones eléctricas de bombeo y drenaje. Con el fin de que el suministro de energía sea más seguro, conviene establecer un sistema local que integre a las MCH, o integrar la red local en la estatal para aumentar la energía eléctrica y mejorar la capacidad del suministro de energía. Cuando se constituye una red, la energía procedente de las diversas fuentes puede complementarse entre sí.

Si las condiciones lo permiten, las MCH pueden hacerse funcionar para que suministren potencia reactiva a la red y mejorar así su calidad de suministro de energía.

D. Elección de la mejor solución con características favorables de energía y economía.

La seguridad y la economía son las condiciones básicas de un proyecto. En la planificación de las plantas hidroeléctricas, las características de energía y economía se utilizan para medir la viabilidad económica de un proyecto.

Las principales características de una MCH en lo que a energía se refiere son la energía continua N_g , la capacidad instalada N_i , la producción anual media E_a , etc.

Las principales características económicas de las MCH son la inversión, los gastos de funcionamiento, los beneficios comerciales, etc.

Además del costo total, para comparar las inversiones se suelen adoptar algunos costos unitarios, como el costo unitario por kW, el costo unitario por kWh, el costo anual de explotación que incluye la amortización de las estructuras y del equipo, los gastos de revisión general y reparaciones, los gastos de mantenimiento, los gastos generales y las remuneraciones.

Un proyecto de conservación hidráulica y generación de energía hidroeléctrica con múltiples fines por lo general produce beneficios como la lucha contra las inundaciones, el riego, la navegación, el transporte de leños, etc. Todos esos beneficios deben considerarse globalmente.

En cuanto al ingreso neto de la producción de energía, se puede formular como sigue:

$$X_N = \sum S_{Ni} E_i \quad (\text{y an/año}) \quad (2)$$

Donde S_{Ni} = ingreso neto por kWh (yuan/kWh, obtenido de precio de venta-costo de funcionamiento por kWh).

El símbolo i representa a los diferentes usuarios (el precio de venta para la agricultura y la industria es distinto).

E_i = suministro de energía a los usuarios durante un año medio (kWh/año).

Si un proyecto de generación hídrica tiene los múltiples usos de suministrar agua a los usuarios industriales y domésticos así como a las pesquerías, los beneficios se deberán calcular según las condiciones concretas.

El período de reembolso del costo de capital se puede calcular mediante la fórmula

$$T_R = \frac{T_e}{X_N} \quad (\text{año}) \quad (3)$$

Donde T_e = inversión total

X_N = ingreso neto por año.

Actualmente $T_R = 5-7$ años (adoptados habitualmente) y con límite de 10 años.

T_R es un índice que figura en la concepción general. No puede indicar la viabilidad cuando se aplica un incremento de las inversiones. Por ejemplo, en una planta hídrica de salto elevado y poca descarga, un incremento de la descarga puede aumentar sensiblemente la producción de energía, por lo que se suele estudiar la viabilidad de las alternativas a la derivación del agua a la zona de trasbase. En este caso debe

compararse el período de desembolso del incremento de la inversión para la derivación de los flujos de la zona de drenaje anterior. El cálculo es el siguiente:

$$\Delta T_R = \frac{\Delta T_e}{\Delta XN} \quad (\text{año}) \quad (4)$$

Donde ΔT_R = período de desembolso del incremento de la inversión
(año)

ΔT_e - incremento de la inversión (yuan)

ΔXN = incremento de la renta neta por año (yuan/año)

ΔT_R - se suele adoptar el período de 10 años.

E. Elección de un emplazamiento con condiciones favorables topográficas, geológicas e hidráulicas.

Durante la fase de planificación de una planta hídrica, la elección del emplazamiento y la disposición de la presa, la estructura de conducción, la casa de máquinas y estación de transmisión y distribución son muy importantes y dependen considerablemente de las condiciones topográficas, geológicas e hidráulicas.

Se debe prestar atención a la selección de un emplazamiento favorable.

F. Ahorro de materiales de construcción y disponibilidad del equipo.

Durante la fase de planificación, con el fin de economizar acero, madera, cemento, etc., es preferible utilizar plenamente los materiales locales disponibles. En la elección del equipo se debe dar prioridad a los fabricantes nacionales.

III. Hidrología

A. Descripción general

Actualmente China cuenta ya con más de 17.000 estaciones hidrológicas de diversos tipos. Entre ellas 2.900 son estaciones normales distribuidas principalmente por los grandes ríos y sólo el 11% de ellas se encuentran sobre ríos pequeños. Las MCH se construyen en su mayor parte en ríos pequeños, por lo que se suele carecer de datos hidrológicos a su respecto. Por lo general los trabajos hidrológicos de una MCH se realizan mediante una investigación en el lugar, así como

efectuando los cálculos necesarios con la ayuda de manuales de hidrología. En esos manuales de hidrología figuran datos hidrológicos pertinentes y parámetros estadísticos (representados con isogramas o gráficos), fórmulas y ejemplos elaborados. Cuando faltan datos, son muy útiles para el cálculo hidrológico del escurrimiento y la crecida de los proyectos hídricos medianos y pequeños.

En general, en lo que respecta a las MCH con una capacidad unitaria superior a los 500 kW los análisis hidrológicos se deberían presentar en el informe sobre el diseño; para las MCH con una capacidad unitaria inferior a los 500 kW no se requieren análisis hidrológicos especiales.

Los principales elementos hidrológicos para el diseño de una MCH rural son los siguientes:

1. proporcionar datos sobre el escurrimiento para efectuar los cálculos relativos a la energía hídrica;
2. proporcionar datos sobre la crecida para el diseño de la presa;
3. proporcionar indicaciones sobre las etapas superior e inferior para el diseño de la casa de máquinas;
4. proporcionar datos sobre la crecida para el diseño de la estructura transversal de los canales de conducción.

B. Cálculo del escurrimiento

Si se dispone de datos de observatorio desde hace más de quince años que reflejen la norma y variación de los datos hidrológicos de los años de nivel de agua alto, medio y bajo en el emplazamiento del proyecto, el cálculo de la frecuencia se podrá efectuar directamente. Si se poseen datos de observación de unos diez años, la primera medida es alargar la serie y calcular luego la frecuencia. Si los datos sólo se extienden a seis o siete años, se pueden utilizar, no obstante, como datos básicos para efectuar extrapolaciones. Por último, si sólo se dispone de datos para dos o tres años o no se dispone de datos en absoluto, se sugiere el método de la trasposición. En este caso es necesario elegir una cuenca vecina que cuente con series de datos relativamente largas y cuyas condiciones geográficas naturales sean similares a las de la cuenca del proyecto. Estas series largas de datos se pueden trasponer al diseño del proyecto. Si sólo se dispone de datos sobre las precipitaciones, pero no sobre el escurrimiento, éste se puede calcular a partir de aquéllas.

En este caso se debe prestar atención a lo siguiente: cuando las precipitaciones medias anuales son de unos 1.500 mm y el coeficiente medio anual del escurrimiento es de más del 0,5%, existe una buena relación entre las precipitaciones y el escurrimiento; en una región árida, donde la evaporación es grande, la variación de las precipitaciones y del escurrimiento puede perder su correspondencia y las relaciones resultar desiguales.

Habitualmente se carece de datos hidrológicos sobre las corrientes medias o pequeñas. Se puede utilizar un mapa de isohietas o parámetros estadísticos determinados por el análisis de datos de una región vecina similar, a partir de los cuales se pueden obtener las características de frecuencia del escurrimiento anual. El valor C_v a nivel de gravedad de la cuenca del proyecto se puede tomar del manual de hidrología regional y entonces calcular C_s en relación con C_v . Cuando se carece de datos hidrológicos, la determinación del escurrimiento medio anual \bar{Q}_{aa} es la clave para el establecimiento de la curva de frecuencia del escurrimiento anual.

1. Métodos para calcular \bar{Q}_{aa}

a) Método de las isohietas

El mapa hidrológico de isohietas se deriva de la regla de la distribución geográfica del valor de las características hidrológicas (escurrimiento anual, coeficiente de variación C_v , etc.). Se basa en el tratamiento y análisis de datos numerosos. El mapa de isohietas se dibuja trazando el valor de las características hidrológicas en diversas estaciones. Cada valor de las características hidrológicas se puede representar en un mapa de isohietas para facilitar la aplicación.

- i) Aplicación de un mapa de isohietas de la profundidad de escurrimiento medio anual (\bar{y}) o del módulo medio anual de escurrimiento (\bar{M})

A partir de los datos obtenidos por observación y del conocimiento de la zona de la cuenca, que está controlada por la estación hidrológica por medio del principio del equilibrio hídrico, es posible establecer un mapa

de isohietas de la profundidad media anual de escurrimiento \bar{y} . Si no existe una estación hidrológica cerca del lugar del proyecto, pero se dispone de un mapa de isohietas, la profundidad media anual de escurrimiento del proyecto se puede determinar por medio del mapa. Cuando la zona de la cuenca del proyecto es pequeña y las isohietas son planas, es posible utilizar \bar{y} a nivel de gravedad de la zona de desagüe como escurrimiento medio anual de toda la cuenca de evacuación. De otro modo, la cuenca se deberá dividir en varias subzonas y la profundidad media anual de escurrimiento de toda la cuenca se calculará ponderando las diversas zonas e isohietas.

$$\bar{y} = \frac{\bar{W}_a}{F \times 10^6} \times 10^3 = \frac{\bar{W}_a}{1.000 F} \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

donde F = superficie de la cuenca en km^2

\bar{W}_a = volumen medio anual de escurrimiento en m^3

Cuando se obtiene \bar{y} , la fórmula para calcular la descarga media anual de la estación del proyecto es:

$$\bar{Q}_{aa} = \frac{\bar{W}_a}{31,5 \times 10^6} = \frac{1.000 \bar{y} F}{31,5 \times 10^6} = \frac{\bar{y} F}{31,5 \times 10^3} \quad (\text{cms}) \quad (6)$$

De nuevo, gracias al mapa de isohietas para el coeficiente de variación C_v del escurrimiento anual, se llega a la C_v a nivel de gravedad de la zona de captación y se puede obtener el coeficiente de asimetría C_s por análisis. Con la ayuda de la tabla del coeficiente K_p de relación del módulo de la curva de Pearson tipo III, el valor K_p de la frecuencia específica se puede hallar a los efectos del diseño. La descarga media anual de la frecuencia específica se puede calcular como:

$$Q_{aap} = \bar{Q}_{aa} \times K_p \times \frac{\bar{y} F}{31,5 \times 10^3} \quad (\text{cms}) \quad (7)$$

La descarga media anual de las diversas frecuencias se puede calcular de la misma manera. Por último, se establece la curva teórica de frecuencia de la descarga media anual.

En China el mapa de isohietas del módulo de escurrimiento medio anual estaba calculado en los manuales hidrológicos de las provincias correspondientes. La descarga media anual que se produce por km^2 de la zona de captación se llama módulo del escurrimiento medio anual \bar{M} :

$$\bar{M} = \frac{\bar{Q}_{aa}}{F} \times 10^3 \quad (\text{li/seg/km}^2) \quad (8)$$

donde F en km^2
 \bar{Q}_{aa} en 10^3 li/seg, o

$$\bar{Q}_{aa} = \frac{\bar{M} F}{1.000} \quad (\text{cms}) \quad (9)$$

Cuando se dispone de los mapas de isohietas de \bar{Y}_p (profundidad del escurrimiento anual con frecuencia) y M_p (módulo del escurrimiento anual con frecuencia), es posible hallar directamente el volumen anual de escurrimiento de la frecuencia específica. Por ejemplo, si se desea establecer el escurrimiento anual del porcentaje previsto por medio de un mapa de isohietas Y_p o M_p , se puede determinar primero la profundidad del escurrimiento anual Y_g y el módulo del escurrimiento anual M_g con frecuencia específica en el centro de gravedad de la zona de captación. Para el cálculo de la descarga media anual del porcentaje de probabilidad previsto de la planta hídrica:

$$Q_{aag} = \frac{Y_g \cdot F}{31,5 \times 10^3} \quad (\text{cms}) \quad (10)$$

$$Q_{aag} = \frac{M_g \cdot F}{1.000} \quad (\text{cms})$$

ii) Método para calcular el escurrimiento anual a partir de un mapa de isohietas de precipitaciones.

Si no se dispone de un mapa de isohietas de escurrimiento, el volumen medio anual del escurrimiento de la planta hídrica puede calcularse con la ayuda de un mapa de isohietas de precipitaciones. La fórmula es la siguiente:

$$\bar{Q}_{aa} = \frac{10^3 \alpha \bar{X}_a F}{31,5 \times 10^3 \times 10^3} = \frac{\alpha \bar{X}_a F}{31,5 \times 10^3} \quad (\text{cms}) \quad (11)$$

donde \bar{X}_a = precipitación media anual (mm), examinada a partir del mapa de isohietas de precipitaciones.

α = coeficiente de escurrimiento, relacionado con el volumen de las precipitaciones y su intensidad, la topografía de la cuenca, la evaporación, la conservación del suelo y del agua, etc. Los valores de α varían considerablemente siendo algunos inferiores a 0,2 y otros superiores a 0,6.

En las zonas llanas con una buena conservación del suelo y del agua así como una amplia evaporación e infiltración, se propone un valor menor de α pero, por el contrario, se toma un valor superior. No es fácil obtener el valor exacto del coeficiente α , y para el cálculo aproximado se utiliza la fórmula 14.

Los mapas de isohietas figuran en las publicaciones del manual de hidrología provincial o de prefectura en China. Se debe prestar atención a su campo de aplicaciones y condiciones. Si la zona de evacuación es muy pequeña, la influencia de los factores no regionales aumentará y, consecuentemente, la aplicación de un mapa de isohietas puede dar origen a errores.

b) Cálculo del escurrimiento anual a partir de las precipitaciones anuales.

El método precitado de las isohietas es sencillo. Con todo, a veces resulta difícil utilizar el manual de hidrología o ha habido un aumento del acervo de datos desde que se publicó el manual. En estos casos se propone el cálculo de las series anuales de escurrimiento por medio de las precipitaciones anuales. Este método es bastante complicado y si no se aplica con cuidado se acumularán múltiples errores.

- i) Evaluación de las series de precipitaciones anuales de la cuenca del proyecto.

Para las regiones no evaluadas se deberán transponer los datos relativos a las precipitaciones de una estación cercana a la zona prevista. Para esa trasposición de datos conviene tener presentes los puntos siguientes:

- 1) Como las precipitaciones varían de una región a otra, en la trasposición se deben preferir los datos relativos a la zona más cercana.
- 2) Los pluviómetros utilizados para la trasposición y la cuenca del proyecto deben estar situados en el mismo cinturón climático.
- 3) Deben tomarse en cuenta los efectos que produce la elevación en las variaciones de las precipitaciones, efectuándose las correcciones necesarias.
- 4) Es preciso elegir lugares en los que se posean datos de observación desde hace largo tiempo (más de 15 a 20 años) sobre las precipitaciones como estaciones de trasposición.

Cuando sólo se poseen datos relativos a un período corto (pero no inferior a cinco años), es preferible establecer primero la correlación entre los datos relativos a los períodos cortos y las estimaciones de lugares cercanos con datos sobre las precipitaciones relativos a un período largo con el fin de convertir la serie corta en una serie larga de quince a veinte años (utilizando el método del análisis de correlación) y trasponerlos entonces a la cuenca del proyecto.

El análisis de correlación se ha utilizado ampliamente en el cálculo hidrológico. Se puede usar para la interpolación, extrapolación, verificación y corrección de datos y para obtener fórmulas empíricas, etc.

ii) Evaluación de la serie de escurrimiento anual de la cuenca del proyecto.

1. Selección de la estación de referencia y de la cuenca de referencia.

Con el fin de intercambiar datos sobre las precipitaciones anuales para el escurrimiento anual, es necesario establecer una correlación entre la precipitación y el escurrimiento anuales. Si en la cuenca del proyecto no existe ninguna estación hidrológica, no se dispondrá de correlación para esa cuenca. En este caso, es necesario evaluar la correlación entre la precipitación y el escurrimiento en la cuenca en que se han establecido estaciones hidrológicas y trasponer luego esa correlación a la cuenca del proyecto. Esta estación hidrológica de trasposición y la cuenca de evacuación se denominan la estación de referencia y la cuenca de referencia, respectivamente. En un caso normal, la estación cercana río abajo con una zona de captación próxima a la zona de la cuenca del proyecto o a una estación y cuenca vecinas es preferible a la estación y cuenca de referencia.

2. Cuando se ha elegido una estación de referencia, se deben trazar los puntos de correlación de las precipitaciones anuales y del volumen de escurrimiento anual de la cuenca de referencia.

Si existen varias estaciones de precipitaciones en la cuenca de referencia, se utilizará el valor medio de las precipitaciones de esas estaciones.

3. Análisis de la curva de correlación y de la trasposición con respecto a la cuenca del proyecto.

Durante la selección de la cuenca de referencia, es necesario comparar y analizar los factores que influirán en el escurrimiento anual de ambas cuencas.

En lo que respecta a una cuenca pequeña los factores son: altura media de la cuenca; dirección relativa de la vertiente y corriente de aire; bosque, tierras de cultivo, suelo y conservación del agua; declive medio de la cuenca; condiciones del bosque, del suelo y geológicas; escurrimiento subterráneo, etc.

Si las condiciones de dos cuencas son similares, es posible trazar una curva continua que una los puntos correlativos y obtener así las series de escurrimiento interior y exterior, como muestra la figura 4-1.

4. Cálculo de la serie de escurrimiento anual de la cuenca del proyecto.

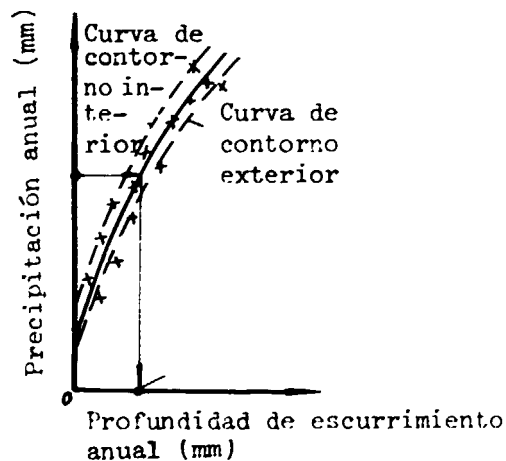


Fig. 4-1 Curva de precipitación-escurrimiento

Mediante la curva de correlación de la figura 4-1 se puede determinar el escurrimiento anual de la cuenca del proyecto por la precipitación anual y la serie de escurrimiento anual de la cuenca del proyecto. Conviene disponer de una serie de más de quince a veinte años.

- c) Evaluación del escurrimiento anual de la estación del proyecto a partir del escurrimiento anual de la estación de referencia (método de analogía hidrológica).

Si existe una estación hidrológica cercana en la que las condiciones geológicas naturales son similares a las de la región del proyecto, es razonable elegir esa estación como estación de referencia. Se necesita disponer de unos datos hidrológicos por un período largo o de unos datos prolongados de la estación de referencia.

Si la diferencia entre ambas zonas de evacuación es únicamente de un tres a un cinco por ciento, los datos de la estación de referencia se pueden aplicar directamente. Si la diferencia gira en torno al 10-15%, se pueden trasponer de acuerdo con la razón siguiente:

$$Q_a = \frac{F}{F_r} Q_{ar} \text{ (cms)} \quad (12)$$

cuando la distribución de las precipitaciones es desigual, su correlación se debe tomar en consideración.

$$Q_a = \frac{\chi_a}{\chi_{ar}} \cdot \frac{F}{F_r} \cdot Q_{ar} \text{ (cms)} \quad (13)$$

donde Q_a, Q_{ar} = volumen anual de escurrimiento del emplazamiento del proyecto y de la estación de referencia, respectivamente;

F, F_r = región de evacuación del emplazamiento del proyecto y de la estación de referencia, respectivamente (km^2);

χ_a, χ_{ar} = precipitación anual del emplazamiento del proyecto y de la estación de referencia, respectivamente (mm).

2. Elección de un año muestra característico

Para calcular la MCH se suelen tomar tres años específicos como años muestra característicos:

- Año de nivel bajo de las aguas: el escurrimiento del año de nivel bajo de las aguas se utiliza para preveer el desempeño de la MCH en años secos. Para este año muestra específico se utiliza una probabilidad del 75 al 80% en la serie de escurrimiento anual.
- Año de nivel medio de las aguas: se suele elegir una frecuencia del 50% en la serie de escurrimiento anual como año de nivel medio de las aguas.
- Año de nivel alto de las aguas: es simétrico al año de nivel bajo de las aguas. En la serie de escurrimiento anual se suele utilizar una probabilidad del 20 ó 25% para este año muestra específico.

La elección de los años muestras característicos entraña dos tareas principales: determinar el escurrimiento anual del año muestra característico y determinar la distribución del volumen de escurrimiento anual previsto.

a. Volumen de escurrimiento anual previsto.

De acuerdo con los métodos mencionados, se puede trazar primero la curva de frecuencia del volumen del escurrimiento anual. A partir de esa curva, se puede evaluar el volumen de escurrimiento anual del año muestra (de frecuencia específica).

b. Distribución del escurrimiento anual previsto en un año.

La distribución del escurrimiento de la corriente o del río en un año es desigual. La distribución dentro de un año no sólo es diferente de la de otros años con volúmenes de escurrimiento anual distintos, sino también bastante diferente incluso de los años con un caudal anual igual. Como la distribución del caudal en un año ejerce una gran influencia en la explotación del embalse y de la estación hidroeléctrica, se requiere una distribución razonable de caudal en el año del escurrimiento anual previsto.

En la práctica, la elección de la distribución del caudal en el año del escurrimiento anual es la determinación de un

hidrógrafo del escurrimiento anual calculado. Para toda estación hidroeléctrica regulada anualmente, la distribución puede mostrarse en la descarga media mensual. Para estaciones hidroeléctricas de regulación a filo de agua o diaria, es necesario indicar la descarga diaria del año de cálculo.

i) Hidrógrafo de un año típico.

El primer método consiste en elegir un año típico a partir de los datos de observación sobre el escurrimiento anual. El volumen del escurrimiento anual del año típico debe ser igual o aproximado al del año característico. La distribución del caudal dentro del año típico se utiliza como la distribución del año de cálculo.

El segundo método consiste en elegir una distribución del caudal en un año en que los datos de observación han contradicho los del año típico del proyecto. En ese caso se debe aplicar un ajuste de acuerdo con la relación del volumen anual de escurrimiento.

El coeficiente de correlación K es:

$$K = \frac{\text{escurrimiento anual del año característico}}{\text{escurrimiento anual del año típico}} \quad (14)$$

La descarga de un año típico por K es la descarga del año de cálculo. La distribución del caudal dentro del año de cálculo se obtiene así.

ii) Determinación del hidrógrafo de caudal en una región no aforada.

- Método 1: mediante los datos de observación de una cuenca análoga vecina, utilizando algunos de los dos métodos anteriores, se determina la distribución del caudal dentro de un año del escurrimiento anual calculado.
- Método 2: sirviéndose de un manual regional de hidrología, se calcula el porcentaje del aflujo mensual con respecto al volumen de escurrimiento anual de un río similar cercano (porcentaje basado

en un conjunto de datos de observación). Luego se calcula el caudal mensual del emplazamiento del proyecto.

- Método 3: de acuerdo con la distribución anual típica de las precipitaciones dentro de un año de la frecuencia calculada (precipitación en la zona de captación del emplazamiento del proyecto), se simula el hidrógrafo de descarga del año de cálculo de la misma frecuencia.

3. Determinación del desagüe de nivel bajo cuando no se dispone de datos hidrológicos.

Si no se dispone de datos hidrológicos relativos a la zona de captación encima del emplazamiento del proyecto, se pueden utilizar para el cálculo los datos hidrológicos de la cuenca de referencia, donde la zona de evacuación, las condiciones hidrogeológicas, el suelo y la vegetación son similares a la cuenca analizada. Se pueden trasponer directamente o, de ser necesario, corregir utilizando la relación de la zona de evacuación. También se utilizan la investigación y las mediciones sobre el terreno para determinar el desagüe diario de nivel bajo previsto.

El cambio calculado en porcentaje de la MCH puede variar considerablemente (del 50 al 85%). Para el nivel inferior de una MCH con una diferencia de potencia igual al 50% o algo superior, es imprescindible proceder a efectuar observaciones sobre el terreno. Si la seguridad requerida de suministro de energía es alta o los recursos hídricos son abundantes pero no hay muchos consumidores, se sugiere que se observe el desagüe diario medio mediada la estación seca y que se investigue y utilice como el desagüe continuo de la MCH.

Para la elección del desagüe de nivel bajo, se debe prestar atención al desagüe que se extraerá al planificar o construir un proyecto hidráulico en el tramo superior del río o de sus afluentes. Este desagüe debe deducirse del desagüe de nivel bajo calculado.

Hay varios métodos para investigar y medir el desagüe de nivel bajo:

- investigar o calcular el nivel bajo y calcular luego el desagüe de nivel bajo utilizando la fórmula hidráulica.
- medición por medio de marcas flotantes.
- medición por medio de vertedores.
- determinación del desagüe de nivel bajo recurriendo a un mapa o tabla de isohietas de desagüe diario.

Para calcular el escurrimiento anual en las regiones con escasez de datos hidrológicos, se pueden aplicar diversos métodos para efectuar una comparación. Los resultados del escurrimiento evaluado se suelen poder verificar de las siguientes formas:

- verificando el equilibrio del caudal corriente arriba y corriente abajo del río principal (incluidos sus principales afluentes).
- verificando si las precipitaciones son mayores que el volumen de escurrimiento durante el mismo período, así como el coeficiente del escurrimiento.
- verificando si el Cv del escurrimiento es mayor que el de las precipitaciones durante el mismo período.
- verificando si la distribución regional del valor medio y de Cv es igual en comparación con la estación cercana.
- verificando la igualdad de distribución del escurrimiento de cada período a partir del hidrógrafo del caudal.

C. Crecidas

En lo que respecta a las centrales hidroeléctricas reguladas anualmente que constituyen el nivel esencial de prefectura y condado, se debe prestar atención a la protección contra las inundaciones ya que éstas constituyen un gran peligro para las vidas y los bienes de las masas populares y determinarán también el éxito o fracaso del proyecto. Si hay una necesidad de protección contra las crecidas río abajo, el embalse debe cumplir la función de detener éstas reduciendo el nivel máximo de la crecida. Es necesario que, cuando una crecida se produce con cierta frecuencia determinada, el desagüe río abajo pueda ser

inferior al permisible. Esta frecuencia determinada es denominada la norma calculada de la protección contra las inundaciones. Por lo general la protección de la agricultura contra las inundaciones es del 2 al 20% y en los distritos industriales o zonas urbanas, del 0,2 al 10%.

En un proyecto de conservación hídrica, cuando se produce una crecida de frecuencia prevista, debe impedirse la destrucción de las principales estructuras hidráulicas (presa, casa de máquinas). En cuanto al proyecto de una MCH, la principal tarea de la protección contra las inundaciones consiste en garantizar la seguridad de las estructuras hidráulicas.

Los criterios de diseño de las estructuras hidráulicas medianas y pequeñas aparecen en los cuadros 4-3 y 4-4.

1. Desagüe calculado del nivel máximo de la crecida
 - a. Cálculo del desagüe máximo calculado por medio de datos de observación.

Si existe alguna estación hidrológica río arriba o río abajo del emplazamiento del proyecto cercano por lo general se dispone de una serie de datos a largo plazo sobre las crecidas (de más de 20 años); de ese modo, se puede efectuar un análisis de la frecuencia basándose en los datos correspondientes. También es útil estudiar los datos de las inundaciones históricas para determinar el desagüe de crecida previsto. Las etapas del cálculo son las siguientes:

- i) calcular y trazar la frecuencia empírica de la serie de desagüe máximo anual;
- ii) determinar la media del valor máximo de crecida Q_{fav} , el coeficiente de variación C_{vf} y otros parámetros estadísticos;
- iii) adoptar un coeficiente asimétrico C_{sf} ; para zonas de captación pequeñas, en casos comunes, C_{sf} es de 2 a 4 veces C_{vf} ;
- iv) analizar y verificar los datos estudiados de las inundaciones históricas y calcular su frecuencia;

v) aplicar el principio de adaptación de la curva para ajustar los puntos de la curva teórica de frecuencia lo más estrechamente posible a los puntos de la curva empírica de frecuencia (la influencia de las inundaciones históricas también se podría tomar en consideración) y obtener eventualmente la C_{sf} en función de la C_{vf} . Los puntos de la parte superior de la curva se destacarán durante el ajuste de las curvas;

vi) el desagüe máximo de frecuencia diferente puede obtenerse a partir de la curva de frecuencia de las crecidas.

b) Cálculo del desagüe máximo previsto por otros métodos

Las minicentrales hidroeléctricas suelen estar emplazadas en regiones no aforadas. En esos casos el método sintético de la crecida máxima, el módulo de volumen de crecida de las cuencas aforadas próximas; el mapa de isohietas de tempestad, así como el método de síntesis regional de los parámetros para calcular el escurrimiento en caso de tormenta, se recomienda para determinar la crecida prevista. Otra forma consiste en determinar la crecida prevista a partir de fórmulas empíricas regionales.

Si se poseen datos seguros sobre inundaciones históricas y su probabilidad se ajusta a las exigencias del cálculo técnico, esas inundaciones históricas se podrán utilizar directamente o mediante una corrección adecuada para determinar la crecida prevista. A continuación se describen algunos métodos para la determinación del desagüe máximo previsto:

i) Cálculo del desagüe máximo previsto a partir del método racional de tormentas previstas.

Cuando la zona de evacuación del río es menor de 500 km^2 en una región montañosa o semimontañosa, la fórmula básica para calcular el desagüe máximo de la crecida a partir de la intensidad de las tormentas es la siguiente:

$$Q_f = 0,278 \phi ip F = 0,278 \phi \frac{S}{\tau_n} F \quad (\text{cms}) \quad (15)$$

donde 0,278 = coeficiente de descarga por unidad

ip = intensidad de tormenta prevista (mm/h)

ϕ = coeficiente del escurrimiento máximo; la relación del volumen del escurrimiento con el volumen de la tormenta durante el período máximo de crecida

S = densidad de la precipitación; la precipitación máxima en una hora (mm/h)

τ = concentración de la crecida en el tiempo; también se denomina tiempo de captación de la crecida (horas). En una cuenca pequeña, puede darse por supuesto que la concentración de una descarga máxima en el tiempo es igual a la duración de la tormenta.

n = coeficiente de recesión de la tormenta

F = zona de evacuación (km²)

Los principales parámetros y coeficientes del método racional se pueden determinar de las maneras siguientes:

i) Parámetros de la cuenca:

F = zona de evacuación de la sección de control del emplazamiento del proyecto

L = distancia del punto más remoto de la hoya al emplazamiento del proyecto a lo largo del canal fluvial (km)

J = inclinación media del canal fluvial

Los tres parámetros citados pueden medirse a partir de un mapa topográfico de $\frac{1}{50.000}$.

2. El parámetro de la tormenta S (densidad de la precipitación) se puede formular así:

$$S = \frac{H_{24p}}{24^{1-n}} = \frac{K \bar{H}_p}{24^{1-n}} \quad (\text{MM/h}) \quad (16)$$

Donde H_{24p} = volumen de la tormenta previsto en 24 horas en una frecuencia dada (mm)

H_{24} = volumen de tormenta máximo medio anual en 24 horas (mm) (se puede obtener habitualmente a partir de los mapas de isohietas de parámetros de la tormenta)

K_p = se puede obtener a partir del cuadro K_p (según los datos locales o tomando $Cs_{24} = 3,5 C_v_{24}$) por frecuencia p y C_v , C_s de la tormenta máxima en 24 horas

n = coeficiente de recesión de la tormenta (n varía con la duración de la precipitación atmosférica). Cuando la duración de la precipitación es menor de una hora, tómesese $n = n_1$; si la duración es igual o superior a una hora, tómesese $n = n_2$ (n se obtiene del manual de hidrología).

3. La concentración en el tiempo τ (horas) es la duración de la concentración de la crecida en la cuenca. Guarda relación con la extensión del río, la inclinación del canal y la velocidad de concentración de la crecida. Varía también con el volumen de la crecida. Se dispone de fórmulas empíricas y de nomogramas para el cálculo de la concentración en el tiempo adaptables a las condiciones locales ofrecidas por las regiones correspondientes.
4. El coeficiente de escurrimiento máximo de la crecida ϕ depende de las condiciones topográficas, la conservación del agua y del suelo, la frecuencia de la crecida y sus factores antecedentes. Si esos factores son similares, cuanto menor sea la zona de evacuación mayor será el valor ϕ .

ii) Fórmulas empíricas

A partir de los datos de observación referentes a los estudios sobre las crecidas y teniendo en consideración la geografía natural, las fórmulas empíricas para determinar el desagüe máximo de la crecida se pueden analizar y derivar en las diversas regiones. Una de esas fórmulas empíricas es la siguiente:

$$Q_{fp} = C_p F^K \quad (\text{cms}) \quad (17)$$

donde Q_{fp} = desagüe máximo de cierta frecuencia (cms)

F = zona de evacuación (km^2)

C_p = módulo de desagüe máximo de la crecida.

Su parámetro empírico que está relacionado con la frecuencia, se presenta en el manual regional de hidrología. Por lo común en una cuenca en forma de abanico con una fuerte inclinación del canal es escasa, el valor de C_p se hace menor.

K = coeficiente de la zona, que es un coeficiente empírico relacionado con los factores geográficos regionales naturales (también figura en el manual de hidrología).

Otra forma de la fórmula empírica es la siguiente:

$$Q_{fp} = q S F^{\frac{2}{3}} \quad (\text{cms}) \quad (18)$$

donde S = densidad de precipitación (mm/h) (presentado en el manual de hidrología de la región correspondiente, o calculado según la fórmula (16)).

q = parámetro de desagüe máximo, como se señala en el cuadro 4-5.

Cuadro 4-5 Parámetro de desagüe máximo

| Zona de concentración de la crecida / Elemento | Inclinación del canal fluvial J (%) | Coefficiente de escurrimiento ϕ | Velocidad durante la concentración v (m/seg) | Parámetro de desagüe máximo q |
|--|-------------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------|
| Región montañosa rocosa | > 15 | 0,80 | 2,2 - 2,0 | 0,60 - 0,55 |
| Región escarpada | > 5 | 0,75 | 2,0 - 1,5 | 0,50 - 0,40 |
| Región escarpada Loes | > 5 | 0,70 | 2,0 - 1,5 | 0,47 - 0,37 |
| Llanura, región ligeramente inclinada | > 1 | 0,65 | 1,5 - 1,0 | 0,40 - 0,30 |

donde q se calcula por la fórmula $q = 0,42 \phi v^{0,7}$

iii) Investigación y cálculo de la "inundación histórica".

La inundación histórica se produjo hace mucho tiempo en la historia, pero obviamente nunca fue medida. Debido a la falta de datos, es preciso ahora observar una serie prolongada de crecidas, recurriendo al estudio de la inundación histórica, con el fin de lograr un cálculo seguro. Este es el método habitualmente aplicado, especialmente en las zonas no aforadas.

La principal razón para proceder al estudio de la inundación histórica es la de descubrir unas trazas seguras de la inundación. A partir de éstas se puede calcular el desagüe máximo correspondiente. Por lo general, los factores hidráulicos de la sección del proyecto se pueden calcular a partir de la sección longitudinal y de la sección transversal del lecho del río estudiado y la curva de superficie de la crecida. Luego, utilizando las fórmulas hidráulicas, se puede calcular el desagüe máximo de la crecida correspondiente a la etapa de la crecida investigada.

2. Volumen de la crecida calculado

Para proyectos medianos o pequeños se suele utilizar el volumen diario de la crecida debido a una tormenta o, a veces, el volumen de la crecida de tres días. Para los ríos aforados se dispone de datos sobre las observaciones del volumen de la crecida a lo largo del tiempo durante 1 a 3 días y mediante análisis y cálculos frecuentes se puede determinar el volumen de la crecida previsto de acuerdo con la frecuencia calculada.

En zonas de evacuación pequeñas o medianas en las que se carece de datos, se suele tomar en consideración el volumen de una crecida. Existen dos métodos para efectuar el cálculo:

- i) El volumen de una crecida se calcula a partir del volumen acumulado aproximado después de una tormenta que haya durado un máximo de 24 horas.

$$\bar{W}df = 1.000 h^{24}d F \text{ m}^3 \dots\dots (19)$$

donde $\bar{W}df$ = volumen de la crecida calculado (m^3)

$h^{24}d$ = el exceso máximo después de 24 horas de la profundidad de la precipitación (mm) de la frecuencia de la crecida calculada.

Las etapas para calcular $h^{24}d$ son las siguientes:

- obtener del manual de hidrología la media anual para un volumen máximo de una tormenta de 24 horas \bar{H}^{24} y Cv^{24} del máximo anual de una tormenta de 24 horas;
- hallar el factor módulo de la tormenta prevista Kpd a partir del manual de hidrología, de acuerdo con su frecuencia de crecida prevista y Cv^{24} .
- calcular el volumen de una tormenta prevista de 24 horas H^{24} a partir de \bar{H}^{24} y kpd , según la fórmula $H^{24}d = Kpd \bar{H}^{24}$. (20)
- de acuerdo con $H^{24}d$, consultar la curva $H^{24}-h^{24}$ presentada en el manual de hidrología y obtener la profundidad máxima de precipitación pasadas las 24 horas $h^{24}d$.

- ii) El volumen de la crecida se calcula por medio del volumen de la tormenta prevista de 24 horas y el coeficiente de escurrimiento correspondiente:

$$\bar{W}df = 1.000 H^{24}d . \phi . \alpha^{24} . F \text{ (m}^3\text{)} \quad (21)$$

donde H_{24d} = volumen de la tormenta prevista de 24 horas (mm); puede obtenerse a partir del manual de hidrología.

ϕ = punto de la tormenta - relación de la superficie, se puede obtener a partir del manual de hidrología. El valor de una pequeña zona de captación es mayor cuando $F < 300 \text{ km}^2$, ϕ se acerca a 1,0.

α_{24} = coeficiente de escurrimiento de una tormenta de 24 horas que puede también hallarse a partir del manual.

3. Hidrógrafo de la crecida calculada.

Se utilizan dos métodos para calcular el hidrógrafo del itinerario de la crecida.

i) Ampliar el hidrógrafo de la crecida típica.

Si se dispone de la serie anual de crecida máxima, el hidrógrafo de crecida prevista puede obtenerse ampliando el hidrógrafo de la crecida típica.

Es prudente elegir hidrógrafos de crecidas en años de alto nivel de agua en que se poseen datos muy representativos y relativamente seguros y donde los niveles máximos de crecida menoscaban la seguridad de realización.

El desagüe en el hidrógrafo de crecida prevista es el producto del desagüe en el hidrógrafo de crecida típica y de un coeficiente $K_f > 1$ (es decir, ampliado)

$$K_f = \frac{Q_{df}}{Q_{tf}} \quad (22)$$

donde Q_{df} = nivel máximo de crecida calculado
(cms)

Q_{tf} = nivel máximo de la crecida en el
hidrógrafo de crecida típica (cms).

ii) Hidrógrafo simplificado de crecida calculada.

El establecimiento de un hidrógrafo de crecida calculada en una hoya no aforada está relacionado con el método utilizado para calcular el desagüe máximo de una crecida. El hidrógrafo de crecida puede obtenerse directamente tanto del hidrógrafo de la central como de isocronos. Si el máximo de crecida se calcula por fórmulas racionales y fórmulas empíricas regionales, se dispondrá únicamente del valor del desagüe máximo, pero no de un hidrógrafo de crecida. Por consiguiente, se debe aplicar el hidrógrafo simplificado de crecida prevista.

Los afluentes de montaña tienen unas zonas de captación pequeñas, la inclinación de la cuenca y el gradiente del canal son bastante fuertes y la crecida se desarrolla y mengua muy rápidamente. En este caso el hidrógrafo de crecida prevista para pequeños proyectos se puede simplificar como un triángulo, como se muestra en la figura 4-2. De preferencia debe elegirse el hidrógrafo simplificado con referencia a los datos del hidrógrafo de la crecida natural de regiones vecinas.

La relación del volumen máximo del triángulo simplificado del hidrógrafo de crecida prevista es:

$$\bar{W}_{df} = \frac{1}{2} Q_{df} \cdot T \quad (23)$$

$$T = \frac{2\bar{W}_{df}}{Q_{df}}$$

Donde \bar{W}_{df} = volumen de la crecida calculada

Q_{df} = desagüe máximo de la crecida
calculada

Efectuando un análisis sintético basado en los datos de las investigaciones y observaciones, se proporciona con fines de aplicación la relación empírica entre la duración del segmento creciente T_i , la duración de la crecida T y diversas zonas de captación.

Para ilustrar este punto, el cuadro 4-6 muestra la relación entre $\frac{T_i}{T}$ y las zonas de captación de un distrito de China. Ello es el resultado del análisis y la síntesis de T_i y T de muchos hidrógrafos de crecidas.

Cuadro 4-6 $\frac{T_i}{T}$ vs F de un distrito

| F (km ²) | 1-3 | 4-10 | 11-20 | 21-40 | 41-100 | 101-200 | 201-500 | 501-1.000 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|-----------|
| $\frac{T_i}{T}$ | 0,374 | 0,352 | 0,337 | 0,325 | 0,312 | 0,300 | 0,289 | 0,277 |

Utilizando la fórmula 23, se puede obtener T_i si el desagüe máximo de crecida calculada y el volumen de crecida calculada se conocen. Con referencia a $\frac{T_i}{T}$ - F de la cuenca analizada o de una cuenca similar cercana, se puede también determinar T_i . Después de ello se podrá trazar un hidrógrafo simplificado triangular de crecida calculada.

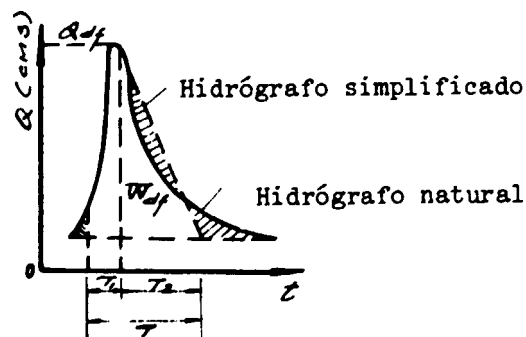


Fig. 4-2 Hidrógrafo simplificado triangular de crecida

D. Establecimiento de una relación etapa-desagüe

1. En lo que respecta a una hoya no aforada, la relación etapa-desagüe se puede obtener a partir de los resultados del cálculo hidráulico utilizado con los datos de la investigación. La elección del grado de aproximación debe efectuarse con prudencia.

Se deben tomar en consideración de antemano la transición del lecho del río y las variaciones de las condiciones de control.

2. Si hay datos sobre las etapas pero no sobre el desagüe, es posible trasponer la curva de etapa-desagüe corriente arriba o corriente abajo (con datos de observaciones) al emplazamiento objeto de estudio determinando la correlación entre las etapas de corriente arriba y de corriente abajo. La extrapolación por métodos razonables es necesaria si la condición del proyecto está fuera del campo de los datos observados.

3. De ser necesario, se ha de tener en cuenta la influencia de los remansos.

IV. Energía hídrica

El proyecto relativo a la energía hídrica se utiliza para determinar las características de la energía de la planta hídrica prevista. Consiste en la regulación del caudal, la energía continua, la capacidad instalada y la producción media anual de energía, etc.

Estos índices reflejan la utilidad energética de la planta hidroeléctrica y la medida de la utilización de los recursos hídricos de este riachuelo o río de explotación. En el presente párrafo se examinará detalladamente la selección de la capacidad instalada de una minicentral hidroeléctrica a filo de agua y regulada diariamente.

Los datos técnicos recopilados para el diseño de la energía hídrica son los siguientes:

- Datos hidrológicos: incluyen las características de la cuenca del río; una serie de datos sobre el caudal en el emplazamiento de la planta; la curva altura-descarga en el emplazamiento de la planta; y datos mensuales sobre las precipitaciones y la evaporación.

- La curva de superficie del embalse y la curva de capacidad.
- Las demandas de utilización con fines múltiples: demandas de agua para riego, suministro de agua, navegación y transporte de troncos.
- Condiciones de la carga: incluye el rango de suministro de energía para la planta del proyecto y las características de la carga de la red nacional.

Con respecto al diseño de las minicentrales hidroeléctricas cabe simplificar tanto los datos requeridos como los cálculos.

A. Carga eléctrica

En las zonas rurales de China los principales usos de la electricidad son el riego y el drenaje, la elaboración de productos de base agrícola, las actividades de campo, la reparación de maquinaria agrícola, la fabricación de fertilizantes y plaguicidas, la cría de animales, la fabricación de papel, la industria del azúcar, etc. En el cuadro 4-7 figura el consumo medio de energía.

Cuadro 4-7
Consumo de energía medio

| Partida | Consumo de energía | Partida | Consumo de energía |
|-------------------|-----------------------|---------------------|--|
| Trilla | 6-12 KW-hr/Ton | Ladrillos y tejas | 50 KW-hr/1000 yuan |
| Molienda | 40 " | Plaguicidas | 80 KW-hr/Ton |
| Desgrane | 30 " | Azúcar | 12 KW-hr/Ton |
| Aceite comestible | 60 90 " | Maquinaria agrícola | 40-80 KW-hr/1000 yuan |
| Minería | 8 " | Fertilizantes | 30 KW-hr/Ton |
| Papel | 500-600 " | Bombeo eléctrico | H=20 ^M 0,091 KW-hr/m ³ |
| Iluminación | 15~25 vatios/vivienda | Bombeo eléctrico | H=40 ^M 0,181 " /" |

Primeramente, conviene calcular el consumo de energía necesario en el próximo y lejano futuro con el fin de determinar el objetivo de la planta eléctrica. Si ésta tiene una capacidad instalada excesiva y la carga de la demanda es reducida, se produce un desperdicio de capital. Por otro lado, si la capacidad instalada es insuficiente (cuando el salto de agua y el caudal se utilizan plenamente) y la carga de la demanda es elevada, surge la necesidad de construir una nueva planta o de ampliar la existente. En cuanto a la central a filo de agua que funciona con independencia, sólo se lleva a cabo el cálculo de la carga máxima según las demandas de suministro de energía seguro. Es necesario reunir datos sobre:

- El campo de suministro de energía, su alcance, tipo de producción, número de turnos, período de carga, capacidad del equipo y tasa de utilización para los diversos equipos.
- Consumo de energía anual y mensual y días de trabajo de cada mes de los diversos consumidores.
- Población actual y futura de las ciudades situadas dentro del campo de suministro de energía y su consumo de energía, incluidas las líneas subsidiarias de base rural y su cantidad.

El campo de suministro de energía de una planta hidroeléctrica se determinará por la situación de la carga regional y sus posibilidades de desarrollo. La relación entre el campo, la potencia de transmisión y la capacidad de transmisión se indican en el cuadro 4-8.

Cuadro 4-8
Capacidad de transmisión de energía y distancia de transmisión
de diferentes potencias de transmisión

| Potencia de la línea de transmisión (kW) | Capacidad de transmisión de energía (kW) | Distancia de transmisión (km) |
|--|--|-------------------------------|
| 0,22 | < 50 | 0,15 < |
| 0,38 | < 100 | 0,6 < |
| 10 | 200-2.000 | 6-20 |
| 35 | 1.000-10.000 | 20-70 |

Entre esas cargas, la carga anual con fines industriales es bastante regular, pero la carga diaria varía ampliamente según los diferentes turnos de trabajo y el tipo de producción. Actualmente, en China, el bombeo y el drenaje eléctricos son las actividades que consumen más energía en las zonas rurales. El consumo de electricidad en la agricultura es estacional. La carga debe aumentar bruscamente para el drenaje por bombeo y al día siguiente se requiere un consumo nocturno de energía para riego. El suministro de energía para actividades secundarias en las zonas rurales se concentra principalmente en el invierno.

La carga de la iluminación en las ciudades y las zonas rurales varía en un período de 24 horas, y también en un año.

1. Carga diaria

La suma de las cargas industrial, agrícola y de iluminación proporcionan la carga típica diaria del suministro de energía.

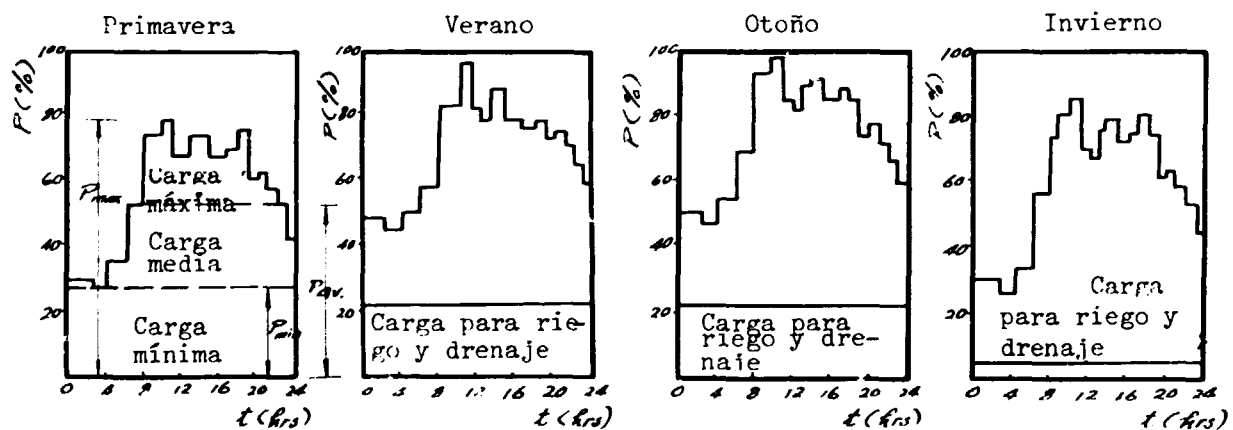


Fig. 4-3 Diagrama de carga típica diaria

Hay tres valores característicos (P_{max} , P medio y P_{min}) en el diagrama de carga diaria. P_{max} indica la carga máxima en un día. Con el fin de satisfacer el suministro de energía, la capacidad total de instalación de las plantas hidroeléctricas debe ser superior a este valor. P medio es la carga media en un día: $24 \times P$ medio es el suministro diario de energía. P_{min} se denomina

la carga de base. Utilizando estos tres valores característicos, el diagrama de carga diaria se puede dividir en tres partes. La carga máxima (que tiene grades fluctuaciones) se encuentra encima de la parte de P medio. La carga media se encuentra entre la máxima y la carga de base.

2. Diagrama de la carga anual:

El diagrama de la carga anual se utiliza para indicar las variaciones de la carga en un año; por lo general se suele tomar la carga como ordenada y el tiempo (mes o día) como abcisa.

Si el suministro de energía a la agricultura es grande en esta red, debido a su fuerte carácter estacional, la carga máxima no se producirá durante la estación seca. Por ejemplo, si una planta hidroeléctrica está diseñada principalmente para suministrar energía destinada al drenaje por bombeo, no habrá demanda de carga en la estación seca. Por lo tanto, no es importante determinar la probabilidad porcentual de descarga en la estación seca, pero es muy necesario estudiar las características hidrológicas en la estación de desagüe, de conformidad con las demandas de carga del drenaje por bombeo para determinar la capacidad estable de energía y de trabajo máximo de la planta hidroeléctrica.

Habitualmente se establecen dos diagramas de carga diaria típica para el invierno y el verano de acuerdo con el año del nivel de carga previsto. Para las minicentrales hidroeléctricas rurales no es necesario establecer el diagrama de carga y sólo se tomarán en consideración las características de carga del suministro de energía.

B. Planta hidroeléctrica a filo de agua

1. Determinación de la energía estable:

Cuando se dispone de datos hidrológicos: Primero, se debería trazar la curva de duración de la descarga media diaria. Según la probabilidad porcentual diseñada de la planta hidroeléctrica, se debería determinar sobre esa curva de duración la descarga estable QG.

Cuando no se dispone de datos hidrológicos: determinar la descarga estable correspondiente a la probabilidad porcentual diseñada utilizando el método antes descrito en la parte III de este capítulo.

La energía estable de la planta hidroeléctrica se formula de la manera siguiente:

$$NG = A Q_G H \quad (\text{kW}) \quad (24)$$

donde NG = energía estable

Q_G = descarga estable

2. Producción de energía media anual:

Debido a la variación de las producciones de energía en los diferentes años hidrológicos, se adopta la producción de energía media anual como índice para indicar la producción de energía de una planta hidroeléctrica.

La figura 4-4 muestra la curva de duración de la producción diaria en el año medio, tomando N_i como la capacidad instalada de la citada planta hidroeléctrica. N_i y la curva de duración se interceptan en el punto b. En la figura 4-4 el tramo bd de la curva indica que la producción del caudal natural es mayor que N_i . La producción de la planta hidroeléctrica, sin embargo, está limitada por N_i . Si el tramo bc de la curva indica que la producción del caudal natural es inferior a N_i , la planta hidroeléctrica se explota de acuerdo con bc. Oabc es la condición de trabajo dentro de un año; la superficie Oabc es la producción anual de energía de un año medio (\bar{E}_a de la figura 4-4). Es evidente que la producción media anual varía con la capacidad instalada de una planta hidroeléctrica. Cuando la capacidad instalada aumenta de N_i a N_{i2} ($N_{i2} = N_i + \Delta N$), la producción anual de energía aumenta de \bar{E}_a a $\bar{E}_a + \Delta \bar{E}$. En un caso normal, la tasa de $\Delta \bar{E}$ no será perceptible cuando la capacidad instalada sea demasiado grande, es decir, $\Delta N_1 = \Delta N_2$, $\Delta \bar{E}_2 < \Delta \bar{E}_1$. Se proponen diferentes soluciones con capacidades instaladas distintas para calcular su producción media anual y trazar luego la curva $N_i - \bar{E}_a$. La capacidad media anual

proyectada se verificará a partir de esta curva cuando sea seleccionada la capacidad instalada de la planta hidroeléctrica.

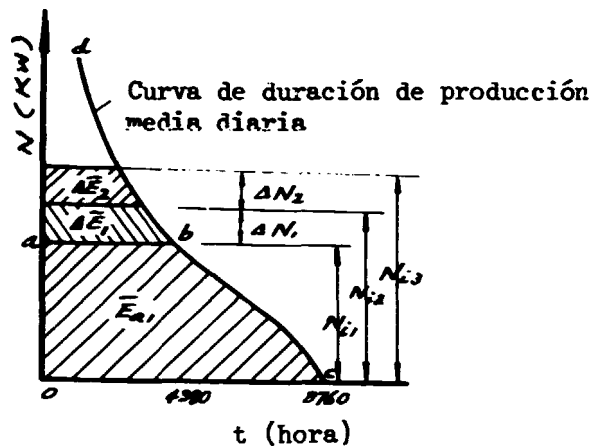


Fig. 1-4 Curva de duración de producción media diaria

3. Determinación de la capacidad instalada:

Para una planta hidroeléctrica a filo de agua, la capacidad está integrada por los siguientes elementos:

- a. Capacidad máxima de trabajo: la capacidad máxima de trabajo se instala para satisfacer la carga máxima de los consumidores. Habitualmente la capacidad máxima de trabajo no excederá de la energía estable.

$$N_W = N_G \quad (\text{kW}) \quad (25)$$

N_W = capacidad máxima de trabajo

N_G = energía estable

- b. Capacidad de reserva: en la planta hidroeléctrica a filo de agua no hay una capacidad de reserva. La planta no tiene la posibilidad de hacer una reserva para casos de urgencia o una capacidad de carga reservada en la red.

Los trabajos de reparación de las dependencias de una planta hidroeléctrica se pueden efectuar durante la estación seca o en un período de carga reducida. Si la capacidad estacional está retenida en la estación seca,

esa capacidad se puede utilizar para reserva de inspección. Si el riego es la principal función de una planta hidroeléctrica, las reparaciones se pueden proyectar para el período de no regadío. Si todavía siguen existiendo dificultades, habrá que estudiar la conveniencia de establecer una capacidad adicional de reserva para reparaciones.

c. Capacidad estacional: la capacidad máxima de trabajo de una planta hidroeléctrica a filo de agua se determina en función de la descarga estable. Con el fin de utilizar plenamente la energía hídrica en la estación de crecidas, se puede establecer cierta capacidad estacional cuando se reúnen las siguientes condiciones:

- existe una planta de energía térmica en la red de manera que la producción de energía estacional en el período de crecidas puede ahorrar el combustible de la planta de energía térmica;
- existen consumidores de energía estacionales dentro del campo de suministro de energía; aparte del bombeo eléctrico, también se produce una elaboración estacional. Si existen grandes consumidores como los hornos eléctricos para acero, aluminio y fertilizantes, carbonato cálcico, etc., la energía estacional se puede utilizar plenamente.
- integración de esa planta en la red general: la energía de potencia estacional se puede transmitir a la red general.
- reserva anual de regulación en la red: mientras la planta hidroeléctrica a filo de agua genera la potencia estacional, la planta dotada de un embalse de regulación anual depositará el agua en el embalse. Esto significa que el agua y la energía se compensan mutuamente.

Existen tres métodos para determinar la capacidad estacional:

i) Horas de funcionamiento anual para la capacidad adicional:

Con el fin de utilizar la energía estacional, se debe instalar la capacidad estacional. El costo de capital, los gastos generales, etc., aumentarán, sin embargo. La tasa de aumento de la producción estacional se reducirá cuando la instalación sea alta. En general, Δh_c se utiliza como índice de referencia para verificar la viabilidad del incremento de la capacidad estacional.

$$\Delta h_c = \frac{\Delta E}{\Delta N} \geq h_s \quad (\text{horas}) \quad (26)$$

donde ΔN = incremento de la capacidad instalada sobre la base de cierta capacidad instalada (kW)

ΔE = incremento de la producción de energía anual correspondiente a ΔN

Δh_c = horas anuales de funcionamiento de la capacidad adicional de acuerdo con la curva de duración de la producción diaria del caudal natural (horas)

Δh_s = horas de funcionamiento anual adoptadas de la capacidad adicional especificada por el departamento competente.

ii) Los años de reembolso de la inversión adicional:

La viabilidad de la capacidad estacional se puede examinar por medio del beneficio anual de la energía estacional. Es razonable si el desembolso se efectúa en un plazo de tres a cinco años.

iii) Las horas anuales de funcionamiento para la capacidad estacional:

Vienen indicadas por la fórmula siguiente:

$$h_c = \frac{\bar{E}_s}{N_s} \geq h_s \quad (\text{horas}) \quad (27)$$

donde \bar{E}_s = energía estacional

N_s = capacidad instalada estacional

h_c = horas de funcionamiento anual de la capacidad estacional calculada

h_s = valor especificado de las horas anuales de funcionamiento de la capacidad estacional, que está relacionado con la energía regional y las condiciones económicas y especialmente con los consumidores de energía estacional. En algunas regiones de China se recomienda que h_s sea igual a 1.800 - 2.500 horas ($2\frac{1}{2}$ - 3 meses).

Para las miniplantas hidroeléctricas rurales con una capacidad más bien grande, pero datos deficientes económicos y de carga, se proponen los siguientes métodos simplificados para seleccionar la capacidad instalada:

- a) La capacidad instalada es un múltiplo de la energía estable:

La energía estable de la planta hidroeléctrica se calcula primero y luego se efectúa un análisis de la composición de la red, las características de carga, los recursos hídricos y la utilización con fines múltiples, para determinar la capacidad instalada como un múltiplo de la energía estable

$$N_i = C N_G \quad (28)$$

donde C = razón de N_i a N_G ,

N_i = capacidad instalada;

N_G = energía estable.

En el cuadro 4-9 se dan los datos estadísticos empíricos de C en varias regiones a título de referencia.

Cuadro 4-9

Valor de C (capacidad instalada/energía estable)

| Carácter de la planta hidroeléctrica | | C | |
|---|--|--------------------------|---------|
| Minicentral hidroeléctrica rural (<500 kW) que se explota independientemente | | 1,5-3,5 | |
| Con un porcentaje elevado de energía hidroeléctrica en la red, y con depósito de regulación en la planta hidroeléctrica | Sólo para generación de energía | 2,0-3,5 | |
| | Principalmente para generación de energía y secundariamente para riego | 2,5-4,0 | |
| | Principalmente para riego | Instalaciones ordinarias | 3,0-5,0 |
| | | Instalaciones buenas | 2,5-4,0 |
| Con un porcentaje bajo de energía hidroeléctrica en la red | Únicamente para generación de energía | 2,5-4,5 | |
| | Principalmente para generación de energía y secundariamente para riego | 3,0-4,5 | |
| | Principalmente para riego | Instalaciones ordinarias | 3,5-5,5 |
| | | Instalaciones buenas | 3,0-4,5 |

b) La capacidad instalada se basa en las horas utilizadas al año:

La energía anual media E_a dividida por la capacidad instalada total N_i de la planta hidroeléctrica es el número de horas anuales de utilización h_a de esta planta. Su fórmula es la siguiente:

$$h_a = \frac{E_a}{N_i} \quad (29)$$

h_a es equivalente a las horas anuales de funcionamiento con carga plena e indica el grado de utilización del equipo mecánico y eléctrico.

En el cuadro 4-10 se indican los valores estadísticos empíricos de las horas anuales de utilización previstas utilizados en algunas regiones.

Debe mencionarse que los citados métodos a) y b) tienen su capacidad de adaptación. La adopción de esos métodos dependerá de condiciones concretas. Al utilizar los cuadros 4-9 y 4-10 es preciso tener en consideración los siguientes puntos:

- En las regiones ricas en recursos hídricos el valor elevado de las horas anuales de utilización previstas h_a y el valor bajo de C (relación entre la capacidad instalada y la energía estable) se seleccionarán en comparación con las regiones en que los recursos hídricos son escasos.
- En las zonas de clima continental en que la distribución del caudal de los riachuelos y ríos es irregular a lo largo del año, C debe utilizarse como el valor elevado y h_a , como el valor bajo.
- Si se dispone de varias centrales hidroeléctricas (con un almacenamiento regulador grande) en la red, la nueva planta hidroeléctrica prevista asumirá una carga bastante uniforme. En consecuencia, se propone un valor h_a alto y un valor C bajo, y viceversa.

Cuadro 4-10

Horas anuales de utilización previstas de la capacidad instalada (h)

| Carácter de la planta hidroeléctrica | | ha (previstas) | | |
|--|---|--------------------|-----------------------|----------------------|
| | | Tipo de regulación | | |
| | | A filo de agua | Almacenamiento diario | Almacenamiento anual |
| Planta hidroeléctrica rural (< 500 kW) | Producción agrícola y otras producciones e iluminación | > 4.500 | > 3.500 | |
| | Pequeña industria e iluminación de la ciudad | > 4.500 | > 3.500 | |
| Principalmente para bombeo y secundariamente para otros usos | | 5.000± | 4.500± | 2.500 - 4.000 |
| Con alto porcentaje de energía hidroeléctrica en la red | Usuarios industriales bastante importantes en producción continua | 5.000 - 6.000 | 5.000 - 6.000 | 4.000 - 5.000 |
| | Consumidor común | 5.000 - 6.000 | 4.000 - 5.000 | 3.500 - 4.000 |
| Con bajo porcentaje de energía hidroeléctrica en la red | | 4.500 - 5.500 | 3.500 - 4.500 | 3.000 - 4.000 |

- Cuando se da una gran variación en la red en el diagrama de carga diaria, si la carga de base y la carga mediana parcial son asumidas por la planta térmica y la planta hidroeléctrica de corriente, se seleccionará el valor bajo h_a y el valor alto C para la nueva planta hidroeléctrica prevista, y viceversa.
- En las plantas hidroeléctricas que utilizan el agua de riego (regulada por embalse) como su fuente, la energía estable de este tipo de plantas será más bien baja y la energía estacional más bien alta. En este caso se tomará un valor de C alto.
- Los valores de h_a y C de la planta hidroeléctrica no reguladora dependerán del grado de utilización de la energía estacional.
- Si existe una capacidad de reserva en esta planta hidroeléctrica prevista, se recomiendan un valor bajo de h_a y un valor alto C.

c) La capacidad instalada está ajustada por la unidad turbina-generador normalizada.

Sea cual sea el método adoptado para determinar la capacidad instalada, se deben tomar en cuenta la fabricación y el suministro del equipo mecánico y eléctrico. En algunos casos la instalación de una planta hidroeléctrica está determinada principalmente por la disponibilidad del equipo. Si se elige una unidad turbina-generador normalizada, la compra es fácil.

En cuanto al número de unidades de una planta hidroeléctrica, habitualmente si $N_i < 1.000$ kW, es preferible dos unidades; cuando $N_i = 1.000-3.000$ kW, se eligen dos o tres unidades. En la mayoría de las MCH el número de unidades es inferior a cuatro.

La capacidad de cada unidad suele ser igual o aproximada a la potencia estable. Si no se puede ofrecer una unidad adecuada, la capacidad de cada unidad debe ser por lo menos 1,6 veces la potencia estable.

En conjunto existen tres métodos simplificados para determinar la capacidad instalada de una planta hidroeléctrica. El primer método consiste en tomar la potencia estable como factor primario. Después de calcular la capacidad máxima de trabajo, la selección de la capacidad instalada se efectúa por análisis o es un múltiplo de la potencia estable. Una segunda forma consiste en seleccionar las horas anuales de utilización en relación con la carga de los recursos regionales de potencia y la capacidad de regulación de la planta. El tercer procedimiento estriba en ajustarse a las unidades turbina-generador normalizadas. En los trabajos prácticos de diseño de las MCH rurales (capacidad instalada inferior a 500 kW) las previsiones de energía hídrica serán lo más simples posible para evitar cálculos complejos.

C. Planta hidroeléctrica de regulación diaria

La planta hidroeléctrica de regulación diaria proporciona un almacenamiento regulador con la capacidad de redistribuir el caudal natural dentro de un día. El cálculo de la energía disponible y la producción media anual de energía de la planta hidroeléctrica de regulación diaria son básicamente los mismos que en una planta a filo de agua. Las diferencias son las siguientes: el alto nivel normal de las aguas arriba de la planta a filo de agua es una constante, mientras que el nivel de las aguas arriba de la planta reguladora diaria fluctúa entre el nivel normal y el nivel muerto de las aguas. El nivel medio de las aguas se utiliza para calcular la energía eléctrica.

En cuanto a la capacidad instalada de las MCH de regulación diaria, debido a la posibilidad de redistribuir el caudal natural dentro de un día, la producción de energía en 24 horas es igual a la energía producida por el caudal de entrada de ese mismo día. En consecuencia, la carga máxima puede ser superior a la producción media diaria y la capacidad instalada de trabajo máxima (para atender a las demandas de carga máxima) puede ser superior a la energía disponible del caudal natural.

A título de ilustración se utilizan los dos casos siguientes:

1. Generación concentrada de energía: en la figura 4-5 se hace un diagrama de una planta hidroeléctrica de regulación diaria. Su generación se concentra en h horas. En este caso, el caudal natural de entrada previsto de aguas bajas se concentra en h horas para la generación de energía. La descarga máxima en el tiempo de concentración es:

$$Q_{\max} = \frac{Q_G \times 24 \times 3600}{h \times 3600} = \frac{24}{h} \cdot Q_G \quad (30)$$

De ahí que la capacidad máxima de trabajo de la planta hidroeléctrica de regulación diaria sea

$$N_W = A Q_{\max} \quad H = A \cdot \frac{24}{h} Q_G H \quad (31)$$

donde N_W = capacidad de trabajo

N_G = energía disponible del caudal de entrada

Obviamente, con la misma posibilidad potencial prevista, la capacidad máxima de trabajo de la planta hidroeléctrica de regulación diaria es $\frac{24}{h}$ veces la de la planta hidroeléctrica sin regulación.

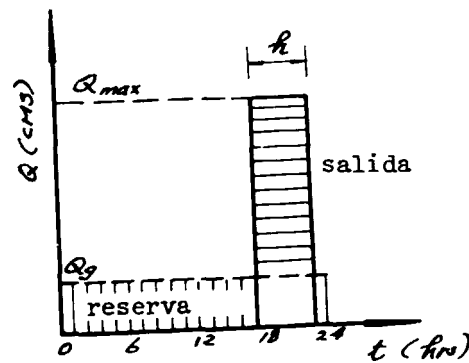


Fig. 4-5 Regulación diaria (a)

La superficie sombrada vertical de la figura 4-5 es el almacenamiento requerido para la regulación diaria. La fórmula es

$$\bar{V}_d = (1,10-1,15) \times Q_G (24-h) \times 3600 \text{ (m}^3\text{)}$$

donde 1,10-1,15 es el coeficiente de seguridad, teniendo en cuenta los datos insuficientes e incorrectos, así como errores de cálculo.

2. Intervalo de la explotación de la energía.

Al examinar las demandas de los consumidores de energía y de los consumidores de agua, el suministro de agua y de energía se divide en

varios intervalos según el caudal de entrada natural. El primer paso consiste en determinar el suministro de agua y de energía de los intervalos distintos del período de carga máxima y deducirlos del volumen del caudal de entrada diario. El agua restante se utiliza para el período de carga máxima. En consecuencia,

$$Q_{\max} = \frac{Q_G \times 24 \times 3600 - (\bar{V}_1 + \bar{V}_2)}{h \times 3600} \quad (\text{cms}) \quad (33)$$

La capacidad máxima de trabajo

$$N_W = A \cdot Q_{\max} \quad H = A \left[\frac{Q_G \times 24 \times 3600 - (\bar{V}_1 + \bar{V}_2)}{h \times 3600} \right] \times H \quad (34)$$

donde H = diferencia de salto entre el nivel medio de aguas arriba y el nivel de aguas abajo (que varía con la descarga correspondiente).

La zona sombreada de la figura 4-6 representa el almacenamiento requerido para la regulación diaria.

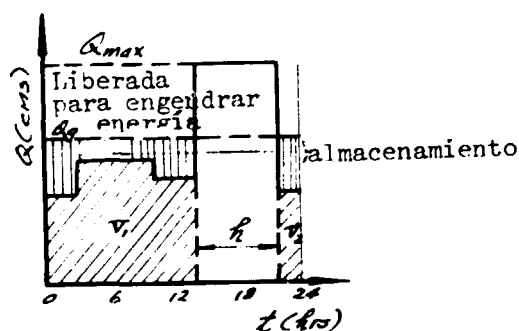


Fig. 4-6 Regulación diaria (b)

En cuanto a la capacidad de reserva y a la capacidad estacional, no existe una diferencia sustancial entre la planta a filo de agua y la planta de regulación diaria. La única diferencia es que, si la planta hidroeléctrica de regulación diaria tiene una capacidad bastante grande, está a escasa distancia del centro de carga y posee un conducto para agua corto, es posible considerar que esta planta es capaz de asumir una carga extra destinada a modular la frecuencia.

Cuando una planta hidroeléctrica importante de prefectura o de condado se está planeando, es mejor elaborar la curva típica de carga diaria prevista de la red y luego, por medio de la curva de masa de energía diaria, determinar la capacidad máxima de trabajo de dicha planta. La primera medida consiste en calcular el producto disponible diario E_G ($E_G = 24 N_G$) de acuerdo con la potencia disponible N_G . La segunda medida consiste en considerar la carga de la red y las características de las principales centrales eléctricas de la red también y decidir luego la situación en lo que respecta a la explotación (la carga que ha de asumir esta planta hidroeléctrica). Por último, la capacidad máxima de trabajo se determinaría como la diferencia entre la producción disponible diaria y la curva de carga diaria.

D. Plantas hidroeléctricas de regulación anual

Las plantas hidroeléctricas de regulación anual deben contar con un almacenamiento para llevarla a cabo. El caudal natural de entrada se redistribuirá dentro del año con el fin de satisfacer las demandas de energía y para otros fines.

El principio básico de regulación del caudal es el equilibrio hídrico en cualquier intervalo. La diferencia entre el caudal de salida y el caudal de entrada es la variación del almacenamiento del embalse en ese intervalo. Se muestra en la fórmula siguiente:

$$\Delta \bar{W}_N - \Delta \bar{W}_c - \Delta \bar{W}_\ell = \pm \Delta \bar{W} \quad (\text{m}^3) \quad (35)$$

donde $\Delta \bar{W}_N$ = caudal natural de entrada al embalse en ciertos intervalos (m^3)

$\Delta \bar{W}_c$ = caudal de salida del embalse durante el mismo período para suministrar agua al departamento pertinente (m^3) (incluida el agua desperdiciada en la estación de las crecidas)

$\Delta \bar{W}_\ell$ = pérdidas de agua en el embalse durante el mismo período (m^3)

$\pm \Delta \bar{W}$ = variación del almacenamiento en el mismo período.

Al calcular la regulación del almacenamiento, como se dan tanto el caudal natural de entrada como el consumo de agua, es fácil hallar el punto inicial y final del suministro de agua por el embalse y de ese modo se puede determinar la estación seca. Mediante la fórmula del equilibrio hídrico, el cálculo se

efectúa en intervalos de tiempo. De ese modo se puede calcular la deficiencia de agua de cada intervalo. La suma de las deficiencias de agua en la estación seca es el volumen total de agua que suministrará el embalse, es decir, el volumen requerido de regulación del almacenamiento.

En cuanto a la producción de energía hídrica del embalse cuya principal función consiste en generar energía o en servir para el riego (la energía y el riego son a la vez independientes y dependientes), su previsión se ha recomendado en diversos documentos y no se repetirá en el presente libro.

V. Tipo de MCH y estudio de un caso práctico

La capacidad para generar energía hidroeléctrica es proporcional al salto del agua y al caudal. En consecuencia, con el fin de obtener la energía hidroeléctrica, se debe determinar la diferencia de salto entre aguas arriba y aguas abajo de la planta hidroeléctrica.

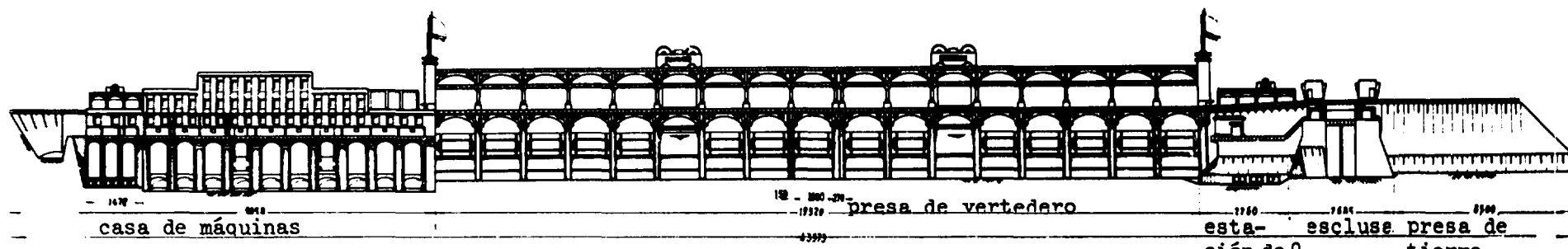
Según la forma de la concentración del salto, la planta hidroeléctrica se clasifica en tres categorías.

A. Planta "tipo presa": el salto se obtiene de la presa.

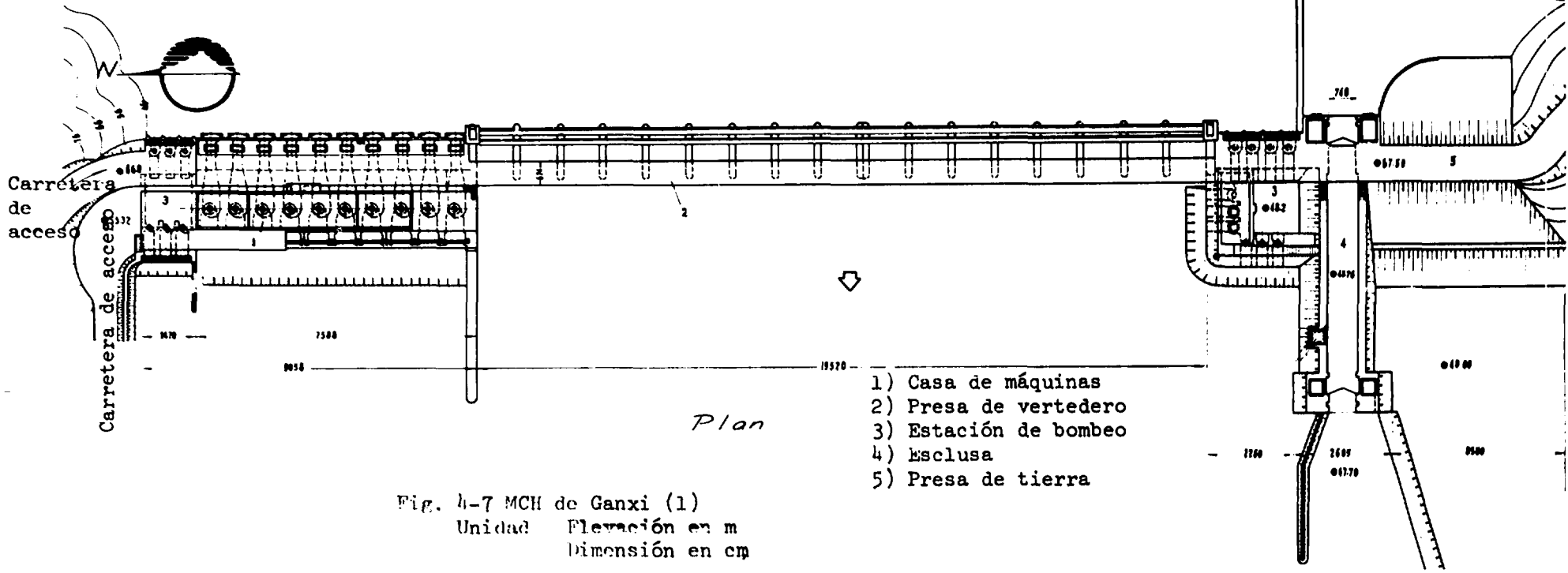
La construcción de una presa firme o móvil retiene el caudal del río y forma un embalse, al mismo tiempo que eleva el nivel de las aguas arriba. Por consiguiente, existe una diferencia de salto entre el nivel del embalse aguas arriba y el nivel del río aguas abajo. En la planta hidroeléctrica llamada de "tipo presa", el agua embalsada es conducida a la planta por medio de un túnel o tubería y la energía es generada por un turbogenerador. Sin embargo, según la disposición de las casas de máquinas de las plantas hidroeléctricas, éstas se pueden subclasificar en dos categorías: plantas hidroeléctricas que actúan como estructuras de retención del agua y plantas hidroeléctricas emplazadas aguas abajo de la presa.

1. Plantas hidroeléctricas que actúan como estructuras de retención del agua:

Las figuras 4-7 y 4-8 contienen un diagrama de la MCH de Ganqi, provincia de Hunán, planta hidroeléctrica construida en el lecho del río. La estabilidad de la estructura se mantiene por el peso combinado de la presa y de la casa de máquinas. La superficie de la cuenca hidrográfica es de 1.170 km^2 , lo que representa el 96% de



Elevación aguas arriba



Plan

Fig. 4-7 MCH de Ganxi (1)
 Unidad Elevación en m
 Dimensión en cm

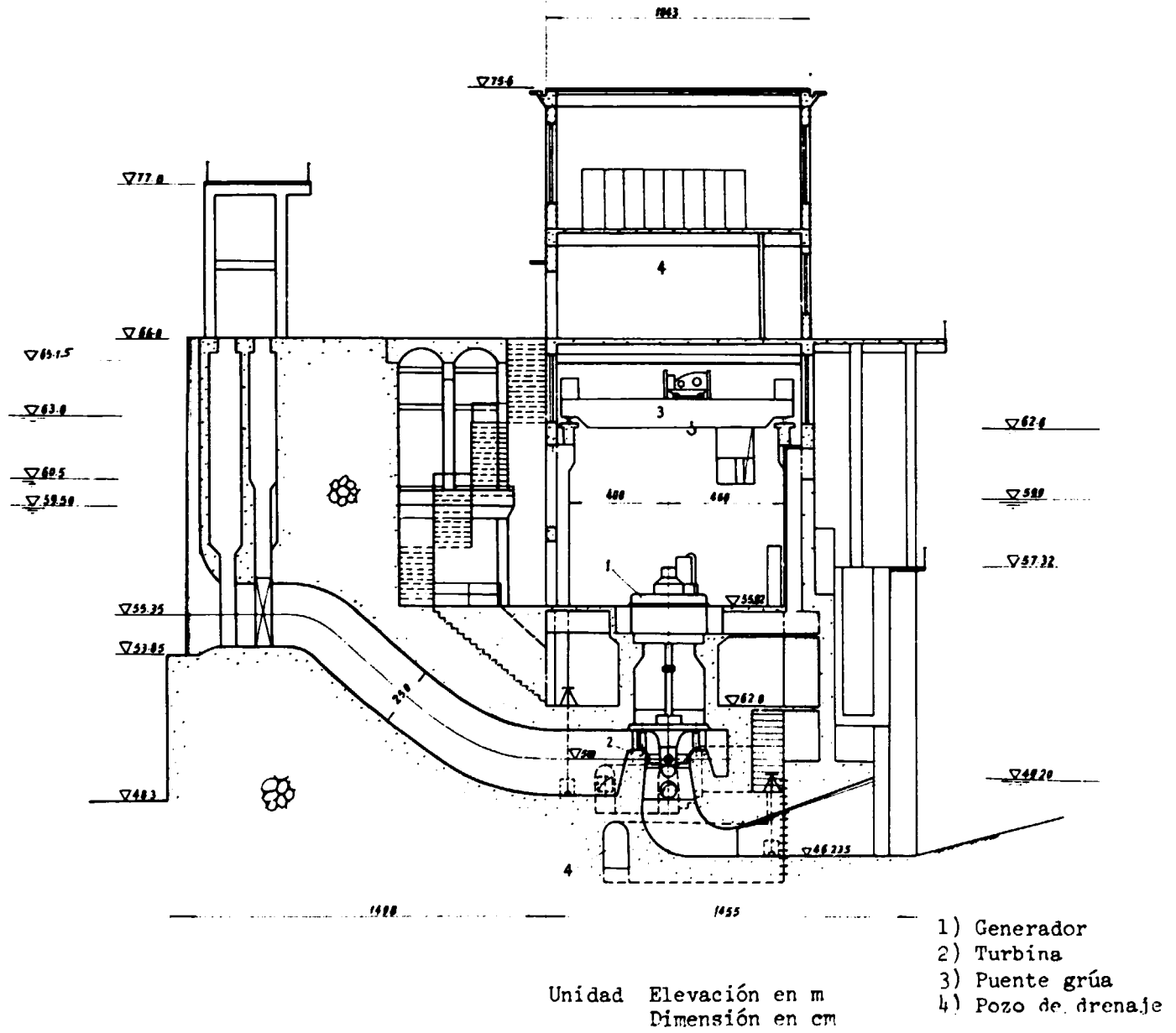


Fig. 4-8 MCH de Ganxi (2)

la cuenca del río Mi. Es un proyecto de conservación del agua con fines múltiples, a saber, para riego, generación de energía y para navegación. La altura máxima de la presa es de 20,5 m y la longitud de su eje, 454 m. La estructura hidráulica está compuesta de una estación de bombeo, una estación hidroeléctrica, una esclusa para la navegación, pasadizos de maderos y la presa. En la casa de máquinas se instalaron diez conjuntos de turbinas y generadores DJ 510-LH-180 con una capacidad total de 12.500 kW. El salto diseñado es de 10,5 m y la descarga es 160 cms. La producción media anual es de 76,8 millones de kWh. Esta MCH se integró en la red de la parte meridional de Hunán.

La figura 4-9 muestra la pequeña planta hidroeléctrica construida sobre el canal de irrigación principal de la zona de regadío Tukiangyen, provincia de Sichuan. Hay dos instalaciones de generador de turbina $H = 7$ m, $Q = 16$ cms, 2×320 kW y 1×125 kW. El 55% de la energía engendrada se utiliza para fines agrícolas y el 45% para fines industriales y consumo familiar en la ciudad cercana. Con el canal de fuga se riegan unos 300.000 mu de tierras de labranza.

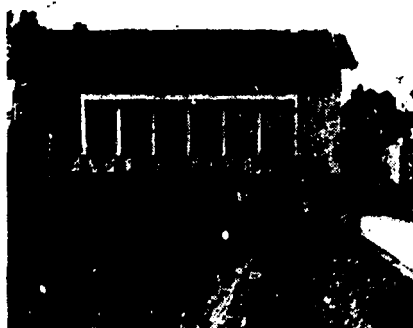


Fig. 4-9 Planta hidroeléctrica popular

2. Plantas hidroeléctricas emplazadas aguas abajo de la presa:

En las figuras 4-10, 4-11 y 4-12 se muestra la planta hidroeléctrica de Yanwotan, provincia de Hunán. La planta está situada en el banco derecho de la curva del río, aguas abajo. El agua se conduce a la central por un túnel de 3,5 m de diámetro. La cuenca del

emplazamiento de la presa tiene una superficie de 457 km^2 . El volumen medio anual de correntía es de 407 millones de m^3 y la capacidad de almacenamiento es de 87,6 millones de m^3 a nivel normal de aguas altas. El embalse tiene, pues, capacidad para una regulación anual.

Este proyecto está principalmente integrado por una presa excavada por gravedad con mampostería para detener el rebose, la casa de máquinas y un túnel. La extensión de la cresta a lo largo del eje de la presa es de 140 m y la altura máxima de la presa es de 66 m. Hay dos instalaciones HL 230-LJ-134, de 3.000 kW cada una, y una HL 123-LJ-140 instalada en la casa de máquinas con una capacidad total instalada de 9.200 kW. El caudal proyectado de las turbinas es de 12 y 12,6 m^3/s , respectivamente, y el salto máximo impulsor es de 50 m. La producción anual de esta planta hidroeléctrica es de 33,9 millones de kWh. Habida cuenta de la carga característica de la industria del condado y la plena utilización de la energía estacional, esta planta hidroeléctrica se puso en funcionamiento paralelamente a una pequeña planta térmica del condado de 3.750 kW. Durante la estación de las crecidas, la planta hidroeléctrica desempeña el papel principal, mientras que en el período de aguas bajas, la planta térmica se utiliza para complementar el suministro de energía. Este tipo de red de condado que incluye una planta hidroeléctrica y una planta térmica es bastante razonable. La planta hidroeléctrica de Yanwotan no sólo suministra energía al condado propiamente dicho, sino que también suministra la energía reactiva a la red de la Central de Hunán, mejorando así la calidad de la energía eléctrica.

La planta hidroeléctrica de Yunxiao, provincia de Guandong, aparece en la figura 4-13. La casa de máquinas está situada en la parte baja de la presa por gravedad sin aliviadero construida de mampostería concertada. El salto impulsor de esta planta hidroeléctrica es de 31 m y la instalación total es de 2 x 500 kW. El canal de fuga se utiliza para el riego.

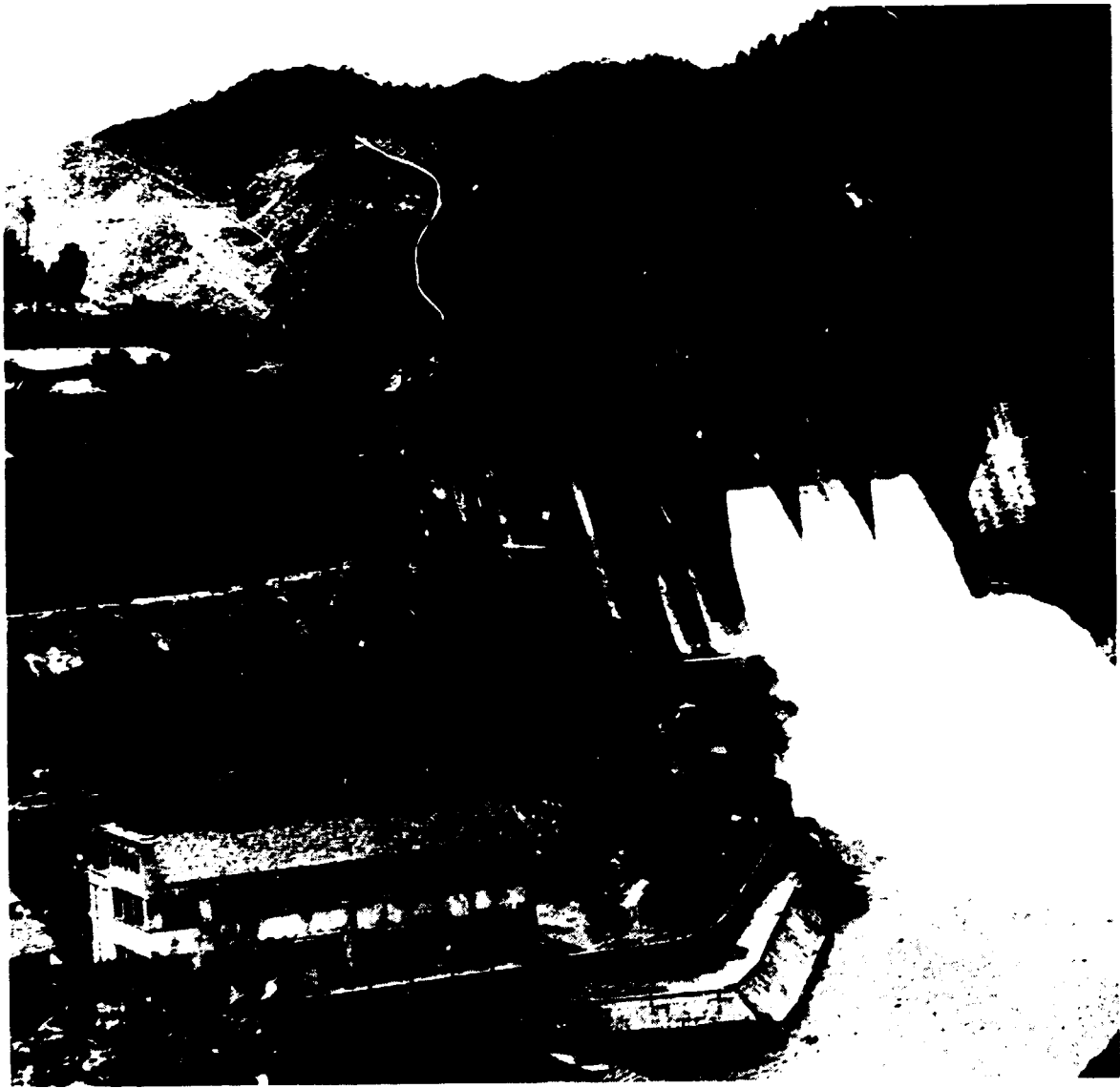


Fig. 4-10 MCH de Yanwotan

5
6
7
80
9
10

11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

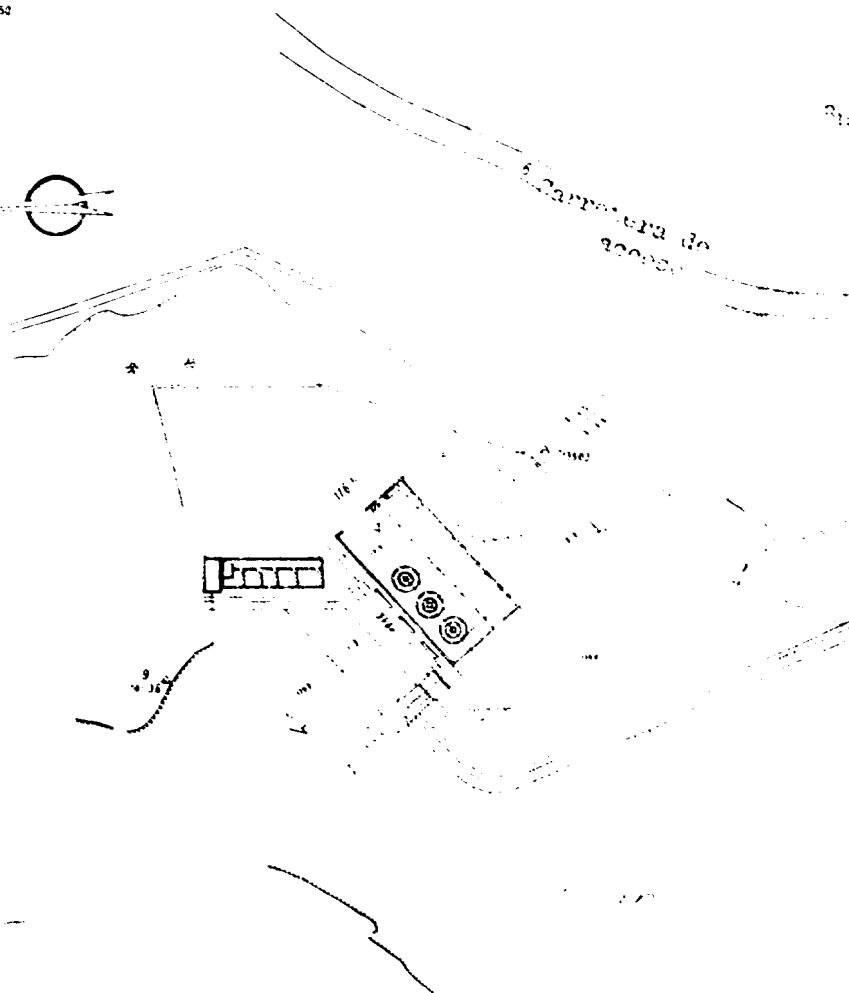
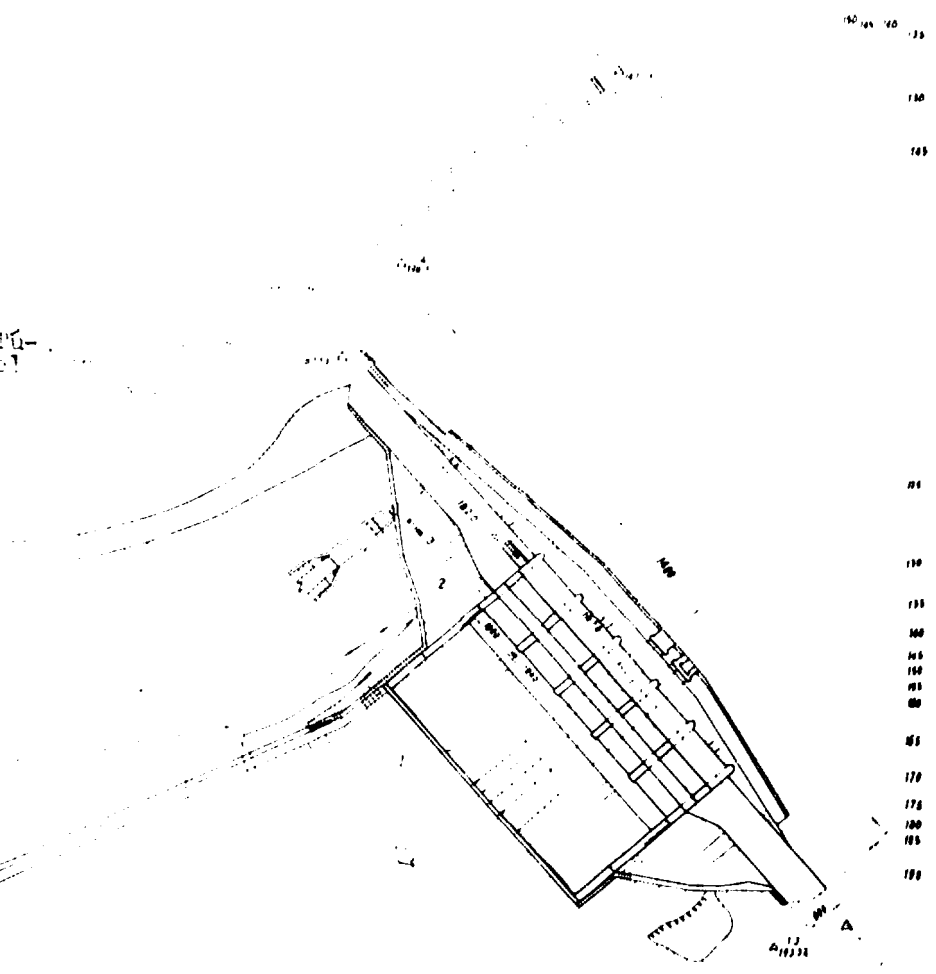


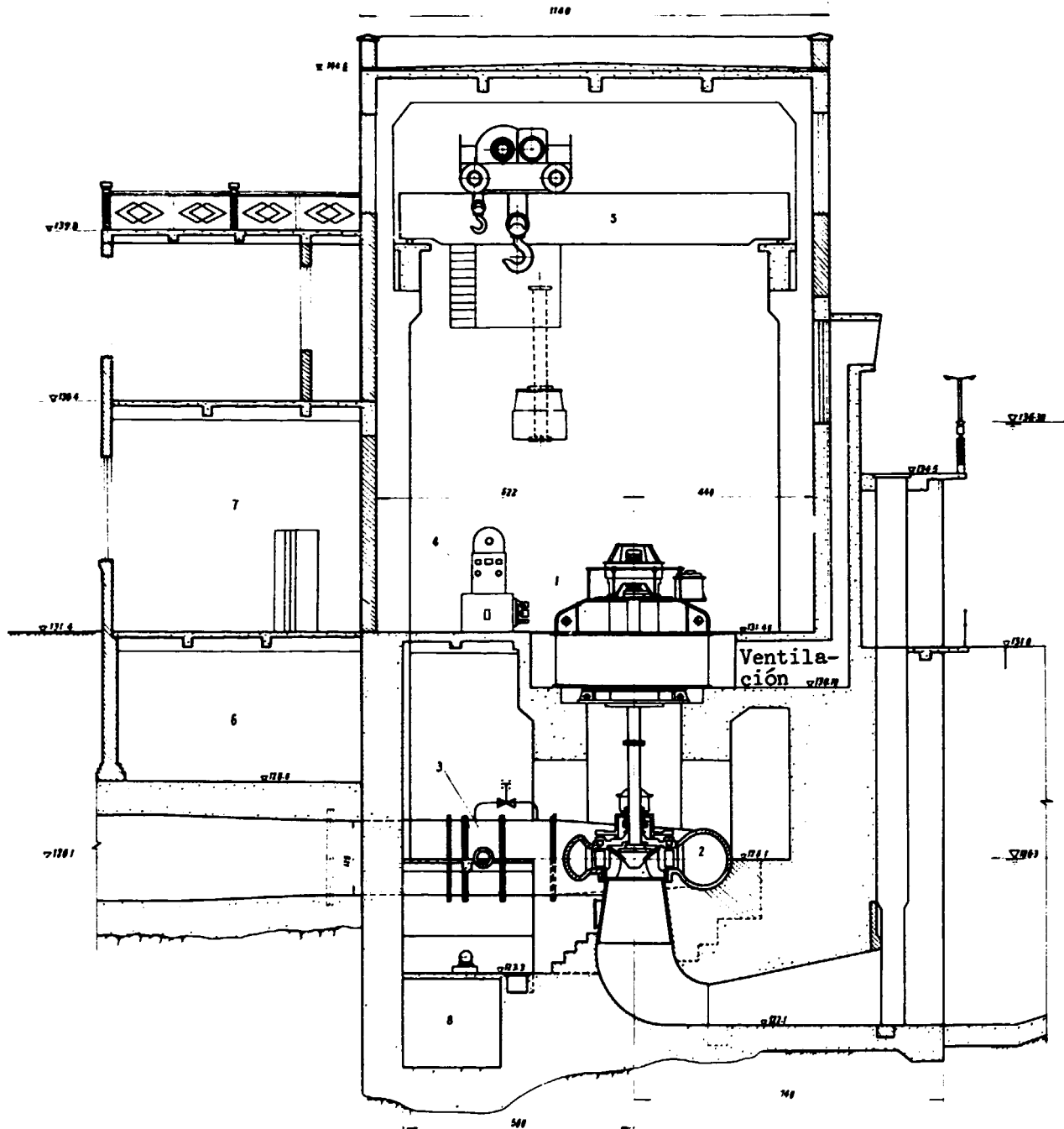
Fig. 4-11 NCH de Yanwotam (1)



1. Presa de gravedad
2. Presa no de vertedero
3. Conducto para el riego
4. Casa de máquinas
5. Patio de mandos
6. Carretera de acceso
7. Zanja de desagüe

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210

Unidad: longitud en cm
 altura en m



Casa de máquinas

Fig. 4-12 MCH de Yanwotan (2)

- 1. Generador
 - 2. Turbina
 - 3. Válvula de mariposa
 - 4. Regulador
 - 5. Puente grúa
 - 6. Sala de cables
 - 7. Sala de control
 - 8. Pozo de desagüe
- Unidad: elevación en m
dimensión en cm

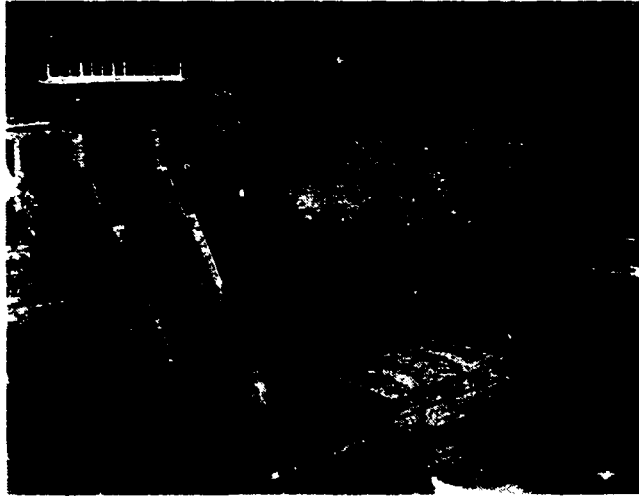
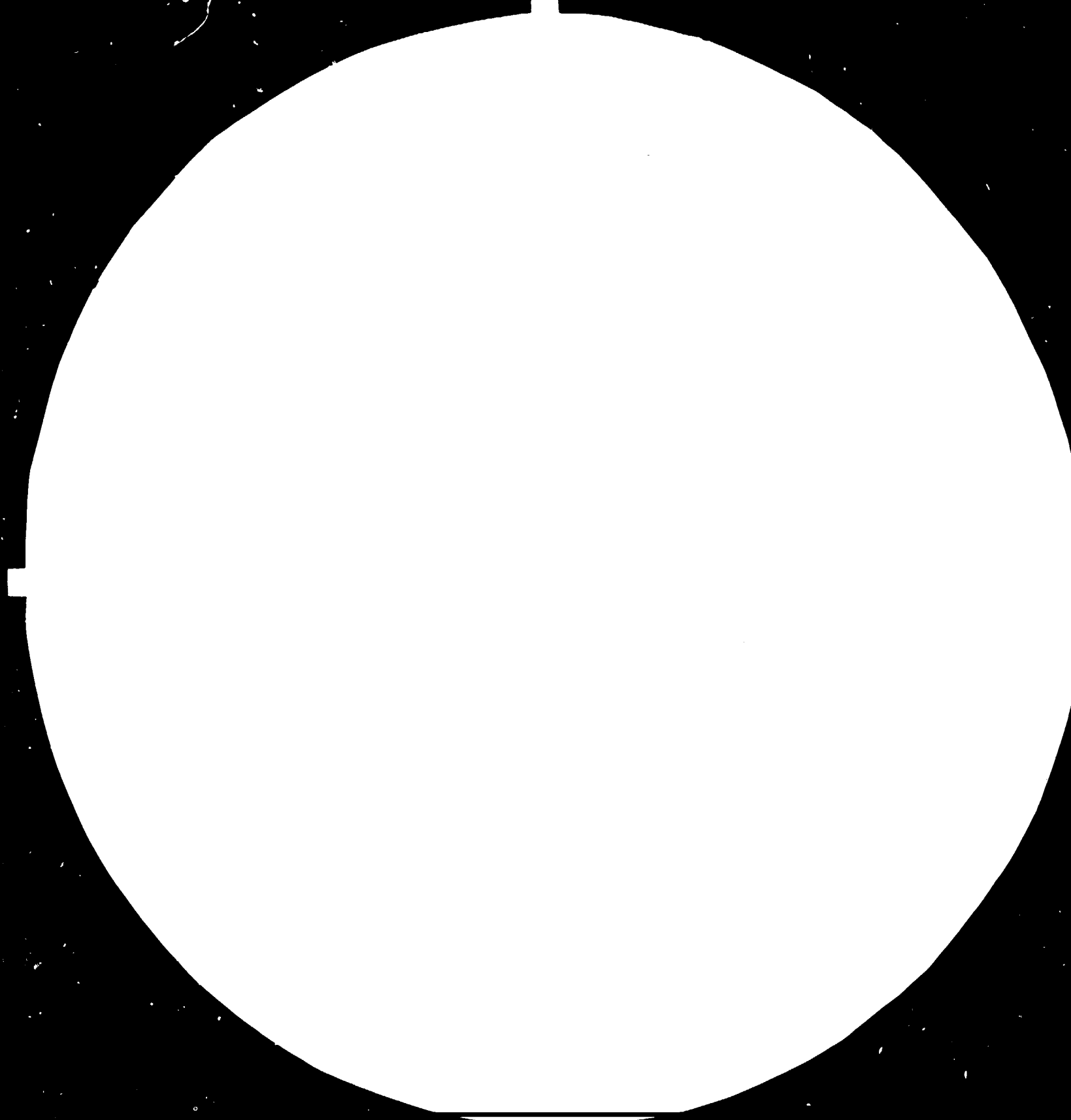


Fig. 4-13 MCH de Yunxiao

En las figuras 4-14 y 4-15 está representada la etapa I de la planta hidroeléctrica de la corriente Mei. La altura de la presa de tierra es de 47 m con una capacidad de almacenamiento de 65,5 millones de m³. La capacidad instalada de la planta eléctrica es de 4 x 1.250 kW. La planta eléctrica se encargó en 1962 y quedó terminada en 1967. El canal de fuga de la etapa I de la planta se puede utilizar para el riego de 100.000 terrenos de labor y también como la fuente de agua para las plantas hidroeléctricas de cascada de aguas abajo.

En general, las características especiales de las plantas hidroeléctricas de tipo "presa" son las siguientes:

- Montaje de presas y muros de contención móviles en el río para constituir el embalse y concentrar el salto. El embalse tiene una utilidad total. De tratarse de una MCH, el embalse se suele utilizar con fines múltiples, a saber, para el riego, la retención de las crecidas y la navegación.
- La casa de máquinas está ubicada bastante cerca de la presa. La conducción de agua es bastante corta y, por consiguiente, las plantas hidroeléctricas de esta categoría son adaptables a caudales utilizables más bien grandes.





2.5



3.2



3.6



4.0



4.5



5.0

5.6

6.3

7.1

8.0

MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

- Si se construye una presa alta para la concentración del salto de agua, las condiciones geológicas, la tecnología de la construcción de la presa y el reembolso del embalse se deben tomar en consideración.

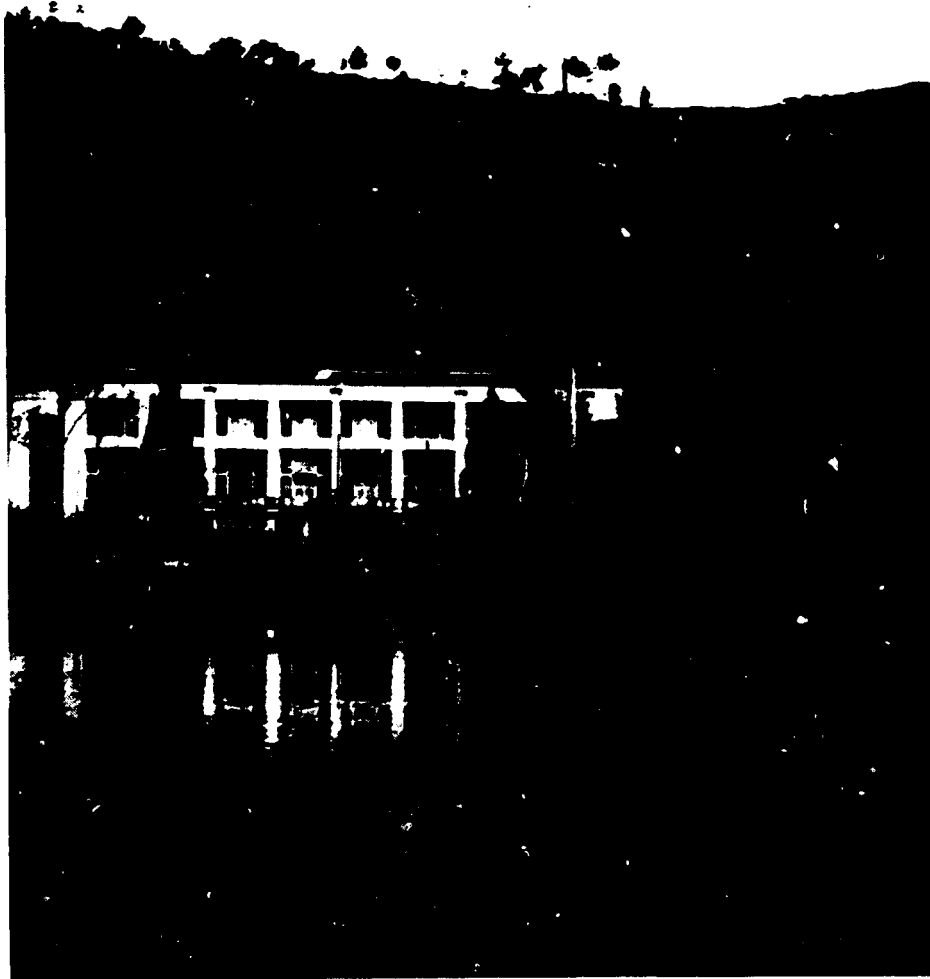
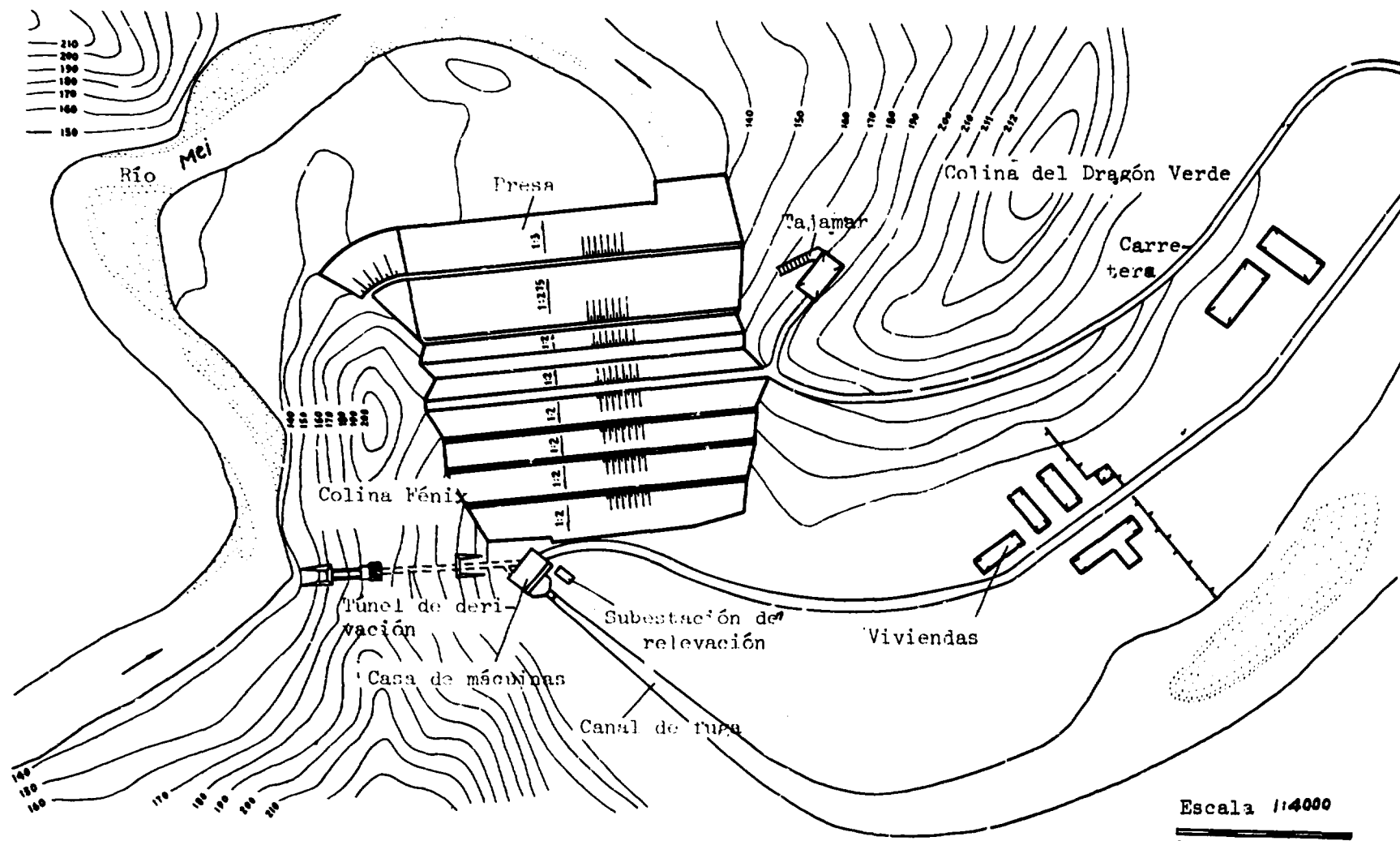


Fig. h-14 MCH de Meixi T



Disposición de la fase I
 Fig. 4-15 MCH de Meixi

B. Planta de "tipo derivación": el salto se obtiene por la estructura del conducto.

El salto de este tipo de plantas hidroeléctricas está constituido principalmente por una estructura de canal o conducto. Sobre el río se monta una compuerta o presa baja para derivar el caudal hacia el conducto, como un canal, túnel o tubería de presión, etc., y por último a la casa de máquinas. Este tipo de planta hidroeléctrica es adaptable a los tramos superior y medio del río cuando aguas arriba no es posible formar un embalse y el tramo de río abajo contiene algunas rápidas, caídas de agua o recodos.



Fig. 4-16 MCH Doble Dragón

En la figura 4-16 puede verse la planta hidroeléctrica del Doble Dragón. Para derivar el agua de las tres fuentes constituidas por el manantial de "Doble Dragón", el embalse Lotien y el embalse de Nueve Dragones se construyó un canal de 2.600 m. Ese canal está conectado por una tubería de presión de 0,45 m de diámetro y 407 m de extensión a la planta eléctrica. El salto es de 196 m. La capacidad instalada es de 512 kW y el caudal utilizable es de 0,6 cms.

En la figura 4-17 está representada la etapa III de la planta hidroeléctrica de Baizhangtan, provincia de Hubei. La extensión del canal de derivación es de 2,800 m. El salto disponible es de 66,5 m. El caudal utilizable es de 2,7 cms. En la planta están instalados un conjunto de 800 kW y 1-500 kW (el mismo modelo de turbina HL 702-WJ-50). La producción anual de esta planta eléctrica es de tres millones de kWh.

La figura 4-18 muestra la planta hidroeléctrica de Qinton, provincia de Guangdong. Esta planta es una estación eléctrica trascendental del condado con una capacidad instalada de 3 x 1.600 kW. La descarga disponible es de 1,6 cms por cada unidad. La extensión de las estructuras de transmisión, incluidos los túneles, los canales de derivación y las tuberías de sifón invertido pretensadas, es de 23 km. El salto disponible es de 142 m. Las tuberías de presión de esta planta hidroeléctrica son de hormigón pretensado y tienen un diámetro de 0,8 m.

En diversas provincias de China existen también ciertas plantas hidroeléctricas con elevados saltos de agua que superan los 200 m. Por ejemplo, en la planta hidroeléctrica de Huangtonjiang, provincia de Guangdong, el salto de agua es de 218 m y la descarga es de 1,5 cms. La capacidad instalada es de 3 x 800 kW. Las tuberías de presión son tuberías de hormigón pretensado. En la planta hidroeléctrica de Lantong, región autónoma de Guangxi Zhuang, el salto de agua, que es de unos 430 m, está concentrado por un canal con una extensión de más de 2,8 km. La extensión de la tubería de presión es de 1.100 m y el caudal utilizable es de 3 cms. La capacidad instalada total es de 3 x 3.200 kW.



Vertical text on the right side of the page, possibly a page number or reference code.

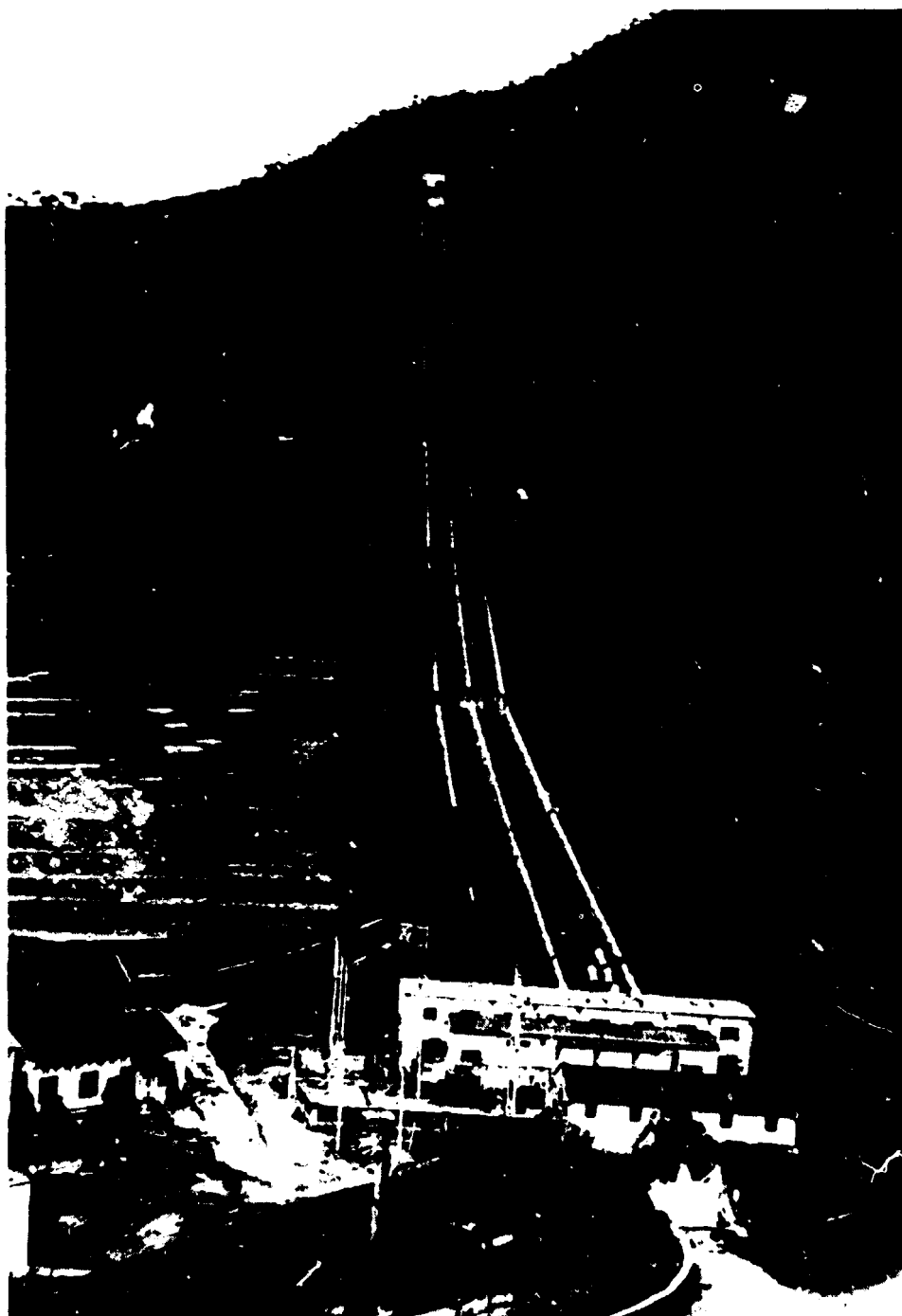
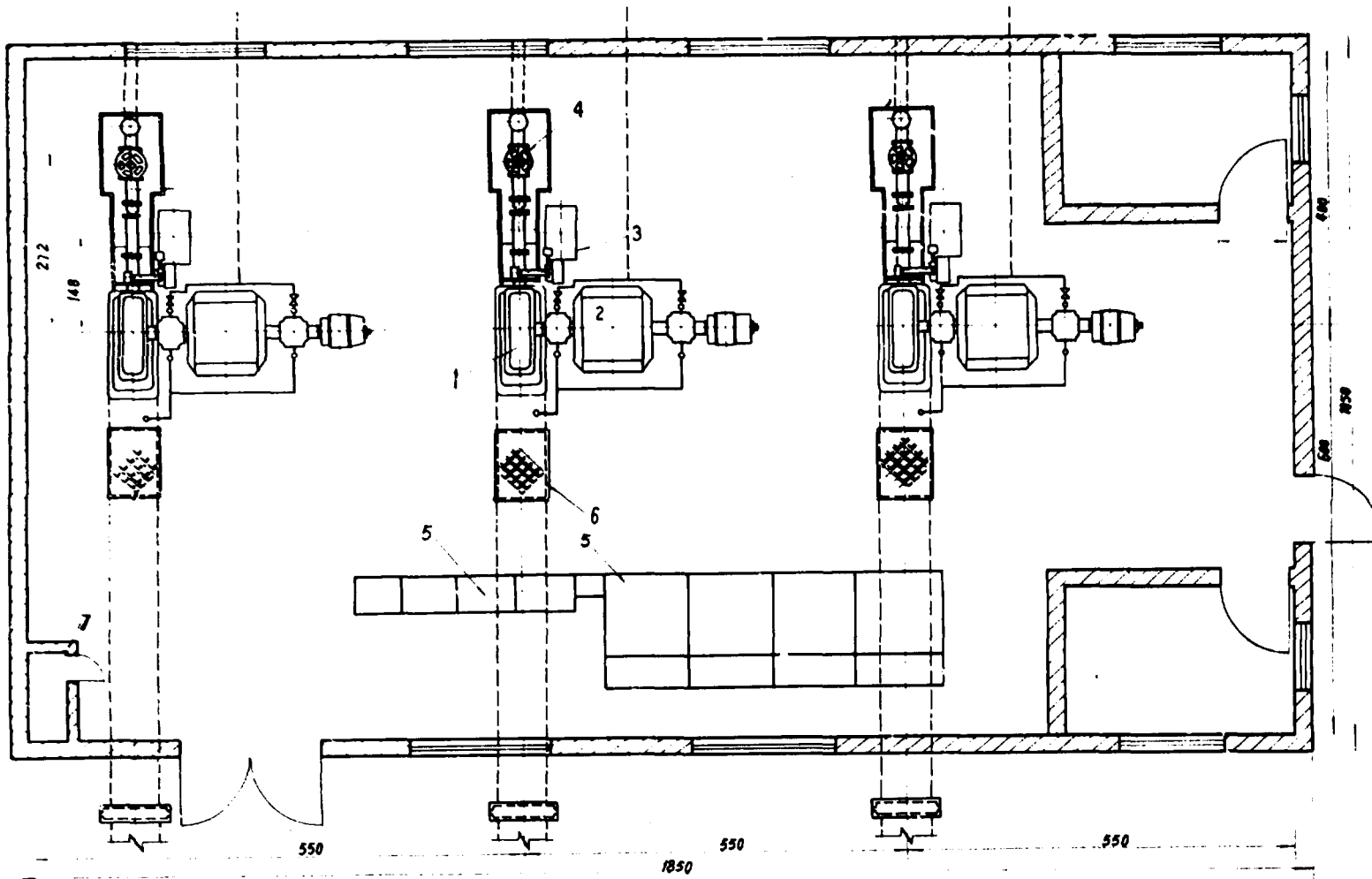


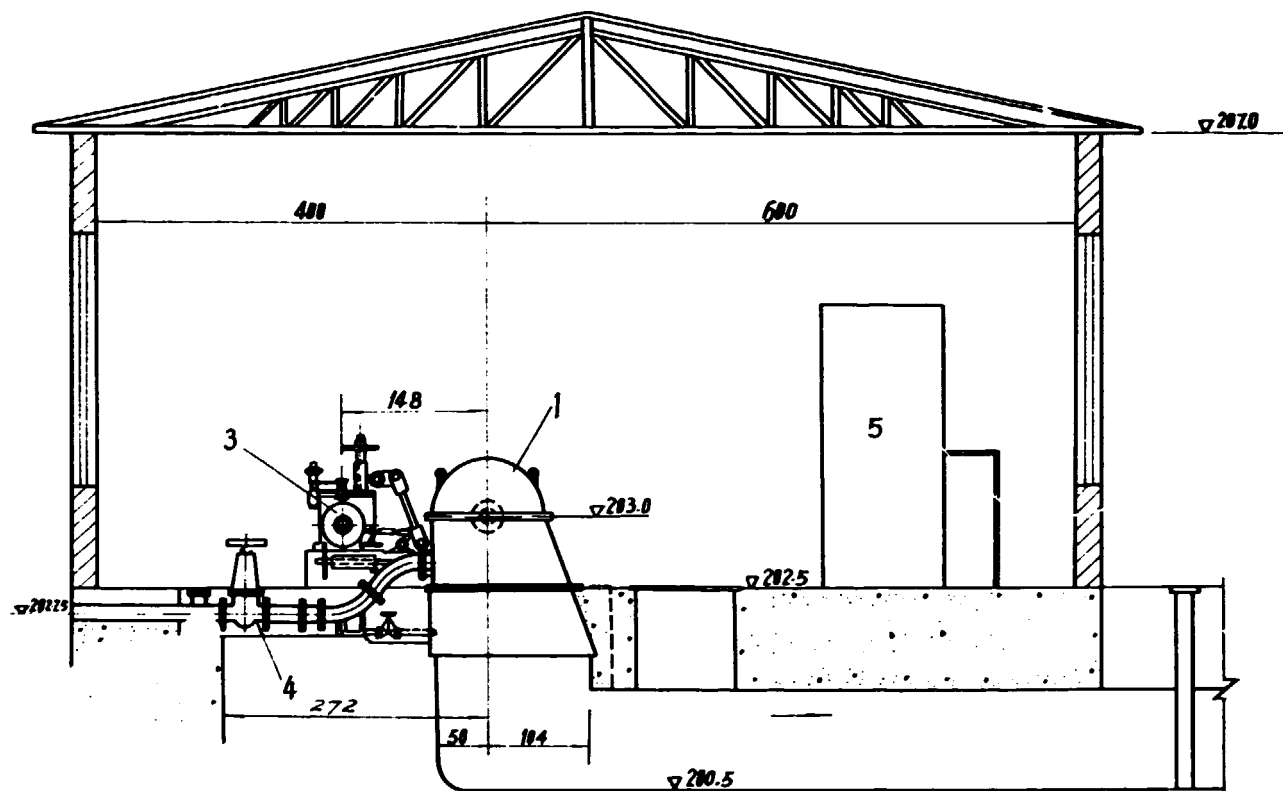
Fig. 1-18 MCH de Qingtong



- 1) Turbina
- 2) Generador
- 3) Regulador
- 4) Válvula de alta presión
- 5) Tablero de control
- 6) Boca de acceso
- 7) Sala de batería

Plan

Fig. 4-19 MCH de Chongshan (1)
 Unidad: elevación en m
 dimensión en cm



Sección transversal

Unidad: Elevación en m
Dimensión en cm

Fig. 4-20 MCH de Chongshan (2)

Las figuras 4-19 y 4-20 muestran la planta hidroeléctrica de Chongshan, provincia de Hunán. El salto de agua utilizable es de 612 m, y es el más alto de las MCH de tipo "derivación" en China actualmente. La cuenca fluvial del lugar de la presa es de sólo 4,18 km² y la capacidad efectiva de almacenamiento del embalse es de 2,5 millones de m³. La extensión del canal es de 1.045 m y la extensión de las tuberías de presión (de 35 cm de diámetro) es de 1.446 m. Existen dos unidades de generador y turbina de impulso CD10-WJ-90/1 CE10-WJ-90/1 instalados actualmente en la casa de máquinas. La capacidad de cada unidad es de 500 kW y el caudal utilizable es de 0,12 cms cada uno. La producción anual media es de 4,17 millones de kWh. De esta producción el 69% se utiliza para fines agrícolas y el 31% para la pequeña industria y la elaboración de productos agrícolas secundarios.



Fig. 4-21 MCH de Qing Yuan

La figura 4-21 es una foto de la MCH de Qing Yuan, provincia de Fujian. La extensión del canal de transmisión es de 8 km. La concentración del salto es de 46 m. El caudal utilizable de esta planta es de 2,6 cms. En esta casa de máquinas hay instaladas tres unidades de 265 kW.

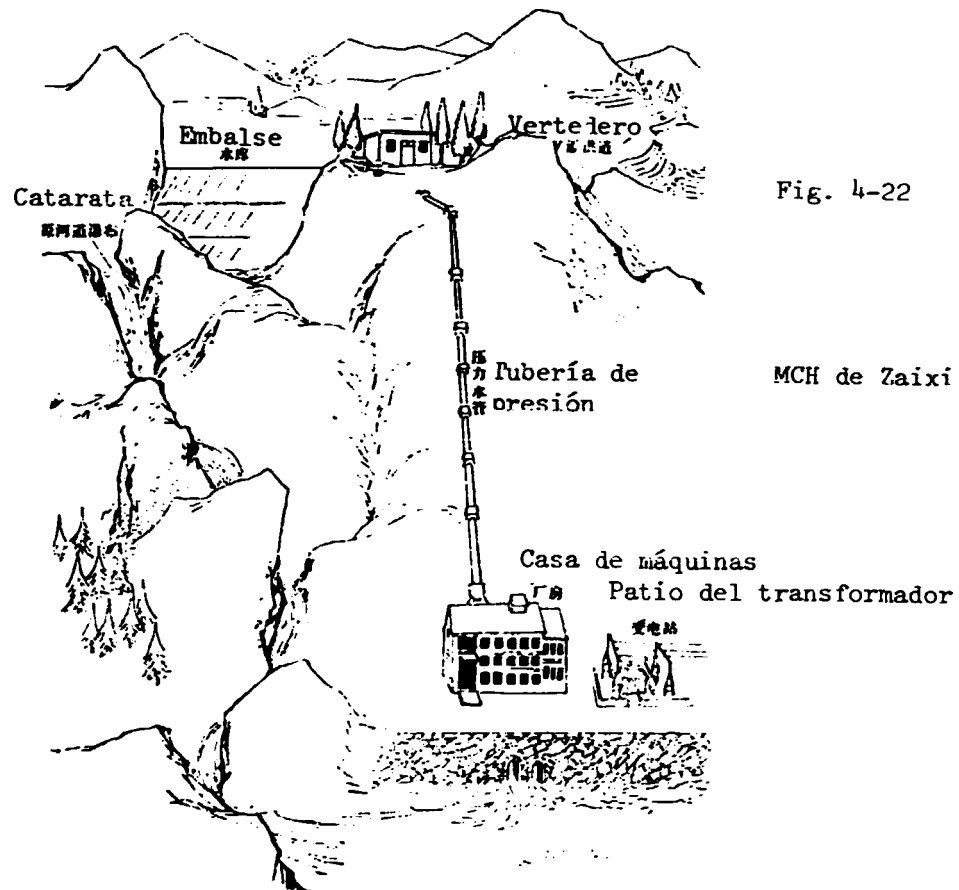
En general las características especiales de la MCH de "tipo derivación" son las siguientes:

- En las regiones montañosas, si la topografía es favorable, se puede concentrar un gran salto de agua conduciéndolo a una breve distancia. La presa baja o de compuertas a la entrada del canal ocasiona la escasa cantidad de las aguas del embalse.
- No se cuenta con aguas embalsadas para la regulación; el caudal de entrada de los riachuelos entre la presa y la central hidroeléctrica no puede utilizarse para generar energía.

C. Las plantas de "tipo compuesto": En algunos casos el salto de la planta hidroeléctrica se obtiene parcialmente de la presa y parcialmente del conducto. Este es el tipo llamado "compuesto" de planta. En las regiones montañosas la mayor parte de las plantas de tipo "compuesto" sirven para retener la crecida y para riego, con excepción de unas pocas plantas hidroeléctricas previstas exclusivamente para engendrar energía. La planta hidroeléctrica de Zaiqi, provincia de Fujian, está dibujada en la figura 4-22. La planta está situada cerca de la catarata Wuyantou. Encima de la catarata se encuentra un amplio valle y un nivel plano que favorecen el embalse de las aguas, pero debajo de la catarata el río tiene una fuerte inclinación. La disposición del proyecto es la siguiente: en la parte superior de la catarata se construyó una presa de tierra. La altura de esa presa es de 17,2 m y la capacidad del embalse efectiva es de tres millones de metros cúbicos. La casa de máquinas está situada en la parte inferior de la catarata. La estructura de transmisión es un túnel de 130 m de largo con una pendiente en la parte inferior $i = 7,7\%$ y una tubería de presión de 418 m de extensión. El salto total de esta estación hidroeléctrica de tipo "compuesto" es de 240 m. El caudal utilizable es 2,1 cms y la instalación total es de 2×2.160 kW. La principal finalidad de esta planta hidroeléctrica es la generación de energía. El agua de salida puede utilizarse para el riego y la crecida puede reducirse en cierta medida aguas abajo.

En conjunto, desde el punto de vista de la concentración del salto, las plantas hidroeléctricas con una presa o con un conducto constituyen las dos categorías fundamentales. Las plantas hidroeléctricas de tipo "compuesto" son una combinación de esas dos categorías fundamentales. Cuando existen caídas de aguas, rápidos, descensos en el canal, recodos de río, lagos en

tierras altas o derivaciones entre cuencas fluviales, suelen ser preferibles las plantas hidroeléctricas con un conducto o las de "tipo compuesto", que se describirán en la sección D que sigue.



D. Diversas formas de explotación de la energía hídrica

1. Utilización de las caídas de agua:

Las caídas de agua son la concentración de un salto natural. Normalmente las caídas tienen pequeñas variaciones de caudal dentro del período de un año y son un potencial hídrico ideal para la explotación.

En la provincia de Yunnan, se explota una catarata de 40 m para engendrar energía. La planta hidroeléctrica de Dishin cuenta con una instalación total de 3.250 kW.

En el condado de Tongchen, provincia de Hubei, hay varias cataratas cerca de Paizhantan. Después de la construcción de un conducto de 400

a 500 m, el salto concentrado es ahora de 140 m aproximadamente. Las plantas hidroeléctricas que utilizan cataratas son de bajo costo y ocasionan menos trabajo, por lo que constituyen una solución preferible.

2. Utilización de los rápidos y de los descensos naturales:

En las regiones montañosas son frecuentes las corrientes rápidas (varios metros o incluso más) o descensos naturales a lo largo de una corriente o río. Estos rápidos o descensos naturales pueden explotarse para producir energía. Si el caudal del río es abundante y la topografía favorable, sólo se requiere una presa baja para derivar el agua sin recurrir a una presa propiamente dicha, como se muestra en la figura 4-23. Se deberían adoptar medidas adecuadas para proteger la casa de máquinas y el canal de las crecidas.

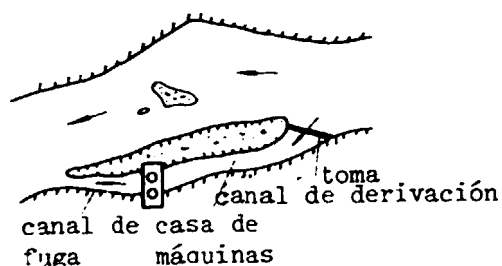


Fig. 4-23 Utilización de un rápido

3. Utilización de los descensos de los canales:

La figura 4-24 representa la planta hidroeléctrica de la provincia de Guangdong, que se utiliza para el riego por medio de descensos. La disposición de la casa de máquinas y del descenso del canal están separadas. Esta disposición es la de una planta hidroeléctrica construida sobre un sistema de riego existente en que se utilizan los descensos a lo largo del canal. Todas las estructuras existentes se pueden utilizar solamente si se construye pronto una nueva casa de máquinas. Este método de explotación de la energía reduce el costo considerablemente.

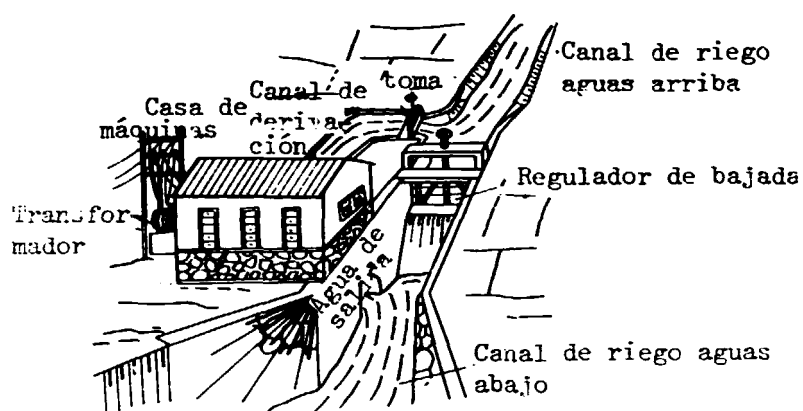


Fig. 4-24 Disposición separada de la casa de máquinas y el descenso

Las figuras 4-25 y 4-26 representan las plantas hidroeléctricas del canal de Mimyun-Beijing. Este canal transporta el agua del embalse de Mimyun a Beijing. En un tramo de 30 km existen ocho descensos. El potencial hídrico total es de 35 m. El potencial hídrico de esos ocho descensos se combina en cinco etapas para la explotación, produciendo una capacidad total instalada de 11.400 kW.

En el cuadro 4-11 se indica el salto de agua utilizable y la capacidad instalada de esas cinco MCH.

Cuadro 4-11

Capacidad instalada de las estaciones de cascada del canal Beijing-Mimyun

| CONCEPTO | Planta hidroeléctrica | | | | |
|---------------------------|-----------------------|-------|---------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | V |
| Salto neto utilizable (m) | 6,5 | 4,7 | 6,5 | 4,7 | 4,5 |
| Capacidad instalada (kW) | 3x1.000 | 3x600 | 3x1.000 | 3x600 | 3x600 |

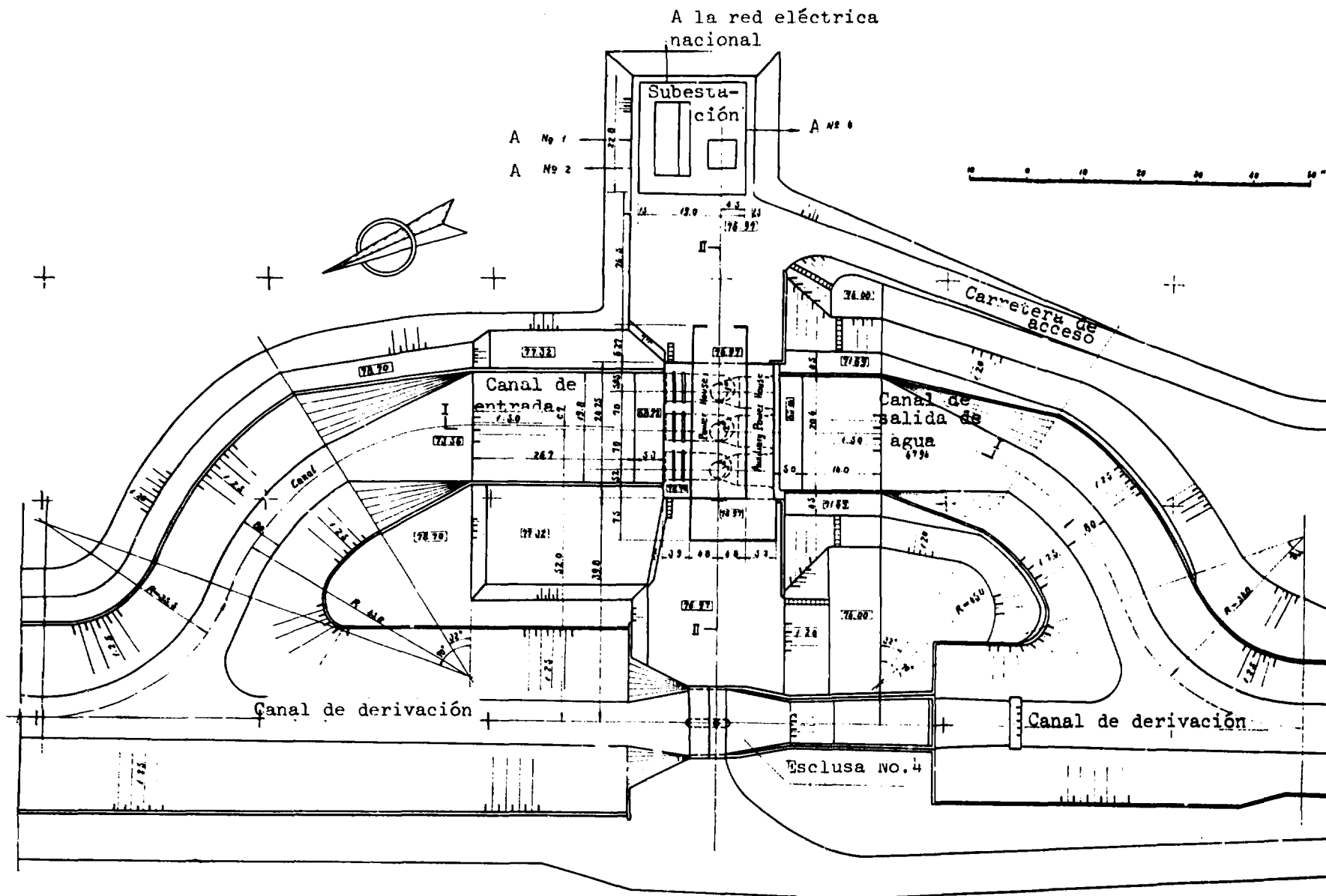
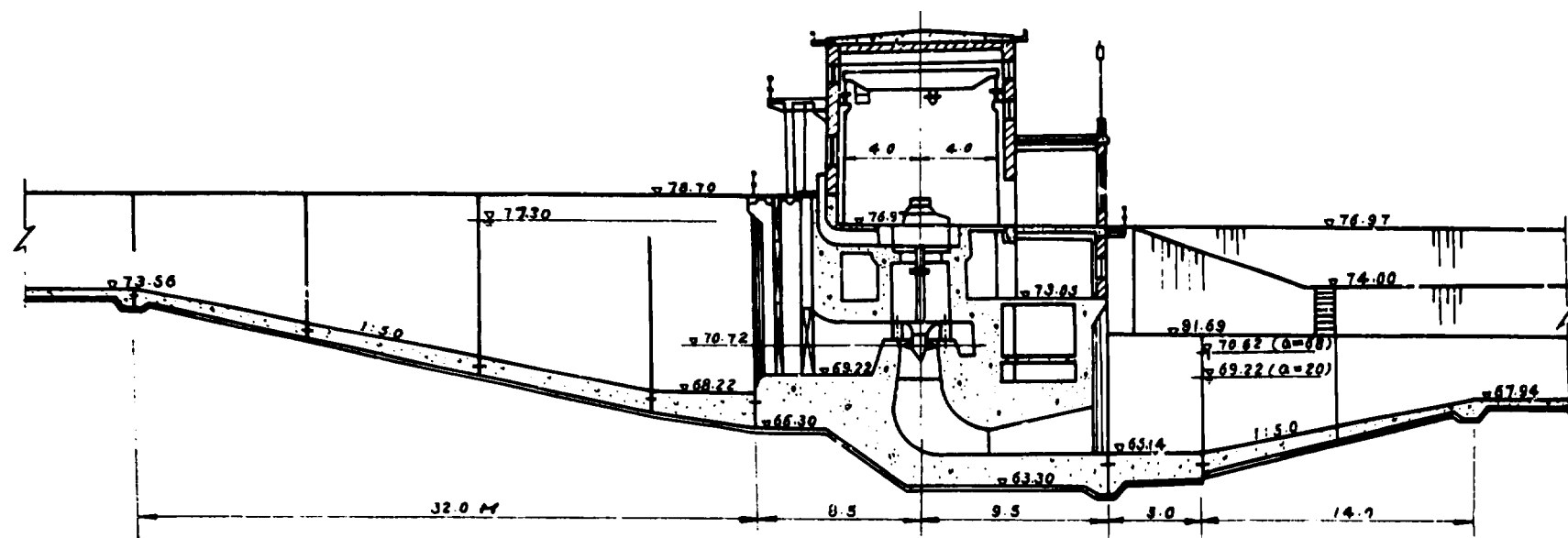


Fig. 4-25 Plan de la Central hidroeléctrica No. 3 sobre el canal Beijing - MIMYUN



Sección transversal I - I

Fig. 4-26 MCH sobre el canal Beijing-Minyun

Con el fin de minimizar los tipos de turbinas de agua necesarias y el número de conjuntos y los niveles de potencia de esas cinco estaciones, el modelo de turbina de agua ZD 760-LH-200 se ha adoptado en las cinco centrales: turbinas con un salto utilizable de 6,5 m acopladas a un generador de 1.000 kW (250 rpm) y turbinas con saltos utilizables de 4,5 m acopladas a generadores de 600 kW (214,3 rpm)

A partir de un volumen anual de caudal de 500 a 700 millones de metros cúbicos, la producción anual de esas cinco centrales se calcula en 28 a 39,4 millones de kW.

4. Utilización de los recodos de los ríos:

En algunas zonas montañosas son muy frecuentes los valles y los recodos de los ríos. En algunos casos los recodos se asemejan a un aro y la pendiente del río es bastante fuerte. Recurriendo a un corto conducto, el salto de agua se puede utilizar para engendrar energía.

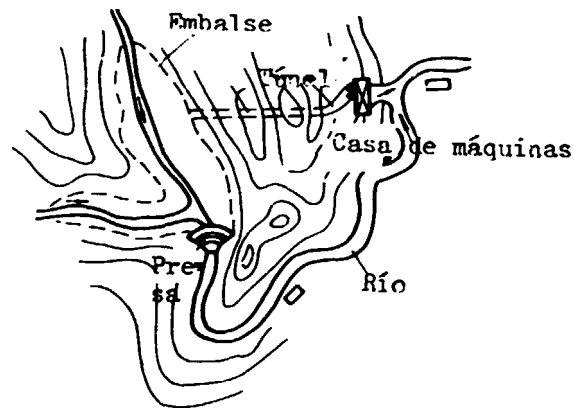


Fig 4-27 MCH de la vía de agua

En la figura 4-27 aparece un esquema de la planta hidroeléctrica de la vía del agua del condado del Dragón Verde, provincia de Hebei. La extensión del recodo del río explotado es de 7 km y se ha construido un corto túnel a través de 1.580 m de extensión. La concentración del salto es de 85 m. La instalación total es de 1.375 kW. Se trata de una planta hidroeléctrica fundamental en el condado del Dragón Verde.

5. Derivación del agua en cuencas transfluviales:

En algunos casos, particularmente en regiones de colinas o de redes de ríos, la distancia entre los dos ríos o canales no es grande, pero existe un salto de agua. La derivación de agua en cuencas transfluviales se puede tomar en consideración como una fuente de generación de energía. Por ello, las aguas de salida fluyen río abajo hacia el río inferior. El caudal del río superior se reducirá y el del río inferior aumentará. La secuencia del caudal de entrada y del caudal de salida entre el río superior y el río inferior debe estudiarse de manera global teniendo en cuenta las necesidades de riego, navegación, suministro de agua, etc. en la región de aguas abajo. También se necesita un análisis técnico económico.

La planta hidroeléctrica de Datan, provincia de Guangdong, es un ejemplo de esa derivación de aguas en cuencas transfluviales. Se han construido un túnel de 80 m y un canal de 200 m para derivar el agua del río Datan a un riachuelo inferior. El salto disponible es de 210 m. La capacidad instalada total es de 640 kW, como se indica en la figura 4-28.

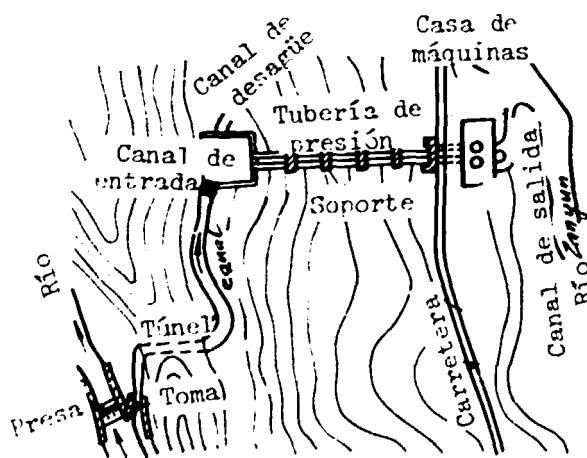


Fig. 4-28 MCH de Datan

6. Utilización de los lagos de tierras altas:

Si existe un río o un lago cerca de un lago de tierras altas, la energía potencial se puede explotar derivando las aguas de arriba hacia el río o el lago inferior para engendrar energía.

7. Utilización de la energía de las mareas:

China posee un largo litoral y muchos estuarios. Hay muchos lugares donde es factible utilizar la potencia de las mareas. Este tipo de planta hidroeléctrica tiene características especiales; salto bajo y gran caudal, pero es difícil de construir, lo que provoca gastos de construcción superiores. Actualmente en China sólo están en funcionamiento unas pocas de esas plantas de energía de las mareas:

- La planta hidroeléctrica de Dalain, condado de Shunde, provincia de Guangdong: capacidad instalada de 144 kW.
- La planta hidroeléctrica de Kaotan, condado de Xiangshan, provincia de Zhejiang: salto de unos 4 m. El caudal proyectado es de 8,5 cms; capacidad instalada de 275 kW.
- Planta hidroeléctrica de Jing gong, condado de Rushan, provincia de Shandong: capacidad instalada de 165 kW.
- Planta hidroeléctrica de Liuho: la energía es generada por las mareas del estuario del Yantze y tiene una capacidad instalada de 80 kW.

En conjunto, la energía generada por estas plantas experimentales de mareas es reducida.

La primera planta de energía mareal experimental con una generación de dos direcciones se encargó recientemente (la instalación N^o 1). Esta central de energía mareal está situada en la terminal de la bahía Luoqi, condado de Wenling, provincia de Zhejiang, donde el potencial de marea es abundante con un salto máximo de 8,93 m. Se proyecta instalar una unidad turbina-generador de 6 x 500 kW.

8. Intercepción de aguas subterráneas o captura de manantiales para generación de energía hidroeléctrica:

En el condado de Liyang, provincia de Jiangsu, un equipo de producción excavó lagunas artificiales en una superficie de 50 hectáreas aproximadamente con el fin de reunir caudal de los riachuelos y arroyos. El caudal acumulado durante el día se utilizará para la generación de energía durante la tarde. La MCH es de 3,2 kW. El salto para la generación de energía es de 8 m.

En el condado de Nixing, provincia de Jiangsu, se construyó un muro de piedra y mampostería para retener los caudales subterráneos y elevar el nivel del agua con el fin de producir energía. Una comuna popular del condado del Dragón Verde, provincia de Hebei, utiliza el mismo método para retener los caudales subterráneos. Se construyó una planta hidroeléctrica con una instalación de 2 x 40 kW con un salto proyecto de 9 m y un caudal de 2 cms.

VI. Plan eléctrico y subestación intermedia

El proyecto eléctrico de las MCH, que difieren en cuanto al diseño de la ingeniería hidráulica, no está muy influido por la variación de la situación natural. De ahí que, a pesar de las características especiales respectivas de los proyectos de las pequeñas centrales eléctricas en diferentes emplazamientos, éstas sean fundamentalmente idénticas.

Actualmente el nivel de tensión imperante en las MCH de China es el siguiente: la tensión de un conjunto de generadores con una capacidad inferior a 500 kW es por lo general de 400 V, que se transmite a 10,5 kV por medio de un transformador intermediario de 0,4/10,5 kV. El radio de transmisión de esa estación no es superior a los 15 km. La tensión de los generadores con una capacidad de 500 a 6.000 kW suele ser de 6,3 kV. En esas centrales puede haber tres niveles de tensión de alimentación de salida, a saber, 6,3, 10,5 y 38,5 kV. En unos pocos lugares puede existir un nivel de 110 kV.

En las centrales anteriormente construidas se había adoptado una tensión de transmisión de 6,3 kV, pero recientemente se ha sustituido por 10,5 kV. El nivel de tensión de 3,15 kV utilizado anteriormente se ha suprimido en la actualidad.

En China se conocen actualmente numerosos tipos de proyectos eléctricos principales. Los más a menudo utilizados son los siguientes:

1. El proyecto de conductor único a tensión de generador, seccionado y no seccionado (véanse las figuras 4-29 y 4-30);
2. Bloque de generador-transformador (véase la figura 4-31);
3. Subestación intermedia a una tensión de 38,5 o de 10,5 kV:
 - a) Conexión "en puente" (véase la figura 4-32)
 - b) Conductor único (véase la figura 4-33)
 - c) Bloque de la línea del transformador (véase la figura 4-29).

Se pueden diseñar diversos proyectos eléctricos para combinar los bloques de instalaciones citados.

En China se puede fabricar todo el equipo de alta tensión necesario para las centrales eléctricas. Hasta ahora, con excepción de unas pocas, todas las provincias y regiones autónomas han fabricado su propio equipo eléctrico.

Para la mayor parte de las instalaciones eléctricas de 6,3 kV se utilizan equipos completos de distribución, en que los interruptores de circuito, desconectores, transformadores de instrumentos, e incluso contadores y cierta protección de relevador y de componentes de funcionamiento se montan según diversos planos complejos de instalación primaria y secundaria de cables. Estos se proporcionan a los clientes en juegos completos. Hay varias decenas o más de variedades de planes en serie de juegos completos de distribución disponibles para su selección por el personal diseñador de las MCH.

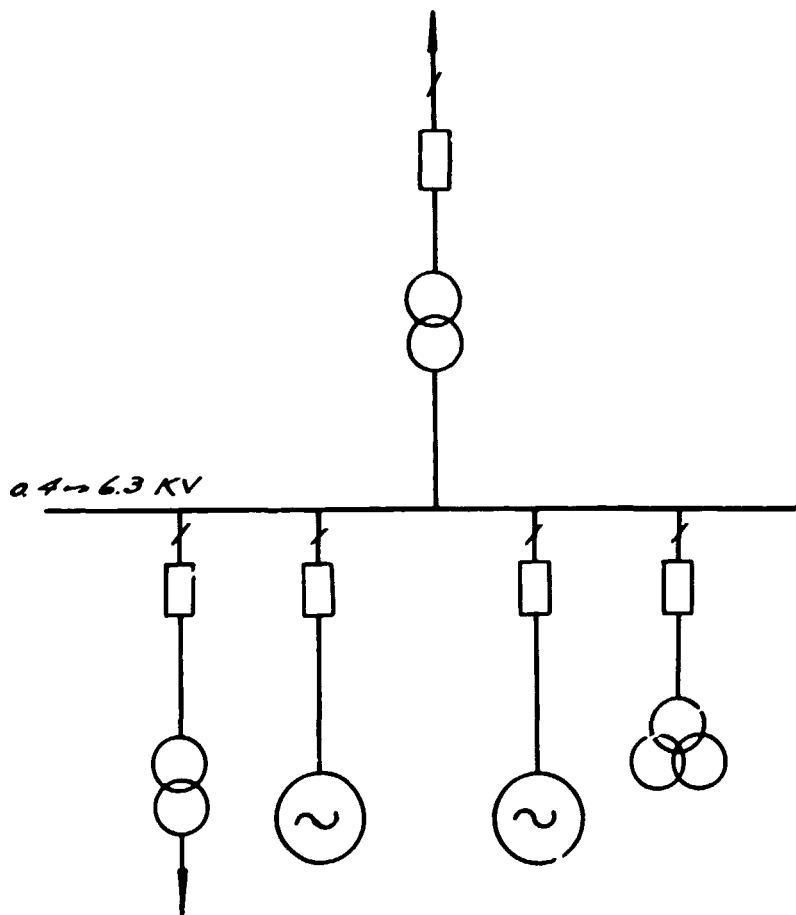


Fig. 4-29 Sistema de conductor único (no seccionado)

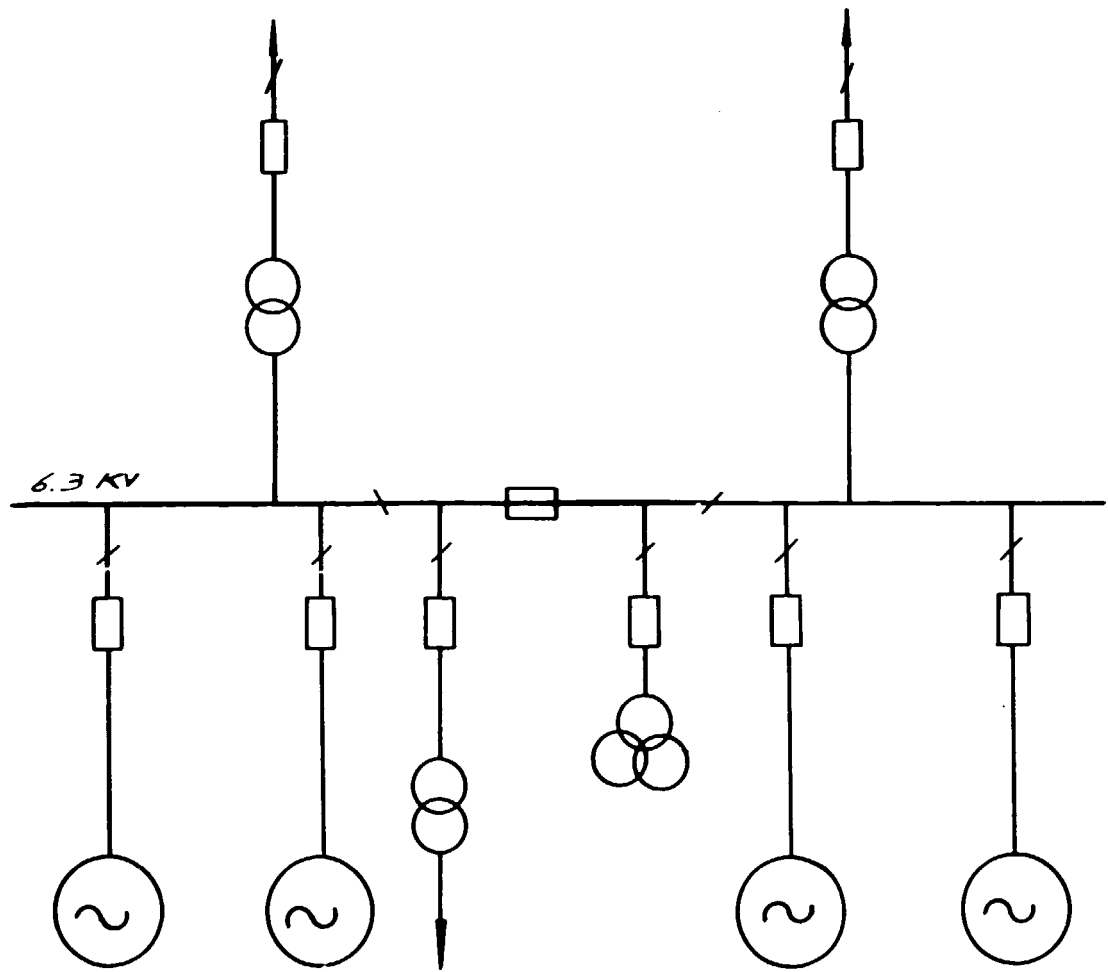


Fig. 4-30 Sistema de conductor único 6,3 kW
(seccionado)



Fig. 4-31 Bloque generador-transformador

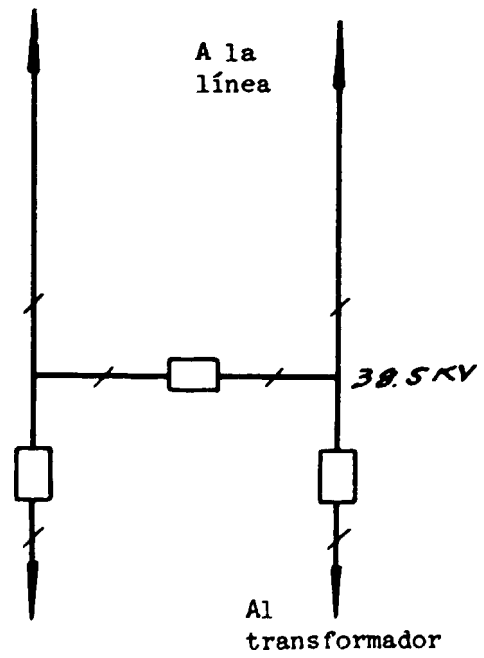


Fig. 4-32 Sistema "puente"

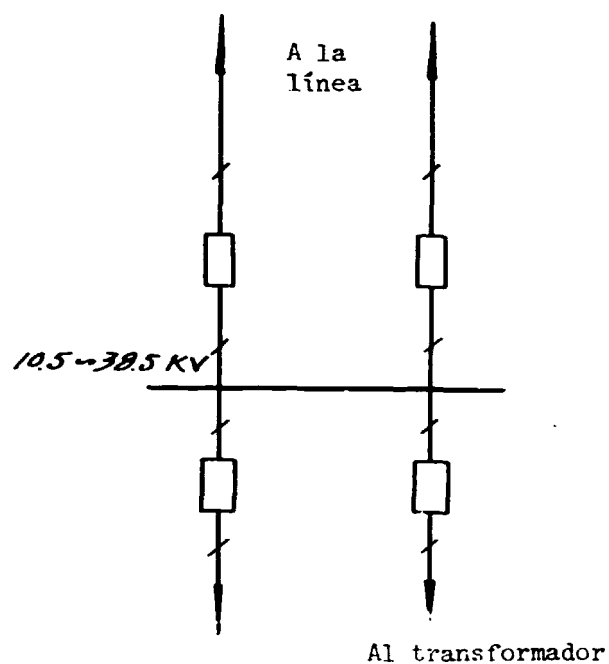


Fig. 4-33 Sistema de colector único 10,5
38,5 KV

Por lo común se utilizan los tipos externos para instalaciones eléctricas de 38,5 kV, que suelen montarse en subestaciones al aire libre.

El diseño modelo de la protección del relevador en una MCH es similar para diversos emplazamientos. La protección del relevador suele estar integrada por una protección diferencial, contra exceso de corriente, exceso de tensión, sobrecarga, fallo de los cimientos, etc. Hasta ahora los componentes de la protección del relevador habitualmente utilizados en China han sido equipos electromagnéticos. En unas pocas centrales se están utilizando a prueba componentes de transistor de protección del relevador.

Hay numerosas formas de controlar las MCH, entre las que las más comunes son las siguientes:

1. Control centralizado en una sala de control central (utilizado generalmente en centrales comparativamente grandes).
2. Control sobre el lugar en la sala del generador con un tablero de control y medición especial.
3. Control sobre el lugar en la sala del generador utilizando tableros de distribución completos.

Estos dos últimos tipos se suelen emplear en centrales más bien pequeñas. Las tensiones de explotación de corriente continua suelen ser de 220, 110 y 48 V.

El grado de automatización en las MCH de China no es muy elevado. En las centrales con una capacidad de 500 a 12.000 kW, por lo general se suelen realizar automáticamente las siguientes operaciones:

1. Regulación automática de la frecuencia y la tensión.
2. Fuesta en marcha y parada centralizada de los conjuntos de generadores y para la regulación de las cargas.
3. Aviso automático de los accidentes eléctricos y mecánicos y del mal funcionamiento.
4. Funcionamiento automático de algunos instrumentos auxiliares de las centrales.

El tendido eléctrico, los cables y los componentes utilizados en la automatización suelen ser todavía del tipo electromagnético. Son pocos los lugares donde se están efectuando ensayos del funcionamiento de los elementos semiconductores y los circuitos lógicos. Aún no se ha puesto a prueba la telemecanización de las MCH.

De acuerdo con la situación concreta de China, los principales objetivos de la automatización de las MCH son lograr la calidad de la electricidad, elevar la fiabilidad del suministro eléctrico, aumentar la seguridad, reducir la densidad de mano de obra y disminuir razonablemente el número de personas necesarias para la explotación.

Actualmente la mayor parte de las centrales integradas en redes de diferentes niveles están equipadas con instalaciones de comunicación y conexión con el centro expendedor local. Muchas centrales con una tensión de línea de 35 kV han adoptado el sistema de transmisión de teléfono sobre las líneas eléctricas.

CAPITULO 5: MAQUINAS Y EQUIPOS HIDROELECTRICOS PARA MCH

I. Conjunto turbina-generador para MCH

En China se fabrican ahora casi todo el equipo y las máquinas necesarios para las minicentrales hidroeléctricas. China cuenta con equipo no sólo para actividades en centrales con salto de hasta 612 metros adecuadas al desarrollo de las regiones montañosas, sino también para grandes descargas y saltos tan bajos como dos metros en las regiones llanas. Actualmente se dispone de diseños normalizados.

Según un nuevo reglamento, las turbinas hidráulicas se clasifican en tres categorías principales, que incluyen 27 series y 85 tipos diferentes. Estas categorías son la de tipo de caudal axial, la de tipo de caudal mixto y la de tipo de impulso (véase el cuadro 5-1). Los soportes del generador son 16 en número y de 121 tipos (véase el cuadro 5-2). Con el fin de utilizar plenamente los recursos de energía hídrica ampliamente dispersos y de suministrar electricidad a zonas remotas y montañosas, los fabricantes producen una serie especial de conjuntos de mini-instalaciones de 0,25 a 75 kW. Como las mini-instalaciones son de pequeño volumen, ligeras de peso, sencillas de construir y baratas, son muy apreciadas y favorablemente acogidas por los habitantes de las regiones montañosas.

Como China ha producido una gran variedad de equipo pequeño hidroeléctrico, conviene que los consumidores elijan el equipo que les resulte más idóneo.

Debido a la escasez de energía reactiva en la red rural, en las MCH se usan principalmente generadores sincrónicos.

Las exigencias de normalización, popularización y serialización son importantes para China, que cuenta con múltiples parámetros hidrológicos diversificados.

Las ventajas de esos productos son que son sencillos de fabricar, adecuados para la producción en masa, de alta productividad, de buena calidad, baratos y fáciles de manejar y mantener.

Hasta ahora China ha producido más de 200.000 conjuntos de equipo eléctrico. Una parte de ellos se han exportado y el resto se han instalado en más de 80.000 minicentrales hidroeléctricas dispersas por una vasta región. Algunos de ellos llevan en funcionamiento más de 20 años. A juzgar por sus condiciones de funcionamiento, parece probado que son de buena calidad y que se

adaptan muy bien a las diversas situaciones de explotación de las diferentes localidades. Por ejemplo, dos instalaciones de tipo impulso de 612 m de salto, 500 kW, CD10-WJ-90/1, fabricadas por los talleres de equipo hidroeléctrico de Chongqing han estado funcionando con seguridad en la central hidroeléctrica de Zhong Shan, condado de Dayong, provincia de Hunán, durante más de diez años. La condición de cavitación es satisfactoria. La turbina hidráulica N° 1 de Jinghua ha demostrado, por medio de comparaciones y con su funcionamiento repetido, ser de buena calidad y está ahora clasificada como un patrón estatal (ZD 760). Recientemente los talleres de fabricación de Jinghua han probado y producido una instalación de generador y turbina de doble caudal tipo GZN 005-WP-250 que ya se ha instalado en la central hidroeléctrica de las mareas del condado de Wenling, provincia de Zhejiang. Estos últimos años muchos fabricantes provinciales han producido un gran número de máquinas para las pequeñas centrales hidroeléctricas.

Bajo la dirección del Ministerio de Conservación del Agua, los fabricantes que son más autorresponsables, han hecho múltiples contribuciones a la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas. Por ejemplo, la compañía de maquinaria de la Oficina de Energía Hídrica, provincia de Guangdong, ha producido 1.100 conjuntos de instalaciones generadoras de energía hidroeléctrica de unos 160.000 kW. Algunas de las instalaciones ya se han montado en el Tibet y en la isla de Hainan. Este equipo ya ha superado las pruebas de funcionamiento más estrictas.

Las investigaciones efectuadas con respecto a las máquinas y el equipo para las minicentrales hidroeléctricas después de largos períodos de funcionamiento revelaron que el equipo fabricado en China es sencillo pero de construcción razonable y buena calidad. En el cuadro 5-3 se enumeran varias de las centrales hidroeléctricas que ya llevan en funcionamiento muchos años y que siguen todavía funcionando satisfactoriamente.

Estos últimos años la producción de máquinas y equipo para las minicentrales hidroeléctricas de China se han expandido muy rápidamente. Ahora, la capacidad de producción ha pasado del millón de kW. Además del equipo principal, a petición se puede suministrar un pequeño conjunto de equipo. Aun cuando los productos se destinan principalmente al mercado interno, se suministra cierta cantidad de esos productos a países extranjeros.

Cuadro 5-1 Número de serie de diversos tipos de turbinas hidráulicas

| No. | Tipo | Límites de utilización | | |
|-----|---|------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| | | Salto (m) | Caudal (m ³ /s) | Capacidad (kw) |
| 1 | ZD760-LM-40, 60, 80, 100, 120. | 3,5-7 | 0,45-6,8 | 12-400 |
| 2 | ZD760-LMY-100, 120 | 2,7-7 | 2,96-8,6 | 55-400 |
| 3 | ZD560-IMY-40, 60, 80 | 4-14 | 0,568- 3,45 | 12-400 |
| 4 | HL260-WJ-25, 30, 35, 42, 50 | 9-29,7 | 0,235- 2,45 | 12-500 |
| 5 | HL220-WJ-42 | 24-50 | 0,95- 1,375 | 200-500 |
| 6 | HL110-WJ-30, 35, 42, 50, 60 | 20-70 | 0,159- 1,07 | 20-600 |
| 7 | CJ22-W-45/1x4.5, 55/1x7 55/1x5.5 70/1x9 | 50-330 | 0,055- 0,401 | 20-630 |
| 8 | XJ13-W-25/1x7, 32/1x7 32/1x9, 40/1x9 40/1x11, 50/1x12 | 36-160 | 0,084- 0,66 | 21,5- 826 |
| 9 | XJ02-W-63/1x16 | 75-220 | 0,761- 1,262 | 400- 2000 |
| 10 | CJ22-W-110/1x12.5 110/2x12.5 | 220- 340 | 0,781- 0,970 1,446- 1,942 | 1250- 2500 2000- 5000 |
| 11 | CJ22-W-125/1x12.5 | 300- 504 | 0,910- 1,186 | 2000- 5000 |

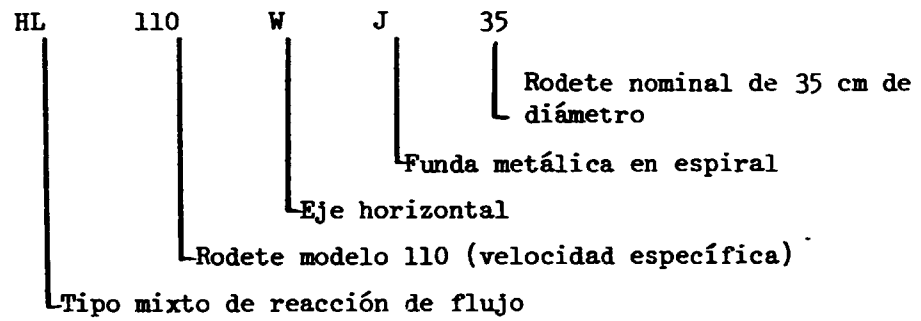
| | | | | |
|----|--------------|------------|------------|-----------|
| 12 | HL240-WJ-71 | 29,5 | 3,2 | 750 |
| 13 | HL240-IH-120 | 18-23 | 7,23-9,13 | 1000-2000 |
| 14 | HL240-LJ-120 | 20,1-37 | 8,06-10,85 | 1250-3200 |
| 15 | HL240-IH-180 | 18,5-33,5 | 17-23,2 | 2500-6300 |
| 16 | HL160-LJ-100 | 84-114 | 6,01-6,83 | 4000-6300 |
| 17 | HL160-WJ-71 | 71,8-112,6 | 2,81-3,54 | 1600-3200 |
| 18 | HL200-IH-100 | 67-90 | 7,81-8,97 | 4000-6300 |
| 19 | HL260-WJ-71 | 21,3-28,7 | 3,32-3,86 | 500-800 |
| 20 | HL260-IH-100 | 19-25 | 5,7-6,6 | 800-1250 |
| 21 | HL220-WJ-50 | 30-70 | 1,48-2,3 | 400-1000 |
| 22 | HL220-WJ-71 | 32-78 | 3,14-4,33 | 800-2000 |
| 23 | HL220-WJ-84 | 30-55 | 4,33-5,91 | 1000-2500 |
| 24 | HL110-WJ-60 | 100-145 | 1,4-1,52 | 1000-1600 |
| 25 | HL110-WJ-100 | 120-200 | 4,1-5,6 | 4000-6000 |
| 26 | HL100-WJ-71 | 222-315 | 1,58-2,4 | 3200-6000 |
| 27 | ZD560-IH-180 | 9-16 | 15,8-23,02 | 1000-2500 |
| 28 | ZD560-IH-250 | 10,6-15,5 | 31,4-44,00 | 2500-5000 |
| 29 | ZD510-IH-180 | 6,5-14,5 | 13-18,8 | 600-2000 |
| 30 | GD103-WP-275 | 4,5-8 | 39,2-57,6 | 1360-3600 |

Observaciones:

- HL - Tipo mixto de reacción de flujo
- XL - Tipo tubular inclinado
- ZD - Tipo de hélice de álates fijas y reacción de flujo axial
- XJ - Tipo de flujo cruzado
- CJ - Tipo de impulso
- GD - Tipo tubular de álade fija
- W - Eje horizontal
- I - Eje vertical
- J - Funda metálica en espiral
- H - Funda de cemento en espiral

- P - Bomba
- M - Canal de derivación abierto
- Z - Tipo tubular

Ejemplo 1 HL 110-WJ-35



Cuadro 5-2 Capacidad de los generadores hidroeléctricos

| Velocidad r.p.m. | 1500 | 1000 | 750 | 600 | 500 | 428 | 375 | 300 | 250 | 214 | 187.5 |
|------------------|----------|---------------------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|-----|-------|
| No. de postes | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 |
| Sonorte No. | | | | | | | | | | | |
| 36,8 | 18 26 | 12 18 | | | | | | | | | |
| 42,3 | 40 55 | 26 40 | | | | | | | | | |
| 49,3 | | 55 75 | 40 55 | | | | | | | | |
| 59 | | 100 125 160 | 75 100 125 | | | | | | | | |
| 74 | | 200 250 | 160 200 | 125 160 | | | | | | | |
| 85 | | 320 400 | 250 320 | 200 250 | 160 200 | 125 160 | | | | | |
| 99 | | 500 630 800 1000 | 400 500 | 320 400 | 250 320 | 200 250 | 160 200 | 125 160 | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------|---------------------|----------------------|------|--------------|-----|
| 118 | | 1000 | 630 800 1000 | 400 750 800 | 320 500 | | | | | | |
| 143 | | 1600 | 1250 | 800 1250 | 500 630 750 800 | | | | | | |
| 145 | | | 1250 1600 | 1000 1250 | 630 1000 | | 320 500 630 | | | | |
| 148 | 3200 4000 5000 6000 | 2000 2500 3200 | | | | | | | | | |
| 173 | | | 1600 2000 | 1600 2000 2500 | 1250 2000 1600 2500 | | | | 350 | | |
| 215 | | | 6000 | 3200 4000 5000 | 3200 4000 | 800 2000 | 800 1000 1250 | 1250 1600 | 800 | | |
| 260 | | | 6300 | 5000 | | 3200 | 2500 | 1250 1600 2000 | 1000 | | |
| 284 | | | | | | | | | | | 650 |
| 330 | | | | | | | | 5000 6300 | 4000 | 2500 3200 | |

Cuadro 5-3. Condiciones de funcionamiento de algunas centrales hidroeléctricas de diversos tipos

| Central | Emplazamiento | Capacidad instalada (kW) salto (m) | | Caudal calculado (m ³ /s) | Turbina | Generador | Fabricante | Tiempo en funcionamiento (en años) | Observaciones |
|--------------------------|---|------------------------------------|-------|--------------------------------------|---------------|---------------|---|------------------------------------|--|
| | | | | | | | | | |
| Baizhongtan Segunda fase | Condado de Tongcheng Provincia de Hubei | 2 x 500 | 26-35 | 2,2 | HL260-WJ-60 | TSW-99/37-6 | Fábrica de turbinas hidráulicas de Shaoguan. | 5 | Funcionamiento regular |
| Xianggongdong | Condado de Dayong Provincia de Hunan | 3 x 300 | 580 | 0,1 | CD10-WJ-90/1 | TSW-99/40-6 | Fábrica de turbinas hidráulicas de Chongqing provincia de Sichuan | 13 | Funcionamiento normal mucho tiempo |
| Xiayuan | Condado de Chuman Provincia de Zhejiang | 2 x 500 | 126 | 0,484 | CJ-W-90/1x11 | TSW-143/32-12 | Fábrica de equipo eléctrico de Hangzhou provincia de Zhejiang | 13 | Funcionamiento normal. Buen rendimiento. Fácil mantenimiento |
| Pangi Segunda fase | Condado de Jinyun Provincia de Zhejiang | 2 x 800 | 220 | 0,5 | " | TSW-143/43-10 | " | 6 | " |
| Mabu | Condado de Longmen Provincia de Guangdong | 2 x 3000 | 122,7 | 3 | HL160-WT-71 | TSW-146/60-6 | Fábrica de maquinaria de la oficina de energía eléctrica provincia de Guangdong | 6 | Buen rendimiento |
| Pio Niuvan | Guanyang | 2 x 320 | 50 | 0,77 | HL110-WJ-60 | TSWN-85/38-8 | Fábrica de maquinaria eléctrica de Kunming provincia de Yunnan | 11 | Normal |
| Landong | Rongchen | 3 x 3200 | 415 | 1 | GH-W-125/1x12 | TSW-173/86-10 | Fábrica de turbinas hidráulicas de Liuzhou Región Guangxi Zhuang Autonomous | 3-5 | Normal |

Cuadro 5-3 (cont.)

| Central | Emplazamiento | Capacidad instalada (kW) salto (m) | | Caudal calculado (m ³ /s) | Turbina | Generador | Fabricante | Tiempo en funcionamiento (en años) | Observaciones |
|----------------------------|--|------------------------------------|---------|--------------------------------------|------------------|---------------|--|------------------------------------|---|
| | | | | | | | | | |
| Guanpi | Provincia de Guangxi Yangshan Provincia de Guangdong | 6 x 800 | 184 | 0,6 | GJ-W-92/1x11 | TSW-143/44-10 | Fábrica de turbinas hidráulicas Shaoguan Provincia de Guangdong | 15 Incalada por etapas | Normal |
| Mayang Segunda fase | Condado de Wuji Provincia de Zhejiang | 2 x 1600 | 25,7 | 0,79 | HL260-WJ-35 | TSWN-59/41-6 | Fábrica de maquinaria y equipo eléctrico de Linhai provincia de Zhejiang | 8 | Funcionamiento normal. Alta producción |
| Baizhangji Primera fase | Condado de Wenheng Provincia de Zhejiang | 2 x 12500 | 336-354 | 4,7 | CJ-W-146/2-140 | TSW-256/115-2 | Fábrica de turbinas hidráulicas Chongqing Provincia de Sichuan | 20 | Buen rendimiento; Sigue en funcionamiento |
| Jiuguan | Condado de Pucheng Provincia de Fujian | 4 x 800 | 13 | 8,19 | ZD560-LH-120 | TSN-215/21-14 | Fábrica de maquinaria eléctrica de Nanping Provincia de Fujian | 5 | Normal |
| Majilong | Condado de Jinghua Provincia de Zhejiang | 1 x 75 | 6 | 1,5 | ZD760-LM-60 | TSN-59/27-8 | Fábrica de turbinas hidráulicas Jinghua Provincia de Zhejiang | 19 | Normal |
| Feishuiyan | Condado de Huang Provincia de Zhejiang | 2 x 160 | 78 | 0,44 | XJO2-W-42/1 x 10 | TSWN-74/29-8 | Fábrica de maquinaria Leqing Provincia de Zhejiang | 6 | Normal |

Cuadro 5-3 (cont.)

| Central | Emplazamiento | Capacidad instalada (kW) salto (m) | | Caudal calculado (m ³ /s) | Turbina | Generador | Fabricante | Tiempo en funcionamiento (en años) | Observaciones |
|--------------------------|--|------------------------------------|----|--------------------------------------|-------------|----------------|---|------------------------------------|---------------|
| | | | | | | | | | |
| Dongguan Segunda fase | Condado de Yongchun Provincia de Fujian | 2 x 1250 | 43 | 3,5 | HL220-WJ-71 | TSWN-143/61-10 | Fábrica de turbinas hidráulicas de Yongchun Provincia de Fujian | 10 | Normal |

II. Principal equipo auxiliar

En China los fabricantes de maquinaria de energía hidroeléctrica se encargan de suministrar el equipo auxiliar principal, con inclusión de los reguladores de velocidad, las instalaciones de inducción y los componentes automáticos, además de los principales conjuntos generadores.

Según el modelo de funcionamiento, hay cinco tipos de reguladores utilizados en las MCH, a saber, manual, eléctrico, eléctrico-hidráulico, electrónico-eléctrico y electrónico-hidráulico. El número de series comprendidas en el patrón del conjunto estatal es de ocho.

Cuadro 5-4 Tipo de reguladores de velocidad

| Modelo | Capacidad (kg-m) | Tipo |
|---------|------------------|--|
| TT-35 | 35 | Regulación única, flujo directo |
| TT-75 | 75 | ídem |
| TT-150 | 100-200 | ídem |
| TT-300 | 230-375 | ídem |
| YT-300 | 230-375 | Regulación única, hidráulico-eléctronica |
| TT-600 | 450-760 | ídem |
| YT-1000 | 760-1220 | ídem |
| CT-40 | 2000-3720 | ídem |

El regulador de velocidad de la serie YT es un regulador automático diseñado en China y especialmente adecuado a las MCH. Este regulador está equipado con un péndulo volante automático y dos servomotores que son capaces de regular automáticamente la velocidad de las turbinas y de controlar la puesta en marcha y la parada de las turbinas a distancia, así como de regular la carga. Además dispone de una válvula electromagnética para paradas de emergencia. Esa válvula puede funcionar con corriente continua que controla el paso hidráulico para el paro rápido del conjunto generador y que impide el "accidente volante" en caso de una emergencia de la central se interrumpe la corriente alterna.

Si el sistema hidráulico del regulador de velocidad falla durante el funcionamiento normal, se puede proceder a un funcionamiento manual mediante una rueda o rodillo de elevación movido a mano especialmente equipado. La operación de llenar el tanque de presión con fluido y aire en el regulador del tipo YT se puede realizar automáticamente sin ayuda de un compresor de aire exterior que se necesita para los reguladores ordinarios. Las características indicadas son muy adecuadas para las minicentrales hidroeléctricas que a menudo sólo están equipadas con dispositivos sencillos.

Los reguladores de la serie YT han sido diseñados y producidos principalmente por el fabricante de equipo de control de la maquinaria hidroeléctrica de Tianjin. Actualmente muchos otros fabricantes tienen también la capacidad para producir esos reguladores.

Los tipos de inducción para los generadores son numerosos. En el pasado los más comunes eran los inductores de corriente continua con reguladores electromagnéticos. Los generadores de menos de 100 kW sólo están equipados con una resistencia en el campo magnético para controlar la excitación.

Ultimamente muchos fabricantes de China han producido múltiples tipos de dispositivos de inducción modernos. Entre las formas más a punto cabe mencionar: un inductor SCR (rectificador controlado de silicio) con un transformador en la terminal externa del generador como fuente de energía y la inducción mixta de cambio de la fase de devanado triple y un rectificador de silicona con un generador de transformación maniobrado por un reactor. Esos materiales se han examinado en diferentes lugares y bajo diversas modalidades de funcionamiento durante un largo período y han demostrado ser seguros y poseer una tecnología avanzada. En consecuencia, se han expandido ampliamente por todo el país.

En algunos lugares, se han renovado algunas viejas centrales con nuevos dispositivos electrónicos, como la del condado de Laoding, provincia de Guangdong, donde el 70% de los generadores están equipados o se han reinstalado con un sistema de inducción SCR.

A partir del decenio de los años setenta se han producido, puesto a prueba con éxito y montado en varias centrales de las provincias de Jiangxi, Gansu y Fujian generadores hidroeléctricos de 630 a 1.250 kW con una tercera inducción armónica de tensión. Varios años de funcionamiento han demostrado la fiabilidad de ese equipo de inducción que, en comparación con la excitación electromagnética de los generadores del mismo tamaño, no sólo ahorra más del

50% de los costos y el 50% del cobre, sino que se desempeña también como una inducción mejor autoforzada muy poco influida por la variación de la frecuencia.

Además, los inductores sin descarga, que son de uso corriente en el extranjero, se han fabricado y puesto a prueba y montado en algunas estaciones de las provincias de Sichuan, Zhejiang y Hunan.

Un plan en serie de dispositivos de inducción SCR para generadores con una capacidad de 500 a 5.000 kW está en preparación en el Instituto de Investigaciones sobre Impulsión Eléctrica de Tianjin.

III. Suministro de un equipo completo

En aras de la comodidad de los clientes, el Estado y algunas provincias han organizado el suministro de conjuntos completos del principal equipo electro-mecánico de las MCH. Ese equipo incluye los principales aparatos y sus auxiliares, los transformadores, los aparatos de conexión de alta tensión, diversos tableros de control y protección, cables, grúas, compresores de aire, bombas, aisladores de porcelana, etc. En la provincia de Sichuan, se ha constituido una "corporación de fabricación de equipo para plantas eléctricas" con el fin de incorporar a 90 o más fabricantes de aparatos y dispositivos para plantas eléctricas con arreglo al principio de la coordinación por especialidades. Esas corporaciones también se están estableciendo en las provincias de Zhejiang y Guangdong.

CAPITULO 6: INVESTIGACIONES, EXPERIMENTACION, FORMACION Y
REDUCCION DE LOS COSTOS DE LAS MCH

China ha capacitado a muchos equipos técnicos en materia de realización y gestión de las MCH, en esferas como la planificación, la exploración, el diseño, la construcción, la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento. Actualmente se está procurando elevar el nivel de la tecnología, realizar investigaciones e innovaciones técnicas, mejorar la fiabilidad del suministro de energía y reducir los costos de construcción. A continuación se indican los principales aspectos técnicos.

I. Investigaciones

A. Aplicación de tuberías de hormigón pretensado en las MCH.

1. Ventajas de las tuberías de hormigón pretensado (en adelante designadas como tuberías HPT)

En el pasado las tuberías de alta o media presión utilizadas en las MCH solían fabricarse de acero. El suministro de acero, sin embargo, no era suficiente para satisfacer las necesidades provocadas por el fomento de la construcción de centrales hidroeléctricas. En 1964, sirviéndose de la experiencia adquirida en el extranjero, la MCH de Gao-liang del condado De-qing, de la prefectura de Zhao-qing, provincia de Guangdong, utilizó con buenos resultados tuberías HPT de enchufe y cordón fabricadas por ella misma en lugar de tuberías de acero. Poco tiempo después todas las plantas empezaron gradualmente a hacer lo mismo.

Hasta este momento, todos los condados de esa prefectura cuentan con una fábrica de tuberías de cemento. Esas fábricas producen tuberías de presión de 76 km de extensión total para 2.700 centrales hidroeléctricas. Entre esas MCH la del salto de agua más alto es la central de Huangtongjiang, en el condado de De-quin, que alcanza los 218 m. Se han instalado tres centrales que generan 800 kW para las que se han utilizado 600 MM de tuberías HPT (figura 6-1). En la MCH de Shiu-xia, condado de Huai-ji, que cuenta con un salto de agua de 168 m, se han instalado cuatro centrales de generación eléctrica de 3.000 kW y se han adoptado tuberías HPT de 1.250 a 1.300 MM de diámetro (figura 6-2).



Fig. 6-1 MCH de Huangtongjiang



Fig. 6-2 MCH de Shuixia

Las HPT presentan las siguientes ventajas en comparación con las de acero:

a. Bajo costo y escaso consumo de acero:

En general el consumo de acero se puede reducir en un 70 a un 90% y el costo en un 60% cuando se utilizan tuberías HPT en lugar de tuberías de presión de acero (las de salto bajo y gran diámetro pueden ahorrar aún más acero y costo). Por ejemplo, en la MCH de Shui-xia hacían falta unas 175 toneladas de acero que costaban aproximadamente 310 mil yuans para las tuberías de presión previstas, pero sólo 53 toneladas de acero y 120 mil yuans eran necesarios para fabricar tuberías HPT. Así pues, los ahorros en acero y en dinero eran aproximadamente de 70% y 61%, respectivamente.

Todas las tuberías HPT se ensayan utilizando una prueba de presión de agua. Después de mantener las tuberías bajo presión constante durante 24 horas, las pruebas revelaron que una presión máxima del agua de 34 kg/cm^2 era posible sin peligro de hendiduras ni filtraciones. Estas tuberías HPT llevan en funcionamiento cuatro años y siguen en buen estado.

b) Durabilidad:

Las primeras tuberías HPT entraron en funcionamiento hace 15 años, en 1964. Esas tuberías siguen en servicio exactamente igual que cuando se instalaron. Otra MCH situada en el suburbio de Zhao-ting tiene un salto utilizable de 120 m. En 1958 se instaló una tubería de presión de acero de un diámetro de 0,4 m. Debido a la erosión, así como al reducido diámetro de la tubería se hacía imposible el mantenimiento; la tubería de acero se rompió bajo la presión interna del agua y fue sustituida por una tubería HPT. Esta ha estado en funcionamiento sin complicaciones desde que se instaló en 1968 hasta el presente.

c) Comodidad de instalación y mejor cierre hidráulico de las juntas:

El tipo de enchufe y cordón es fácil de instalar. Lo esencial es fijar un cierre de goma en el extremo de la espiga y colocarlo luego en el enchufe. Esta tecnología garantiza la impermeabilidad y promueve una alta eficiencia de la instalación.

Por ejemplo, en una MCH con un salto de 200 m, en funcionamiento desde hace más de cuatro años, el cierre de la junta de enchufe y cordón sigue estando en excelentes condiciones. Esta junta es también capaz de adaptarse a la deformación.

d) Bajo costo de mantenimiento:

Con todo, las tuberías HPT tienen fallos como el mayor peso muerto y su mayor facilidad para romperse durante el transporte y la instalación. Estos problemas deben superarse adoptando medidas adecuadas.

2. Diseño de las tuberías HPT

Las tuberías HPT constan de tres partes; la parte interior de hormigón armado con acero longitudinal pretensado, un alambre pretensado enrollado sobre la superficie externa del muro interior de la tubería y una capa protectora.

a) Criterios de diseño:

- 1) Resistencia necesaria y evitación de infiltraciones;
- 2) Rigidez suficiente en dirección longitudinal para impedir las hendiduras y roturas de las tuberías durante el pretensado, el desencofrado, el transporte y la instalación;
- 3) La resistencia a la compresión de la tubería interior debe ser la siguiente:

| | | |
|-------------------|---------------------------------|--------------------|
| diámetro interior | DI \leq 50 cm, \sqrt{c} 3-8 | kg/cm ² |
| | DI 60-80 cm, \sqrt{c} 3-6 | kg/cm ² |
| | DI 100-130 cm, \sqrt{c} 2-2 | kg/cm ² |

La experiencia ha demostrado que cuando el diámetro de una tubería es menor de 30 cm, el espesor de la tubería será de 2 a 3 cm y la extensión de 2 a 3 m. Cuando el diámetro es de 30 a 130 cm, el espesor será de 4 a 8 cm y la extensión de la tubería de 3,2 a 4,2 m.

b) Cálculos con respecto a la tubería:

La resistencia de la tubería depende principalmente de la tecnología y la destreza durante la fabricación. Habitualmente los resultados del cálculo se utilizan simplemente como referencia para la selección del segmento de refuerzo de acero. La resistencia efectiva de la tubería se mide por la prueba de presión de agua. Para el cálculo se utilizan los siguientes datos: (véase la figura 6-3)

- DI = diámetro interior de la tubería en cm
- ri = radio interior de la tubería en cm
- t = espesor de la tubería interior en cm
- l = extensión de la tubería en m
- t_e = espesor de la capa protectora exterior en cm
- H^l = salto de agua proyectado en metros
- P = equivalente de la presión interior del agua en kg/cm²
- R_g = resistencia última del segmento de acero pretensado con respecto al segmento de acero bajo en carbón obtenido en frío A₃^F, R_g es 7.000 a 8.000 kg/cm²
- R_a = resistencia a la compresión del hormigón
- R_l = resistencia del hormigón a la tensión

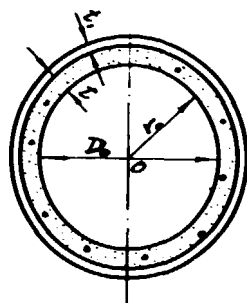


Fig. 6-3 Dimensión de tubería HP1

En una dirección circular, si se toma $L = 1$ m para el cálculo, la fuerza de tensión sobre el muro de la tubería es:

$$N = 100 \text{ rip (kg)} \quad (36)$$

La superficie del segmento de acero de refuerzo del muro de la tubería es:

$$A_g = \frac{kN}{R_g} \quad (\text{cm}^2) \quad (37)$$

(donde k = coeficiente de seguridad, usado 2,0).

En los cálculos para prevenir las hendiduras deben utilizarse las siguientes fórmulas:

$$K_f N \leq [A_h (R_c + K_f \sigma) + 200 A_g] \quad (38)$$

donde A_h = sección transversal del muro de la tubería con extensión lineal
 $1 \text{ m} = 100 \text{ t (cm}^2)$

σ = fuerza efectiva de pretensado (kg/cm^2)

K_f = coeficiente de seguridad para las hendiduras

Porcentaje de acero $\mu = \frac{A_g}{t} \frac{1}{100}$

Sustitúyase μ , N , A_g en (38) para obtener σ

La pérdida de pretensado será de σ_s y el pretensado total será de $\bar{\sigma} = (\sigma_0 + \sigma_s) \leq 0,8 R_g$. Es obligatorio que esta condición se cumpla cuando $0,8$ = coeficiente de control de la tensión.

En casos normales, cuando μ no es elevado, la suma de las pérdidas en el pretensado oscila entre 1.000 y 2.000 kg/cm^2 ; para las estructuras pretensadas que utilizan métodos de pretensionado, se propone que σ_s sea mayor de 1.000 kg/cm^2 .

3. Tecnología de fabricación y examen de la calidad de las tuberías de hormigón pretensado:

Con el fin de satisfacer las exigencias del diseño para una capacidad de explotación óptima, las tuberías de hormigón pretensado deben poseer una resistencia suficiente a la permeabilidad y a las hendiduras así como ser lo suficientemente duraderas. Esas dos cualidades dependen del control de calidad durante el proceso de fabricación. La resistencia a la permeabilidad puede verse afectada no sólo por la calidad del material y la proporción de la mezcla, sino también por la tecnología de moldeo del tubo interior de la tubería. La aplicación y el control de pretensado en sentido longitudinal y de la circunferencia de la tubería y la resistencia del hormigón del muro interior de la tubería son dos factores que aumentan la resistencia de las tuberías a las hendiduras. La oxidación del alambre pretensado de la circunferencia reducirá la durabilidad de las tuberías en un grado considerable. De ahí que en China se haya insistido mucho y se haya adoptado plenamente el control y el examen de la calidad de las tuberías de hormigón pretensado en una tecnología de tres etapas utilizando el método centrífugo.

a) Control de la pretensión longitudinal:

La pretensión longitudinal de las tuberías se logra mediante el preestirado del acero en sentido longitudinal. Este se sujeta luego temporalmente al molde de la tubería antes de que el muro interior se forme con el fin de aumentar el nivel de la resistencia posible a la precompresión después del moldeo. El método del estirado electrotérmico y el método de la estiradora de varas de rosca son utilizados comúnmente para aplicar la pretensión longitudinal como se indica en las figuras 6-4 y 6-5. El valor de pretensión del acero longitudinal se controla por medio del valor de alargamiento del acero; es decir, el acero se estira hasta el valor de alargamiento especificado que puede calcularse por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta l = \frac{K + 300}{E} l \quad (39)$$

en la que Δl = valor de alargamiento del acero longitudinal (cm);

K = resistencia controlada de estirado del acero longitudinal (kg/cm^2);

E = módulo de la elasticidad del acero (kg/cm^2);

l = distancia entre dos puntos de fijación en los extremos del acero longitudinal (cm);

300 = pérdida de pretensión causada por la irregularidad del acero y la deformación plástica del acero en condiciones de alta temperatura y de presión (kg/cm^2)

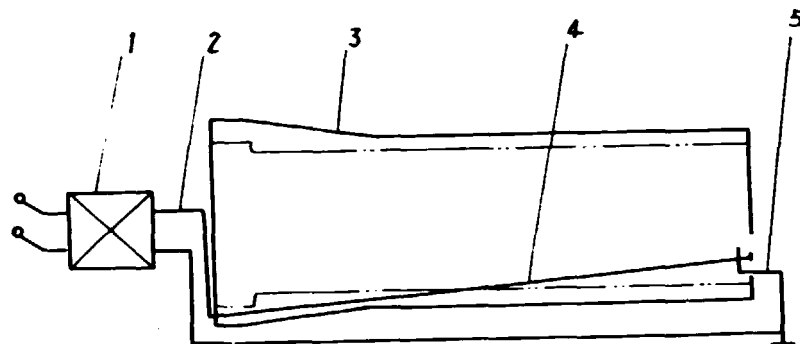


Fig. 6-4a Conexión del cable eléctrico y el segmento de acero

Figura 6-4a - Esquema de conexión del cable del transformador de tres fases con el acero

- | | | | |
|---------|-----------------------------|---------|------------------------------------|
| 1 _____ | cable enroscado secundario; | 2 _____ | molde de la tubería; |
| 3 _____ | acero longitudinal; | 4 _____ | escuadra de soporte electotérmico. |

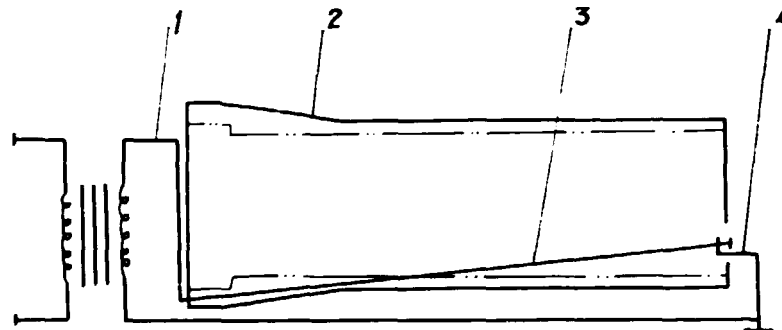


Fig. 6-4b Conexión del soldador por arco y el segmento de acero

Figura 6-4b - Esquema de conexión de la máquina de soldadura por arco con acero electotérmico

- | | | | |
|---------|------------------------------------|---------|-----------------------------|
| 1 _____ | máquina soldadora de arco; | 2 _____ | cable enroscado secundario; |
| 3 _____ | molde de la tubería; | 4 _____ | acero longitudinal; |
| 5 _____ | escuadra de soporte electotérmico. | | |

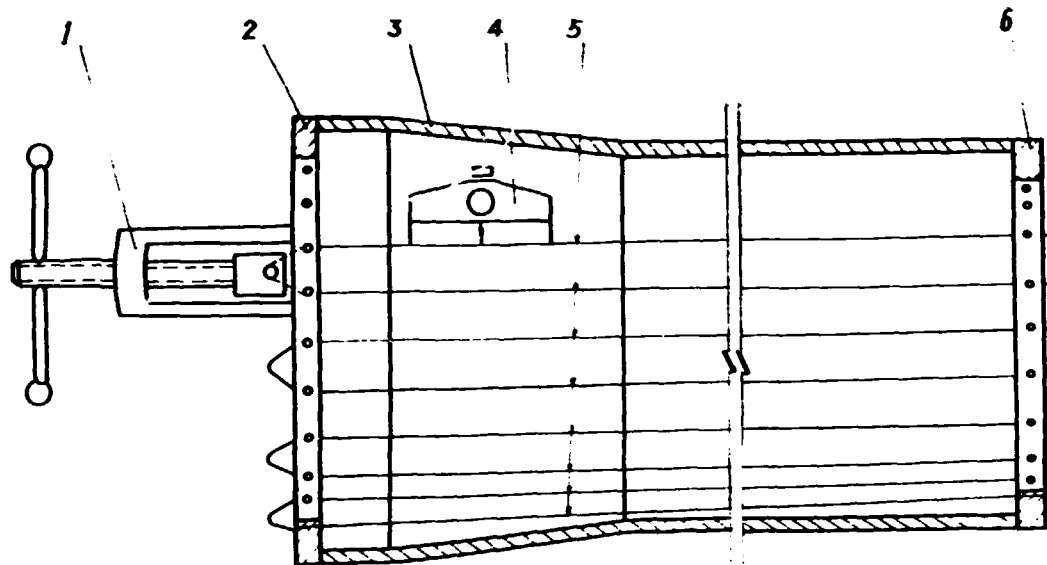


Fig. 6-5 Alargamiento de la barra de acero

Figura 6-5 - Esquema del alargamiento del acero longitudinal con una máquina estiradora de varas de rosca

- 1 _____ estiradora de varas de rosca; 2 _____ cabrestante de anclaje;
3 _____ molde de la tubería; 4 _____ tensiómetro de alambre;
5 _____ acero pretensado longitudinal; 6 _____ cabrestante de enchufe.

Se utiliza un tensiómetro de alambre para medir el valor de pretensión del acero longitudinal.

b) Control de la calidad de los agregados:

Las exigencias de calidad de la arena y la piedra para las tuberías de hormigón pretensado suelen ser las mismas que para el hormigón de buena calidad. Sin embargo, se han de eliminar completamente las impurezas de arcilla y el polvo de piedra en la arena para que el hormigón posea una resistencia suficiente a la permeabilidad.

c) Control de la proporción de la mezcla de hormigón:

Antes de efectuar la mezcla, la proporción del hormigón utilizado para la fabricación de tuberías se debe determinar por medio de pruebas y no debe modificarse al azar o la resistencia a la permeabilidad fluctuará. El llamado "control de la proporción de la mezcla del hormigón" se utiliza primordialmente para controlar estrictamente la relación agua-cemento en el hormigón después de utilizar el método del encofrado centrífugo. La relación restante agua-cemento suele ser igual a 0,66-0,68 veces la

relación del agua-cemento antes de procederse al encofrado por centrifugación. En otras palabras, la relación agua-cemento en el hormigón antes del procesamiento centrífugo es proporcional a la relación agua-cemento restante en el hormigón después del moldeo centrífugo. Por consiguiente, se debe proscribir la incorporación arbitraria de más agua.

d) Control del proceso centrífugo dividido en tres etapas:

Estas etapas son las siguientes: velocidad de muestra, velocidad intermedia y velocidad alta. El control de la tecnología centrífuga significa el ajuste en la magnitud de la velocidad y en la duración de estas tres etapas.

i) Control de la velocidad lenta:

La velocidad de rotación lenta es la primera etapa de la tecnología centrífuga cuyo objetivo es facilitar la alimentación en material y lograr que los materiales de hormigón se adhieran uniformemente con más firmeza a la pared del molde de la tubería. Con este propósito, la fuerza centrífuga producida por la velocidad de rotación debe ser mayor que el peso muerto del material de hormigón, es decir,

$$m \omega^2 r > mg \quad (40)$$

donde m = masa de hormigón ($\text{gm} \cdot \text{seg} / \text{cm}^2$)

ω = rotación de la velocidad angular,

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (1/\text{seg}),$$

r = radio de rotación, a saber, radio externo del muro interior de la tubería (cm),

g = aceleración de la gravedad, $g = 981 \text{ cm}/\text{seg}^2$,

n = velocidad de rotación del encofrado de la tubería (rpm).

En consecuencia, se obtiene la siguiente fórmula de la velocidad lenta

$$n > \frac{300}{\sqrt{r}}$$

Con la práctica, la velocidad lenta controlada suele ser entre 1,5 y 1,6 veces la de la velocidad de rotación teórica, es decir, la velocidad lenta aplicada

$$= (1,5 \sim 1,6) \times \frac{300}{\sqrt{r}} \quad (41)$$

La velocidad lenta centrífuga depende del grado de uniformidad de la distribución del material en el muro de encofrado de la tubería; será mayor para tuberías con un diámetro mayor y menor para tuberías con un diámetro más pequeño. En general, suele ser de 5 a 15 minutos.



Fig. 6-6 Colocación de hormigón en el muro interior de la tubería

La figura 6-6 indica el proceso de alimentación en el encofrado centrífugo del muro interior de la tubería.

ii) Control de la velocidad intermedia:

La velocidad centrífuga intermedia es la etapa de transición de la velocidad baja a la velocidad centrífuga alta. Esta velocidad de transición suele aumentar de manera uniforme. Debido a la relativamente baja relación agua-cemento en el hormigón utilizado en la tecnología centrífuga, la fluidez de la mezcla de hormigón es relativamente pequeña. Si se aumenta bruscamente la velocidad de rotación para pasar a una velocidad alta se producirá un desplazamiento del material y, en consecuencia, una falta de uniformidad en el espesor del muro de la tubería. Además, un aumento brusco de la velocidad provocará la salida intermitente del encofrado de la tubería, con lo que se intensificará la segregación del material. En consecuencia, el principio del control de la velocidad intermedia consiste en elevar suavemente la velocidad de baja a alta. Las revoluciones por minuto y la duración requerida deberán determinarse por medio de la observación práctica. En general, la duración no es nunca superior a 10 minutos (véase la figura 6-6).

iii) Control de la velocidad alta:

La velocidad centrífuga alta es la etapa final de la tecnología centrífuga. Lo importante es conocer la etapa a que el hormigón alcanzará su máxima densidad. De acuerdo con la derivación teórica, la fórmula de la presión centrífuga será:

$$F = \frac{\gamma_h \pi^2 \eta^2}{2.700 \text{ g}} \left(r^2 \frac{r_o^3}{r} \right) \quad (42)$$

Donde F = presión centrífuga del hormigón interior que actúa en el encofrado de la tubería (kg/cm^2);

γ_h = unidad de peso del hormigón (kg/cm^3);

η = velocidad de rotación del encofrado de la tubería (rpm);

r.r = radios interno y externo de la tubería, respectivamente (cm).

Cuando las dimensiones de las tuberías son constantes, se sabe por la ecuación 42 que cuanto mayor es la velocidad de rotación en la velocidad centrífuga alta, mayor es la fuerza de compresión centrífuga. De ahí que la elevación de la velocidad de rotación centrífuga sea un medio importante para aumentar la fuerza y la resistencia a la permeabilidad de las tuberías.

Para elegir la velocidad de rotación en la velocidad centrífuga alta, la mejor se considera una velocidad de rotación que corresponda a una resistencia a la compresión centrífuga que alcance de 0,8 a 1 kg/cm^2 . Sin embargo, la mejor velocidad de rotación no se alcanza prácticamente nunca debido a la escasa rigidez del encofrado de la tubería que normalmente se ha fabricado por manejo manual con una capa de acero de 3 a 6 mm de espesor. La presión centrífuga que el encofrado de la tubería puede soportar no siempre excede de 0,5 kg/cm^2 . Basado en la práctica de producción, cuando se fabrica una tubería de hormigón pretensado de un diámetro interno de 1.250 mm, se requiere una presión centrífuga de 0,73 a 0,75 kg/cm^2 para que la resistencia a la permeabilidad de la tubería alcance los 34 kg/cm^2 o más. En este caso se puede utilizar con seguridad en una planta hidroeléctrica de salto elevado con una presión interna del agua prevista de 21,2 kg/cm^2 . En consecuencia, el control de la velocidad centrífuga alta debe determinarse en función del diámetro de la tubería y de la magnitud de la presión: de la resistencia a la permeabilidad requerida. Por lo general la presión centrífuga que actúa sobre el encofrado de la tubería debe ser del orden de 0,4 a 0,75 kg/cm^2 . El límite superior se requiere para una presión de resistencia a la permeabilidad alta y el inferior para una baja.

La duración para la velocidad centrífuga alta está determinada por el grado de drenaje, la densidad del hormigón y a veces por la prueba de presión del agua.

iv) Control de las técnicas de funcionamiento:

Considerando que la segregación se produce debido al proceso centrífugo, la impermeabilidad del muro interior de hormigón de la tubería depende principalmente de la capa de argamasa y de la capa de cemento. Ambas juntas constituyen la llamada capa de prevención de la permeabilidad. El espesor de esta capa es solamente la cuarta parte del espesor total de la tubería. Si se utiliza un método en que los procesos de alimentación y centrifugación se efectúan capa por capa de manera que sobre el muro de la tubería se constituyen múltiples capas de prevención a la permeabilidad, la resistencia a la permeabilidad aumentará sensiblemente. En general, el proceso de alimentación y centrífugo puede repetirse de dos a cuatro veces separadas, según el espesor deseado del muro de la tubería y el diámetro de ésta.

e) Control de la pretensión circunferencial:

El alambre de pretensión circunferencial está enrollado en torno a la superficie exterior del muro interno de la tubería. Para enrollar el alambre pretensado circunferencial se utiliza ampliamente una máquina de enrollado de alambre equilibrada de peso y de tipo tensión. El principio del enrollado del alambre se indica en las figuras 6-7 y 6-8. El alambre está sometido a una tensión equivalente a la mitad del peso del bloque de carga. El valor de pretensión del alambre circunferencial se puede controlar ajustando el peso del bloque de carga suspendido y puede calcularse por medio de la siguiente ecuación:

$$W = 2\bar{K} f_y \quad (43)$$

en la que W = peso del bloque de carga (kg);

\bar{K} = coeficiente de tensión controlada del alambre circunferencial (kg/cm^2);

f_y = superficie transversal de un alambre circunferencial único (cm^2).

El alambre circunferencial pretensado se enrolla por el muro interior de la tubería mediante la polea de guía montada sobre el pórtico. Este se

desplaza hacia delante cuando el muro interior de la tubería gira. El declive del alambre que se va a enrollar se puede controlar ajustando la velocidad de movimiento del pórtico.



Fig. 6-7 Segmento de acero pretensado enrollado sobre el muro interior de la tubería

En la figura 6-8 se explica el principio de utilización de la máquina de enrollado de alambre de tipo tensión con equilibrio de peso.

- | | |
|--|---|
| I ___ sistema de enrollado de alambre | II ___ sistema de equilibrio de peso |
| 1 ___ muro interior de la tubería | 2 ___ pórtico |
| 3 ___ cabestrante de alambre de acero | 4 ___ dispositivo de guía y afianzamiento del alambre |
| 5 ___ polea de guía del alambre pretensado | 6 ___ alambre pretensado |
| 7 ___ dispositivo de transmisión de la tensión | 8 ___ polea de guía del cable de acero |
| 9 ___ cable de acero | 10 ___ bloque de carga |
| 11 ___ manivela. | |

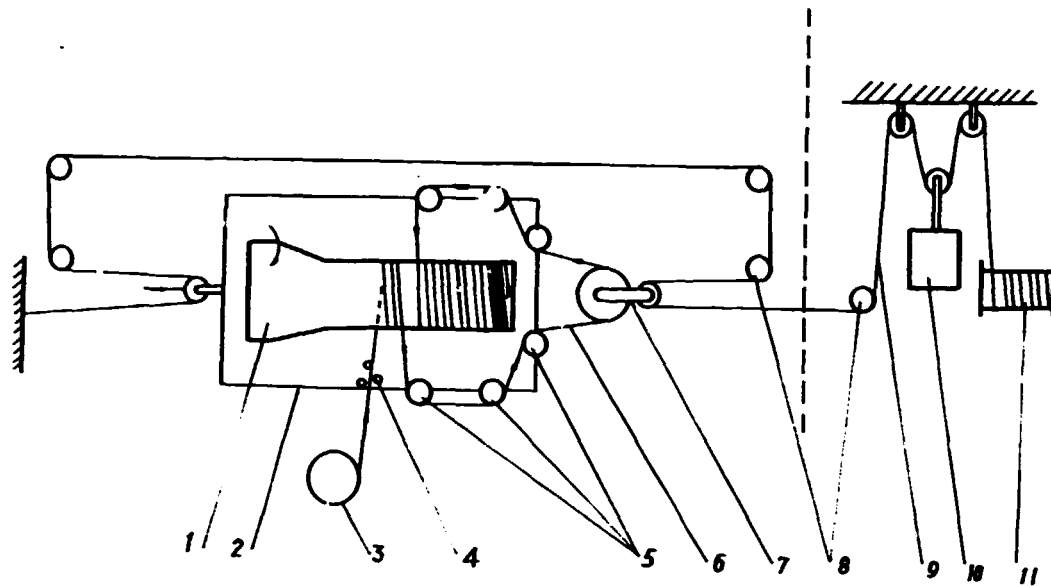


Fig. 6-8 Principio de funcionamiento de la máquina de enrollar

Figura 6-8 - Enrollado del alambre pretensado sobre el muro interior de la tubería.

Si surgen grietas finas en la superficie del muro interior de la tubería después del enrollado del alambre, es necesario examinar si el diseño estructural de la tubería es razonable, si se aplicó de manera suficiente el pretensado del acero longitudinal durante el proceso de fabricación de la tubería y si el muro interior llegó a su resistencia específica durante la operación de enrollado del alambre. A continuación se deberán tomar las medidas que corresponda para mejorar los defectos. Estos tipos de grietas finas circunferenciales se pueden reparar con resina epoxídica.

f) Protección del alambre pretensado circunferencial:

La vida útil de la tubería de hormigón pretensado es bastante larga, pero el alambre pretensado exterior puede romperse debido a la erosión por herrumbre y ocasionar el malogro de la tubería. En general, sobre la superficie de la tubería se suele aplicar a máquina o manualmente una capa de argamasa y cemento de 15 a 20 mm de espesor como revestimiento protector. Actualmente el método empleado para proteger el alambre pretensado que envuelve la tubería consiste en aplicar un revestimiento que impide la herrumbre del alambre. El método más práctico es instalar un contenedor de material contra la herrumbre en un lado del pórtico de la máquina de

enrollado del alambre como se indica en al figura 6-9. Cuando el alambre pasa a través del contenedor, se cubre automáticamente su superficie con una capa de material contra la herrumbre antes de enrollarlo sobre el muro de la tubería. En ese caso, si falla el revestimiento protector de argamasa y cemento, el revestimiento para impedir la herrumbre seguirá protegiendo al alambre de acero.

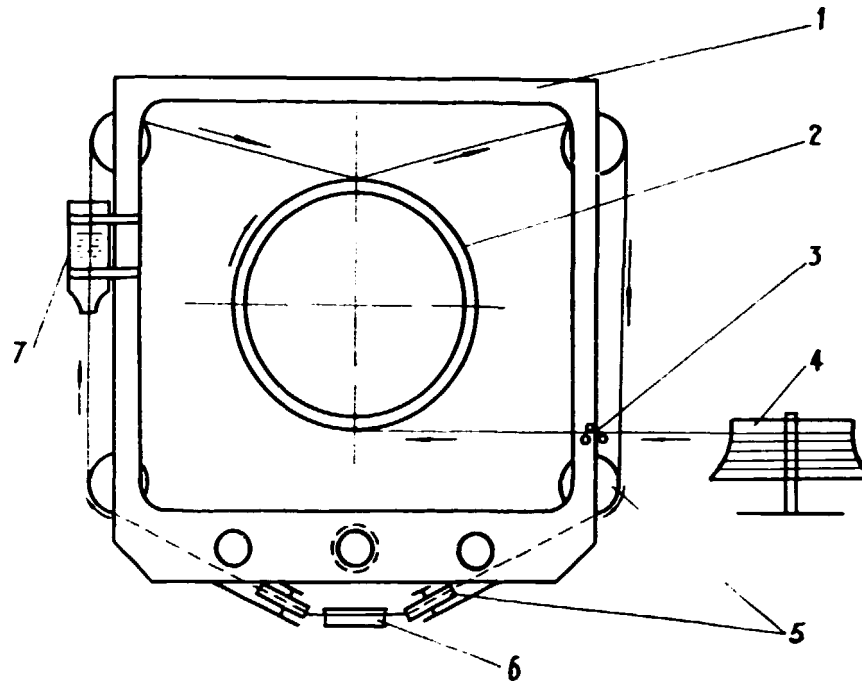


Fig. 6-9 Revestimiento automático del segmento de acero pretensado

La figura 6-9 ilustra la aplicación automática de un protector contra la herrumbre sobre el alambre pretensado.

- | | |
|---|--|
| 1 __pórtico | 2 __muro de la tubería |
| 3 __dispositivo de guía y afianzamiento del alambre | 4 __cabestrante de alambre de acero |
| 5 __polea de guía del alambre de acero | 6 __dispositivo de transmisión de la tensión |
| 7 __recipiente de protección antiherrumbre. | |

g) Prueba de presión hidráulica:

La resistencia a la permeabilidad y la resistencia a las grietas se pueden determinar por medio de una prueba de presión hidráulica. El equipo utilizado para realizar las pruebas de presión hidráulica es una máquina de tipo de alimentación de agua. Para las tuberías con grandes diámetros que están sujetas a presiones superiores, puede resultar más conveniente una máquina de prueba de presión hidráulica interna de tipo camisa, como la indicada en la figura 6-10. Esta última puede reducir considerablemente la fuerza total de la presión del agua contra el muro de sostén a ambos extremos de la tubería, facilitando así la impermeabilización entre el muro de sostén y la tubería.

Como las tuberías de hormigón pretensado utilizadas en las centrales hidroeléctricas siempre están tendidas a lo largo de las laderas de la colina al aire libre y no están sujetas a la presión de la tierra ni otras cargas vivas que actúan en la superficie de la tierra, la presión utilizada en los exámenes hidráulicos se considera siempre que es 1,3 veces la suma de la presión hidroestática y el incremento de la presión del golpe de ariete, es decir, 1,3 veces la presión interna del agua prevista. Si no se producen infiltraciones ni grietas bajo esa presión del agua, las tuberías se pueden considerar aceptables. Todas las tuberías deben instalarse y emplearse únicamente después de haber pasado el examen de resistencia a la permeabilidad y a las hendiduras.

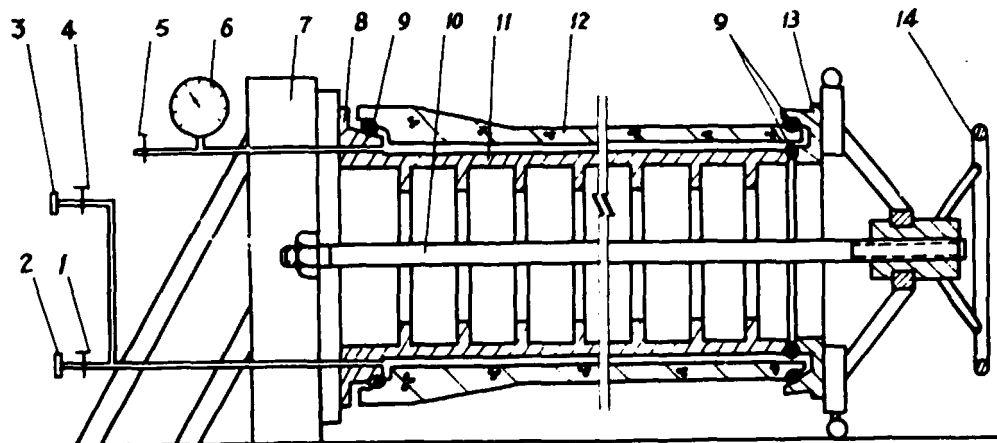


Fig. 6-10 Máquina para probar la presión del agua

La figura 6-10 ilustra una máquina comprobadora de la presión hidráulica de tipo camisa.

- | | |
|---|--|
| 1__ válvula de admisión de agua para la prueba de presión | 2__ conexión con la bomba de prueba de presión eléctrica |
| 3__ conexión con la bomba de agua | 4__ válvula de alimentación de agua |
| 5__ válvula de escape de aire | 6__ manómetro |
| 7__ soporte de la máquina | 8__ muro de sostén fijo |
| 9__ anillo de caucho de impermeabilización | 10__ varilla tensora |
| 11__ camisa de acero | 12__ hormigón pretensado |
| 13__ muro de sostén móvil | 14__ volante de mano |

Más de 10 años de uso han demostrado que las tuberías de hormigón pretensado poseen una resistencia a las hendiduras superior y una mejor resistencia a la permeabilidad. Se ha verificado que la aplicación de esta clase de tuberías en las centrales hidroeléctricas situadas debajo de un salto de agua de 200 m es factible y segura. Las tuberías de hormigón pretensado con un diámetro inferior a los 1.300 mm se pueden fabricar con un equipo comparativamente sencillo en el lugar o en la propia planta.

B. Aplicación de válvulas de seguridad en las MCH

Si la carga de una central hidroeléctrica se rechaza repentinamente durante su funcionamiento, el regulador determinará automáticamente el cierre rápido de las aletas guadoras de la turbina, produciéndose en consecuencia un aumento de la presión en los tubos ξ y la velocidad de la turbina β . ξ y β pueden expresarse como funciones de la variable principal T_s , tiempo de cierre de las aletas guadoras. De las características de la tubería de presión y de la turbina se sabe que ξ variará en sentido contrario a β para cierto rango de variación de T_s . Es decir, cuando T_s aumenta, disminuye, mientras que β aumenta, y viceversa. Para una central hidroeléctrica con tubería de presión corta (normalmente el tiempo de comienzo de la tubería de presión T_w es inferior a 2,5 segundos), se pueden obtener valores razonables de ξ y β si se elige adecuadamente T_s . Para una central hidroeléctrica con tubería de presión larga, sin embargo, a menudo resulta imposible seleccionar un valor adecuado de T_s que haga disminuir la ξ máxima y β máxima dentro de un rango aceptable. En ese caso, es habitual instalar una chimenea de equilibrio (o una cámara de equilibrio) para atenuar la contradicción entre ξ máxima y β máxima, garantizando así la estabilidad

del sistema de regulación. Ese método en realidad acorta la extensión efectiva de la tubería de presión y reduce el valor de T_w dentro de límites aceptables. Sin embargo, el empleo de chimeneas de equilibrio exige grandes cantidades de materiales de construcción, eleva los costos y aumenta el tiempo necesario para la construcción. Además, en algunos emplazamientos las chimeneas de equilibrio son difíciles de construir debido a unas malas condiciones topográficas y geológicas. Con el fin de reducir las inversiones de capital y de acelerar la construcción, se ha concebido un plan para sustituir las chimeneas de equilibrio por una válvula de seguridad que emplea un sistema novedoso de control de todo el aceite. La prueba de las características de una válvula de seguridad única en la central hidroeléctrica de Jingganshan de la provincia de Jiangxi y las pruebas industriales, así como cuatro años de experiencia de funcionamiento en la central hidroeléctrica de Longyuan, provincia de Hunán, han demostrado que la aplicación de las válvulas de seguridad de tipo TFW-400 con un sistema de control de todo el aceite puede sustituir con éxito a las chimeneas de equilibrio.

Los datos pertinentes del sistema son los siguientes:

Extensión total del túnel más tuberías de presión 1.950 m, salto 83 m.
Capacidad de la central = 1.600 kW.

De producirse un rechazo de la carga plena en las tres instalaciones, el aumento de la presión en las tuberías ξ es de 14,5% y el aumento de la velocidad de la turbina del 24,4%. Esos valores son sensiblemente inferiores a los de un proyecto en el que se empleen chimeneas de equilibrio ($\xi = 24\%$, $\beta = 32\%$) y son muy cercanos a los valores obtenibles con un cierre óptimo, es decir, $\xi = 11,2\%$ y $\beta = 25\%$. La calidad de la estabilidad y del proceso transitorio en condiciones de perturbaciones con carga y sin carga para el sistema de regulación de la turbina también responden a las exigencias de una central eléctrica. Se produjo un ahorro del costo del 90% con respecto al de una central con chimenea de equilibrio y la central pudo, además, entrar en servicio un año antes de lo previsto.

1. Válvula de seguridad del tipo TFW-400 con un sistema de control de todo el aceite:

El funcionamiento de la válvula de seguridad debe ser sensible, seguro y confiable cuando se utiliza en lugar de una chimenea de equilibrio en los proyectos hidroeléctricos. La mayor parte de las

las válvulas de seguridad utilizadas en el pasado eran de tipo mecánico. La experiencia de muchos años ha demostrado que éstas no son confiables, y las válvulas de seguridad también funcionan con un retraso de 0,5 segundos con respecto a las aletas del distribuidor. En consecuencia, incluso si se instala una válvula de seguridad en una central hidroeléctrica, la elevación de la presión en la tubería seguirá siendo muy alta. Será preciso adoptar medidas de seguridad especiales para proteger la tubería de presión en caso de falla de la válvula de seguridad. Consecuentemente, la válvula de seguridad controlada mecánicamente no podía asumir plenamente la función de reducir la presión del golpe de ariete. Diversos modelos de válvulas de seguridad con sistemas de control hidráulico se mejoraron algo, pero seguían todavía presentando deficiencias. Por ejemplo, algunas válvulas siguen todavía actuando con un retardo de 0,1 a 0,4 de segundo; otras válvulas requieren un aumento de la capacidad de los sistemas de aceite de presión de la turbina; otras poseen sistemas complicados que comprenden un gran número de elementos de control difíciles de ajustar en el lugar, etc. Todas las mencionadas deficiencias se han superado con la válvula de seguridad del tipo TFW-400. Dicha válvula y su sistema de control se describen por separado a continuación.

- a) La construcción de la válvula propiamente dicha: (véase la figura 6-11)

La válvula de seguridad del tipo TFW es de disposición horizontal y consta de una caja del distribuidor (1), una válvula de disco (2), una cámara compensadora (3), el servomotor principal (4), la cámara reguladora del aceite (5) y el tubo de entrada de agua y el tubo de drenaje, la válvula de suministro de aire, etc. El servomotor principal y la cámara reguladora de aceite están íntegramente conectadas con la caja del distribuidor, gracias a lo cual el tamaño es reducido, la construcción, fácil y la disposición, compacta.

La caja del distribuidor de acero fundido está formada por dos conductos de forma parcialmente espiral simétricos a la línea central vertical. Las compuertas suspendidas de la caja del distribuidor impulsarán el agua de entrada hacia el flujo del vórtice, provocando así una dispersión eficaz de la energía antes de que el agua se descargue en el canal de fuga. La válvula está equipada con un dispositivo de suministro de aire para reducir la vibración durante su funcionamiento.

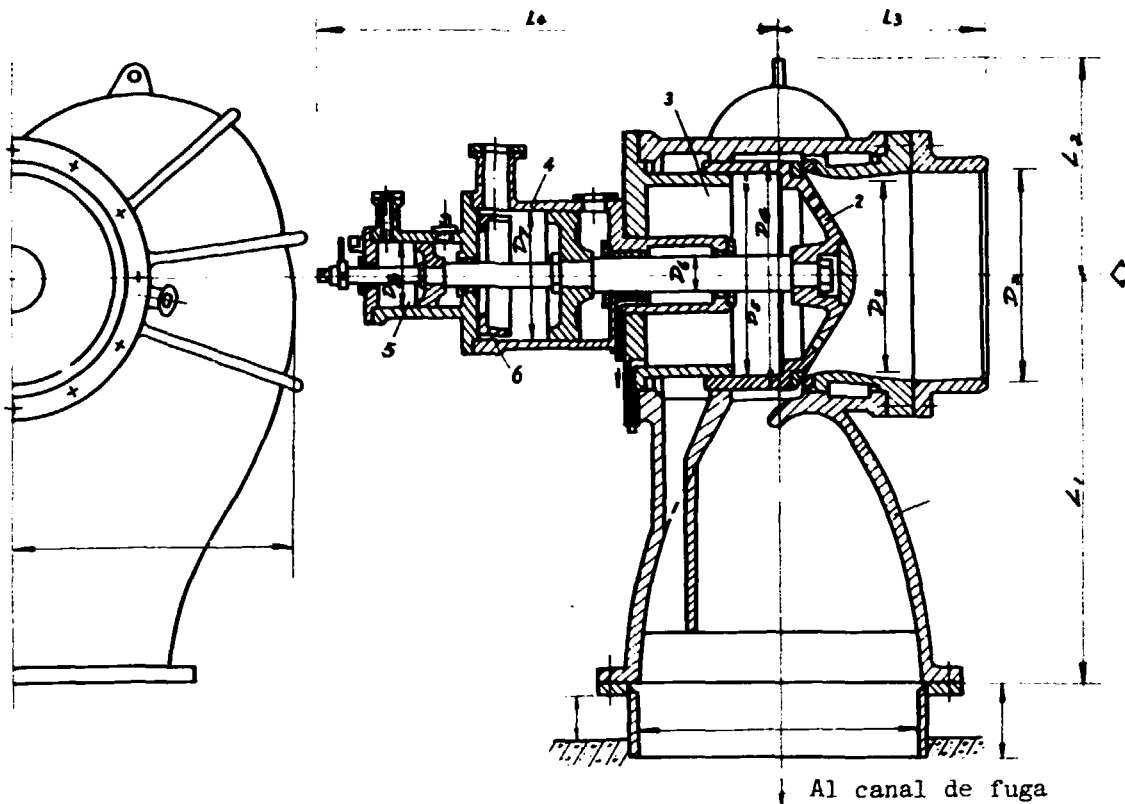


Fig. 6-11 Estructura de la válvula de seguridad

Las válvulas obturadoras pueden ser cónicas o redondas. Se fabrican de acero fundido con una superficie recubierta de cromo para impedir la herrumbre. La válvula obturadora está dotada de varios orificios de compensación para reducir la presión de funcionamiento.

La impermeabilización de la válvula se logra mediante el estrecho contacto entre el anillo de caucho de impermeabilización fabricado de acero inoxidable y colocado sobre la válvula obturadora y el anillo de impermeabilización móvil de fósforo y bronce colocado sobre el cuerpo de la válvula. Esas dos superficies están precisamente pulidas y ajustadas para producir una impermeabilización satisfactoria.

b) Sistema de control de la válvula de seguridad:

La principal característica del sistema de control de la válvula de seguridad es el empleo de aceite de presión para el control directo y completo y para el funcionamiento. Cuenta también con un dispositivo de cierre de dos pasos de las aletas de distribución.

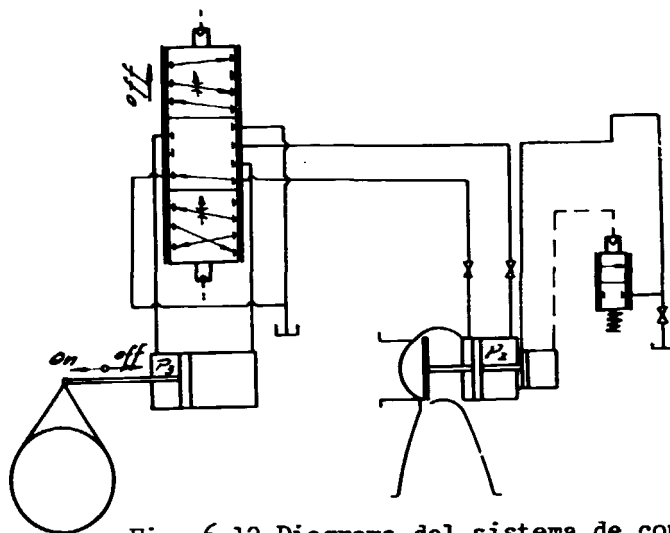


Fig. 6-12 Diagrama del sistema de control

El principio de funcionamiento del sistema de control es el siguiente:

- Cuando la carga de la turbina es constante, el pistón del distribuidor principal está en posición intermedia y el aceite bajo la presión P fluye hacia la cámara de cierre de la válvula de seguridad a través de un orificio de admisión, mientras que la cámara de apertura está conectada con el tubo de drenaje. Como la presión del aceite de la cámara de cierre del servomotor principal es superior a la fuerza del agua sobre la válvula de disco, la válvula de seguridad permanece en una posición cerrada.
- Cuando la carga de la turbina se reduce en una pequeña cantidad (en los límites del 15% de la producción normal), el distribuidor principal sólo se desplaza hacia arriba una corta distancia, de tal modo que una cantidad reducida de aceite bajo presión P entra en la cámara de cierre del servomotor principal para provocar el cierre lento de las aletas de distribución, mientras que la válvula de seguridad permanece cerrada.
- Cuando en un momento dado se rechaza más carga (en una cuantía superior al 15% de la producción normal), el movimiento ascendente del pistón del distribuidor principal es mucho mayor y la válvula de seguridad se abre rápidamente al mismo tiempo que se cierran las aletas de distribución. El funcionamiento de ambas está sincronizado con un retardo de 0.

- A medida que aumenta la carga de la turbina, el aceite bajo la presión p fluye directamente hacia la cámara de apertura del servomotor principal. La válvula de seguridad permanece en posición cerrada.
- "Dispositivo de cierre escalonado": Este dispositivo entra en funcionamiento cuando la válvula de seguridad comienza a abrirse rápidamente. La válvula de seguridad acelera su desplazamiento hacia la posición determinada por el anillo del extremo y luego funciona a una velocidad reducida produciendo así el cierre de las aletas de distribución en dos etapas. El punto de equilibrio del dispositivo de doble etapa puede ajustarse fácilmente in situ.

Si la válvula de seguridad falla, las aletas de distribución se han de cerrar lentamente para que la elevación de la presión en la tubería no pase de los límites permisibles.

2. Calidad del proceso de estabilidad y transitorio del sistema de regulación de la turbina dotado de válvula de seguridad

Cuando se utiliza una válvula de seguridad, tienen gran importancia los problemas siguientes:

- Cálculo de la elevación máxima de la presión en las tuberías ξ y de la elevación máxima de la velocidad de la turbina β cuando se rechaza la carga.
- Cálculo de la estabilidad y la calidad de transitoriedad del sistema de regulación de la turbina cuando se producen pequeñas perturbaciones.

Durante muchos años la práctica ha sido calcular ambos aspectos del mismo problema por separado. Es decir, en caso de rechazo de carga, se utilizan métodos como las fórmulas de Allievi para calcular la elevación máxima de la presión en la tubería ξ y los métodos como las fórmulas S.M.S. para calcular la elevación máxima de la velocidad de la turbina β . Cuando se producen pequeñas perturbaciones de la carga, los cálculos de estabilidad y de calidad transitoria se efectúan simplificando el sistema de regulación de orden elevado original convirtiéndolo en un sistema de tercer orden constituido por una turbina ideal, un regulador ideal y un ariete de agua

de columna rígida. Obviamente, este método de cálculo no es adecuado para las centrales hidroeléctricas que cuentan con una tubería de presión larga y una válvula de seguridad.

El presente estudio trata del proceso transitorio del sistema de regulación sobre la base de la teoría moderna del control e integra los cálculos para perturbaciones grandes y para perturbaciones pequeñas. Tiene en cuenta la no linealidad de los elementos de la turbina y algunos factores importantes no lineales del regulador, como la característica de saturación del dispositivo de medida de frecuencia, el límite de la carrera del amortiguador, y la banda inactiva y el límite de la carrera del distribuidor principal y del servomotor principal. Se pueden obtener resultados precisos tanto en cuanto a la garantía de estabilidad de la regulación como en cuanto al cálculo de la calidad transitoria.

Los cálculos se han presentado en el documento "Application of relief valves in small hydro-electric stations" (Aplicación de válvulas de seguridad en minicentrales hidroeléctricas) destinado al Segundo Seminario sobre la Transferencia de Tecnología relativa a las MCH de la ONUDI, 1980.

La figura 6-13 muestra la estabilidad relativa de un caso en el que se utilizan válvulas de seguridad en comparación con otro en el que se utiliza una chimenea de equilibrio para una central equipada con un regulador de tipo XT-600 (tipo mecánico), cuando funciona aisladamente,

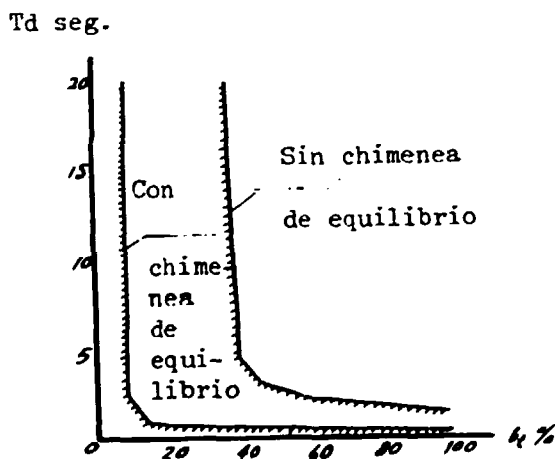


Fig. 6-13 Comparación de la región de estabilidad del regulador

Las instalaciones funcionan sin dificultad cuando están conectadas con una gran red, pero cuando cada instalación soporta una carga aislada, la estabilidad, de producirse pequeñas perturbaciones, depende principalmente del desempeño del regulador; cuanto mayor es la tubería de presión, mejor ha de funcionar el regulador. Por lo tanto, al elegir si se deben utilizar válvulas de seguridad en lugar de chimeneas de equilibrio, se debe insistir en las exigencias técnicas del regulador conforme a las condiciones reales de una central hidroeléctrica determinada.

3. Diseño en serie de la válvula de seguridad y su aplicación.

Los tres lotes iniciales de válvulas de seguridad TFW-400 con sistemas de control de todo el aceite entraron en funcionamiento con buenos resultados a comienzos de 1976 en la central hidroeléctrica de Longyuan, provincia de Hunán.

Actualmente se está procediendo al diseño para la fabricación en serie de válvulas de seguridad para diferentes tipos de turbinas. Se han diseñado y fabricado siete modelos para diversos rangos de salto y cuatro diámetros distintos (\emptyset 400, \emptyset 600, \emptyset 800, \emptyset 1000 mm). Los datos principales se indican en el cuadro 6-1.

Después de la experiencia positiva de Longyuan cada vez son más los proyectos que utilizan válvulas de seguridad en lugar de chimenea de equilibrio. Hasta ahora se han puesto en funcionamiento normal con buenos resultados válvulas de seguridad en varias centrales como las de Jínggāngshān (provincia de Jiangxi), Chāngtānhē (región autónoma de Guangxi Zhuang) y Jíxí (provincia de Fujien). Se han suministrado 33 válvulas de seguridad a otras 17 centrales hidroeléctricas.

Con la adopción de las válvulas de seguridad en lugar de las chimeneas de equilibrio en esas MCH se ha conseguido un ahorro de las inversiones de más de 5,4 millones de yuan. Dicho ahorro no incluye los casos en que las condiciones topográficas y geológicas no han permitido la construcción de una chimenea de equilibrio. Los ahorros de las inversiones en esos casos son difíciles de evaluar con precisión.

Cuadro 6-1 Principales características de las válvulas de seguridad TFW

| Modelo Elemento | TFW 400/130 | TFW 400/320 | TFW 600/130 | TFW 600/300 | TFW 800/80 | TFW 800/160 | TFW 1000/100 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|
| Diámetro D x (m) | 400 | 400 | 600 | 600 | 800 | 800 | 1000 |
| Carrera máx. Yx (mm) | 80 | 100 | 150 | 150 | 200 | 200 | 250 |
| Hp nominal (m) | 130 | 320 | 130 | 300 | 80 | 160 | 100 |
| Salto máx. Hmax = (1 + ξ) Hp (m) | 160 | 400 | 160 | 360 | 100 | 200 | 120 |
| Descarga máx. m ³ /seg. Qx (corresponde a Hmax) | 3,15 | 7,67 | 10,9 | 16,4 | 12,8 | 21,7 | 26,3 |
| Peso de la válvula (ton) | 1,2 | | | | 5 | 8,5 | |

En la figura 6-14 se indica el campo de aplicación de las diversas válvulas de seguridad.

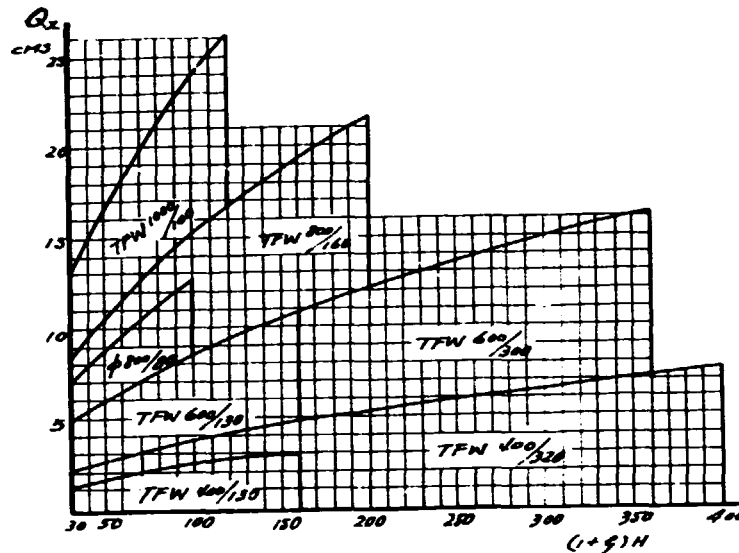


Fig. 6-14 Campo de aplicación de las válvulas de seguridad

En conclusión:

- a) La válvula de seguridad con un sistema de control de todo el aceite presenta ventajas de sensibilidad (no hay retardo), seguridad y fiabilidad, simplicidad en su estructura, y comodidad para el ajuste y el mantenimiento. Entre el servomotor de la válvula de seguridad y el servomotor de la turbina se construye un intercierre hidráulico para permitir la sincronización precisa exenta del funcionamiento múltiple. Con ello se agrega seguridad a la tubería de presión de la turbina, el dispositivo de "cierre escalonado" permite seleccionar mejor los parámetros de regulación. Los valores ξ y β pueden determinarse a partir de dos constantes de tiempo independientes, a saber, el valor de ξ del tiempo de cierre lento de la turbina TSS y el valor de β del tiempo de cierre rápido T_m .
- b) La válvula de seguridad de este sistema de control no actúa en casos de pequeñas perturbaciones. Conviene señalar que cuando se seleccionan los reguladores de una central hidroeléctrica equipada con válvulas de seguridad, el descenso de velocidad temporal del regulador bt , tiempo constante del dispositivo de amortiguación T_d y otros parámetros conexos deben disponer del máximo rango de ajuste posible.

c) A causa de la diferencia entre la característica del flujo de la turbina y el de la válvula de seguridad, es difícil lograr una correspondencia perfecta, con el resultado de que a menudo se produce una disminución de la presión en el intervalo inicial del cierre de la aleta de distribución y en el intervalo final.

La variación uniforme del flujo en todo el sistema de la tubería de presión puede lograrse mediante la selección racional de las relaciones de apertura-cierre de la válvula de seguridad y de las aletas de distribución. La reducción de la presión puede así retardarse o evitarse.

II. Innovación técnica

A. Dispositivo de resistencia hídrica.

La aplicación de un dispositivo de resistencia hídrica reemplaza la de una chimenea de equilibrio. Algunas centrales hidroeléctricas han obtenido buenos resultados utilizando una válvula de seguridad de presión en lugar de una chimenea de equilibrio, pero ello tiene sus límites: sólo es aplicable en las centrales hidroeléctricas pequeñas o medianas con un salto medio o elevado. Un salto bajo y un flujo fuerte provocaría la necesidad de que la válvula fuera de una dimensión excesiva, complicaciones de fabricación, costos elevados de la estructura de salida, etc. Además, resulta igualmente poco adecuado utilizar válvulas de seguridad en centrales en que el agua tenga un alto contenido de limo.

En 1962 se utilizó por primera vez un dispositivo de resistencia hídrica en la central eléctrica de Wang Jia Chang (capacidad instalada de 3 x 1.360 kW) de la provincia de Hunán para sustituir a la chimenea de equilibrio con el fin de vencer la dificultad de construir ésta al pie de la presa. El costo total de construcción del dispositivo de resistencia hídrica fue de 30.000 yuan, mientras que el costo de construcción de una chimenea de equilibrio en el proyecto original habría sido de 110.000 yuan. Desde entonces, el dispositivo de resistencia hídrica se ha recomendado para algunas otras centrales de China y ha sido, además, perfeccionado.

Ese dispositivo es semejante en principio al "equilibrio de carga", que se estudia en el extranjero. Se hace el cálculo de la elevación de la presión y de la velocidad, si la carga es rechazada repentinamente para ver si se

debe utilizar o no un dispositivo de resistencia hídrica en una central hidroeléctrica. Ese dispositivo sólo se debe aplicar cuando el valor calculado excede al valor permisible estipulado por las reglamentaciones técnicas.

Cuando la carga se rechaza repentinamente y la capacidad activa del estator del generador desaparece simultáneamente, el resistor hídrico debe ser puesto en funcionamiento en ese momento por los elementos de arranque como una carga de pretendido. En consecuencia, el regulador de velocidad no se cierra, la aleta de distribución sólo se cierra un poco y únicamente se producen unos procesos de transición con ligeras fluctuaciones en la tubería de presión y la instalación. Cuando la instalación está estabilizada después de cargar el resistor hídrico, se puede descargar gradualmente y la máquina se cierra normalmente. Mediante esta operación se puede garantizar que el aumento de la presión y de la velocidad se mantendrán dentro de los límites permisibles estipulados por los reglamentos.

Si la carga de la resistencia hídrica y la desaparición de la capacidad activa del estator del generador suceden al mismo tiempo, el valor de presión y la velocidad de giro no aumentarán. De hecho, debido a la imposibilidad de sincronismo en el funcionamiento de los elementos de puesta en marcha, la carga de la resistencia hídrica siempre se produce después de la desaparición de la capacidad activa en el generador. Cuando el retardo entre la carga de la resistencia hídrica y la desaparición de la capacidad activa en el generador se alarga, la eficacia de la reducción de la presión y de la elevación de la velocidad de giro disminuirá. A la inversa, cuanto antes se cargue la resistencia, más patente será la eficacia. Por consiguiente, conviene que los elementos de puesta en marcha de este dispositivo posean una elevada sensibilidad.

A partir del análisis del funcionamiento de las centrales hidroeléctricas, se ha comprendido que podrían haber sucedido accidentes en el generador o en la resistencia del agua cuando ésta entra en funcionamiento. Por esta razón, se supone en los criterios de diseño que una central está descargando repentinamente y en su totalidad y no cargando la resistencia hídrica. En este caso, se debe garantizar que el valor de la presión y la elevación de la velocidad de rotación no pasen del valor permitido estipulado por los reglamentos.

Es raro que los accidentes internos sucedan a ambas máquinas al mismo tiempo. En este caso de emergencia se permite que el aumento de la presión supere al valor aceptable estipulado por los reglamentos, pero está limitado por el valor de la presión a que puede quedar destruida la tubería de presión. (Cabe adoptar el método de prolongar el tiempo de cierre T_s).

Con el fin de prevenir el rechazo de la resistencia hídrica, es necesario que se instale un dispositivo de resistencia hídrica de reserva, pero se debe prestar particular atención a su mantenimiento y reparación durante el funcionamiento.

De acuerdo con los resultados de los experimentos en tres centrales hidroeléctricas, cabe señalar los siguientes puntos:

- La resistencia hídrica puede sustituir a una chimenea de equilibrio en funcionamiento.
- El "retardo" de la entrada en funcionamiento de la resistencia afecta a su eficacia.

Se requieren nuevos estudios para mejorar y perfeccionar esta innovación técnica.

B. Tercer sistema armónico de inducción de tensión.

Es un tipo moderno de inducción. El estudio, la prueba y la fabricación y la comprobación comenzaron en el decenio de 1960 en China. Se han obtenido resultados bastante positivos.

Actualmente existen dos categorías de una tercera inducción armónica de tensión en China: una para una central de menos de 500 kW de capacidad, que por lo general utiliza un devanado armónico de fase única para proporcionar la corriente de inducción al campo magnético del generador por conducto de unos rectificadores de silicón no controlados. Aun cuando esa estructura es sencilla y barata, tiene el defecto de su inestabilidad en operaciones paralelas y, por consiguiente, no se utiliza a menudo.

La otra categoría es para generadores de más de 500 kW, todos los cuales utilizan SCR como el componente de rectificación. Los tipos de inducción armónica entrañan una fase triple y una fase única integradas con un devanado perifásico fundamental, etc. En China se han logrado buenos resultados en tres provincias con las pruebas de este tipo de excitación. En cinco o seis

centrales se han montado tres tipos de generadores con una capacidad de 1.250, 630 y 800 kW, respectivamente, que funcionan de cinco a ocho años con buena estabilidad, no sólo en el funcionamiento aislado, sino también en diversas formas de funcionamientos paralelos. El conjunto de 630 kW de ese tipo producido en la provincia de Gansu se ha utilizado en más de cinco conjuntos.

Resumidas de manera elemental, las ventajas excepcionales de esta inducción se pueden describir de la manera siguiente:

1. Viabilidad económica:

Se toma un generador de 630 kW a título de ilustración, del tipo TSW 143/39-12 (la T indica generador sincrónico, la S hídrico, la W horizontal, 143/39, el diámetro y la longitud de la hoja laminada del estator en cm, y 12 es el número de postes). El medio de excitación utilizado originalmente para esta generación es un excitador de corriente continua y un viejo regulador de inducción compuesta. Más tarde se revisaron los polos magnéticos del rotor y se incorporó un conjunto de un tercer devanado adicional armónico al elemento automático del estator sin modificar el diámetro de su hoja. Un conjunto de un SCR especialmente concebido y de un regulador automático se ajustaron al generador. El costo de este nuevo sistema de inducción es muy inferior al del antiguo. El costo del conjunto original es del 100%; el costo del nuevo conjunto es del 87%. Si sólo se tiene en cuenta el costo del sistema de inducción (con exclusión del generador propiamente dicho), el nuevo tipo representa sólo el 58% del antiguo en cuanto al precio. Además, la inducción armónica de tensión ahorra aproximadamente el 50% del cobre utilizado con el sistema original. Incluso en comparación con la excitación generalmente utilizada SCR con un transformador en la terminal externa del generador, la inducción armónica de tensión puede ahorrar tanto costo como cobre.

2. Desempeño tecnológico satisfactorio:

Además de las ventajas de todo tipo de excitación SCR, existen algunas otras características destacadas en la excitación de tensión armónica como la excelente capacidad de inducción autoforzada y la influencia muy reducida que en ella ejerce la fluctuación de frecuencia, etc.

3. Reducción de la labor de mantenimiento y reparación:

Otro beneficio para las pequeñas centrales consiste en que exige menos trabajo de mantenimiento y reparación en comparación con el inductor de corriente continua que a menudo requiere un tratamiento mecánico al ocuparse de la erosión del conmutador.

Sin embargo, la labor de diseño y cálculo de este tipo de excitación es bastante larga. El generador propiamente dicho puede revisarse, de ser necesario. La teoría de este tipo de inducción no está a punto. China se encuentra actualmente en la etapa de experimentación.

C. Garantía de la calidad y aumento de la fiabilidad del suministro de energía.

Las exigencias de calidad del suministro de energía de las redes locales se especifican como sigue:

Fluctuación del ciclo $\leq \pm 1$ Hz, fluctuación del voltaje $\leq + 5\%$ o -10% .

Las MCH con una capacidad superior a los 500 kW suelen estar equipadas con un control automático del regulador y un regulador de tensión. En condiciones normales tanto la tensión como el ciclo se mantendrán dentro de los límites autorizados. En cuanto a las minicentrales con una capacidad inferior a los 500 kW, el regulador se controla a mano y el sistema de inducción es de control manual o automático. Si la central funciona aisladamente, los campos de fluctuación del ciclo y de la tensión pueden ser grandes.

Como resultado del rápido desarrollo de las MCH, en muchos lugares se han establecido pequeñas redes eléctricas, lo que ha contribuido a dar seguridad al suministro. Por lo común la capacidad instalada de una red de condado varía de varios miles a diez o veinte mil kW. Con la práctica muchos países han acumulado una provechosa experiencia que puede resumirse así:

1. Para elevar la seguridad de suministro de energía, es necesario establecer una pequeña red local. Es aconsejable integrar las pequeñas redes locales en la red estatal, si se satisfacen las condiciones necesarias.
2. La pequeña red local debe contar con varias unidades grandes con el fin de soportar el impacto de la carga y estabilizar el funcionamiento de la red.

3. La pequeña red local debe tener una capacidad instalada suficiente y también una capacidad de reserva.
4. A cada central de la red se le debe asignar una tarea razonable, reforzando la labor de distribución.
5. La estructura de la red debe mejorarse para elevar la calidad de las líneas de transmisión.
6. La protección de los relevadores debe mejorarse dividiéndola en tres fases, a saber, el condado, la comuna y la brigada de producción, con el fin de reducir al mínimo el área que pueda ser afectada por accidentes.
7. Mejoramiento de la comunicación: actualmente todas las centrales con una línea de alimentación de 35 kV están dotadas de un equipo de comunicación que las conecta con el centro de distribución de energía del condado.

III. Formación del personal de las MCH

Para dar capacitación técnica al personal de las MCH se dispone de los siguientes medios:

- 1) Capacitación en los establecimientos docentes:
 - Institutos de enseñanza superior: existen unos diez institutos y departamentos universitarios especializados en el campo de los recursos hídricos y la energía hidroeléctrica. En las facultades de ingeniería también existen muchos departamentos cuyas especialidades están relacionadas de algún modo con la energía hídrica. Los graduados de esos establecimientos suelen pasar a ser los técnicos de nivel superior encargados del estudio, el diseño, la construcción, la instalación y las investigaciones relacionadas con las MCH.
 - Los establecimientos de enseñanza técnica secundaria: establecidos por lo común por la provincia o el municipio y ampliamente extendidos por todas las provincias o prefecturas (en las que los recursos hídricos son abundantes). Los diplomados de estos establecimientos son enviados habitualmente a la División

de conservación del agua de la provincia, la prefectura o el condado. Son la principal fuerza de trabajo de las MCH a nivel de condado.

- Las escuelas técnicas para trabajadores: Los estudiantes reciben adiestramiento como trabajadores calificados en las esferas de la construcción, la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento.

2) Cursos de capacitación:

Los cursos de capacitación son de diferentes niveles. Normalmente el curso de capacitación de nivel estatal es patrocinado por el Ministerio de Conservación del Agua y los participantes son designados por la provincia. En la mayoría de los casos son el personal esencial de la provincia.

A los cursos de capacitación patrocinados por la provincia asisten técnicos calificados que forman parte de la sección de conservación hídrica del condado.

Esos cursos de capacitación se organizan periódicamente de acuerdo con la demanda.

3) Formación a través de la práctica:

Las nuevas MCH envían a los trabajadores sin experiencia a las centrales antiguas para que se capaciten por medio de la práctica. Una vez formados esos trabajadores regresan a sus centrales recién instaladas y trabajan como aprendices.

4) Formación en el empleo.

IV. Reducción del costo de las MCH

En China se recurre a muchos métodos y prácticas para reducir el costo de las MCH:

- planificación y selección razonable del emplazamiento;
- selección razonable del tipo de explotación y distribución del proyecto;
- utilización con fines múltiples;

- serialización, uniformación y popularización de las máquinas y el equipo;
- aplicación de los resultados de las investigaciones teóricas y de la experimentación, como las tuberías de hormigón pretensado, las válvulas de seguridad, etc.;
- un diseño adecuado de las redes eléctricas y de sus estructuras, así como de la elección de la tensión.

Todos estos métodos contribuyen a reducir el costo. En cuanto a las obras civiles del proyecto de una MCH, la utilización de los materiales locales disponibles es también un medio eficaz de disminuir el costo. El pueblo chino ha acumulado considerable experiencia en la construcción de proyectos de conservación del agua y de energía hídrica. Además de las presas de tierra, existen varios otros tipos de presa de construcción sencilla que son atractivos por los ahorros en los costos que suponen.

La presa es la principal estructura utilizada para conseguir el salto de agua en la planta hidroeléctrica "tipo presa". No obstante, se construyen también presas en las plantas hidroeléctricas "tipo derivación", pero su función consiste principalmente en mejorar la condición de la toma.

Las presas de las MCH suelen ser de vertedero y se utilizan para descargar las avenidas y reservar las estructuras para dar salida al caudal. Estas presas bajas se denominan azud o dique vertedero y tienen una altura inferior a 5-6 metros. El pueblo chino lleva mucho tiempo construyendo diques y presas para luchar contra los desastres producidos por las inundaciones y la sequía y ha acumulado una considerable experiencia. Además de las presas de tierra y de las presas de mampostería de piedra, los chinos han introducido también ciertas innovaciones para la construcción sencilla, que son útiles para estudiar la forma de reducir los costos de las MCH. A continuación se describen algunas presas que pueden utilizar el material local disponible.

A. Presas de tierra

Las presas de tierra son las más populares en China; hacen posible el empleo de materiales locales y facilitan la construcción por las masas populares debido al uso de maquinaria simple. Si se dispone del

material para la presa, las presas de tierra son adaptables a casi todos los tipos de terrenos firmes de todas partes, debido a sus escasas exigencias.

En la construcción de una presa de tierra se utilizan diversos materiales: loess, arcilla aluvial, tierra cohesiva de cascajo, tierra y cascajo, arena fina, etc. Por otro lado, en las provincias de clima frío y lluvioso del sur de la China, se ha utilizado a menudo tierra de laterita. Esta tierra (con una elevada proporción de partículas de arcilla) se suele emplear para el muro interior de impermeabilización de la presa de tierra. Esta está representada en la figura 6-15

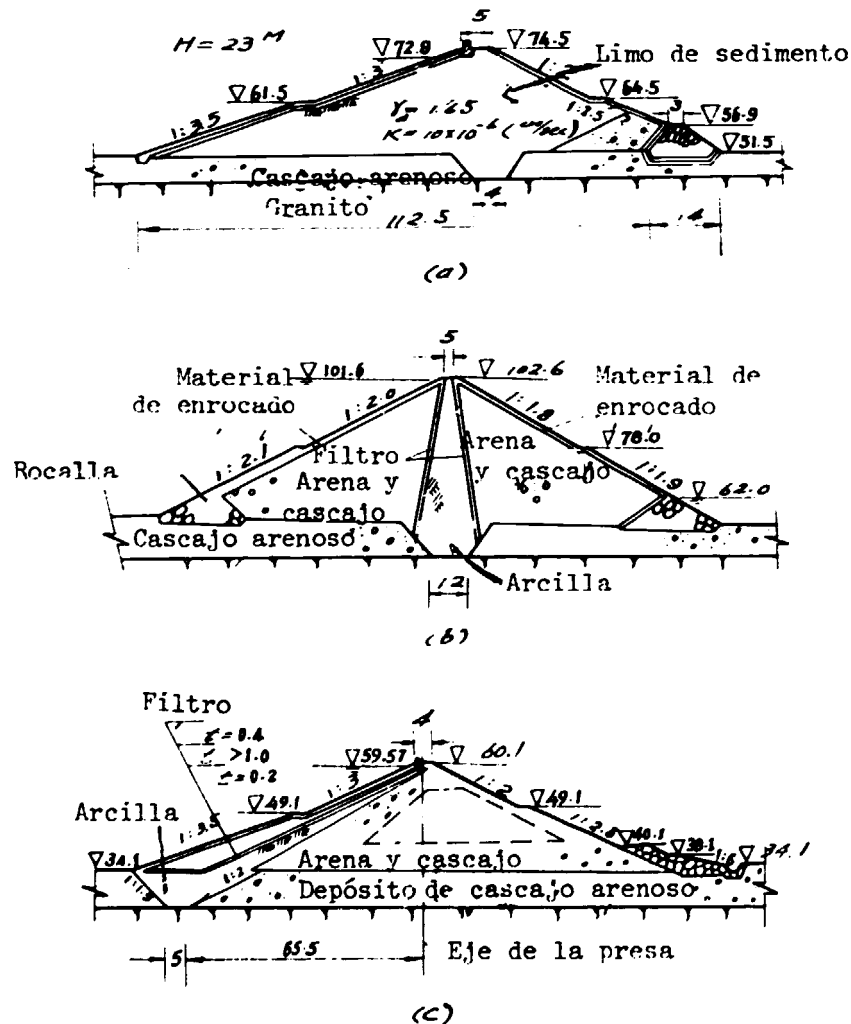


Fig. 6-15 Tipo de presa de tierra

- a) Homogénea
- b) Muro interior central
- c) Muro interior inclinado (arriba)

En las regiones que no disponen de suficiente tierra y cascajo, pero donde abunda el suelo cohesivo, la mayoría de las presas construidas son de estructura homogénea. La presa de tierra homogénea, que es más sencilla de construir y puede afirmarse con un equipo de apisonar sencillo, se ha hecho muy popular en China, especialmente en las regiones donde existen profundos depósitos de tierra cohesiva de cascajo y de loess. El 65% de las presas de tierra terminadas son de tierra homogénea.

B. Presas de mampostería de piedra

China cuenta con una larga historia de construcción de presas de mampostería y ha acumulado mucha experiencia al respecto. Las presas de mampostería consumen de un 45 a un 50% menos de cemento que las presas de hormigón y también requieren menos cantidad de madera. Las técnicas de construcción de estas presas son fáciles para las masas populares porque se sirven de un equipo más reducido y sencillo que es fácil de manejar. En comparación con las presas de tierra y las presas compuestas, las presas de mampostería son las que mejor permiten dominar el caudal durante la construcción o una vez que están en funcionamiento. Durante la crecida, una presa de mampostería puede quedar incluso inundada en el período de construcción. En general estas presas están en funcionamiento efectivo muchos días al año.

Según las estadísticas, el número de presas de mampostería de piedra construidas en China es sólo inferior al de presas de tierra. Por ejemplo, en la provincia de Hunan existen aproximadamente unas 70 MCH con una capacidad instalada total de 413,5 mW (lo que representa cerca del 60% de la capacidad instalada total de las MCH de la provincia) que están construidas de mampostería. El 60% de esas presas son de gravedad.

La figura 6-16 representa la sección transversal de la presa de gravedad de mampostería hueca de Yanwotan, provincia de Hunan. Las condiciones geológicas son favorables. Las rocas afloran de ambos estribos. La profundidad de los depósitos de arena y cascajo es de 8-10 m. La longitud de la presa de gravedad de mampostería hueca, de vertedero, es de 59 m y su altura máxima, de 66 m. La anchura de la cavidad del hueco es de 16,5 m en la parte inferior. La altura de la cavidad es de 24 m. La superficie de la cavidad representa el 15% de la sección transversal de la presa. Los cimientos de la parte ahuecada no están forzosamente despojados para acelerar la construcción y reducir la fuerza de levantamiento. El período de construcción

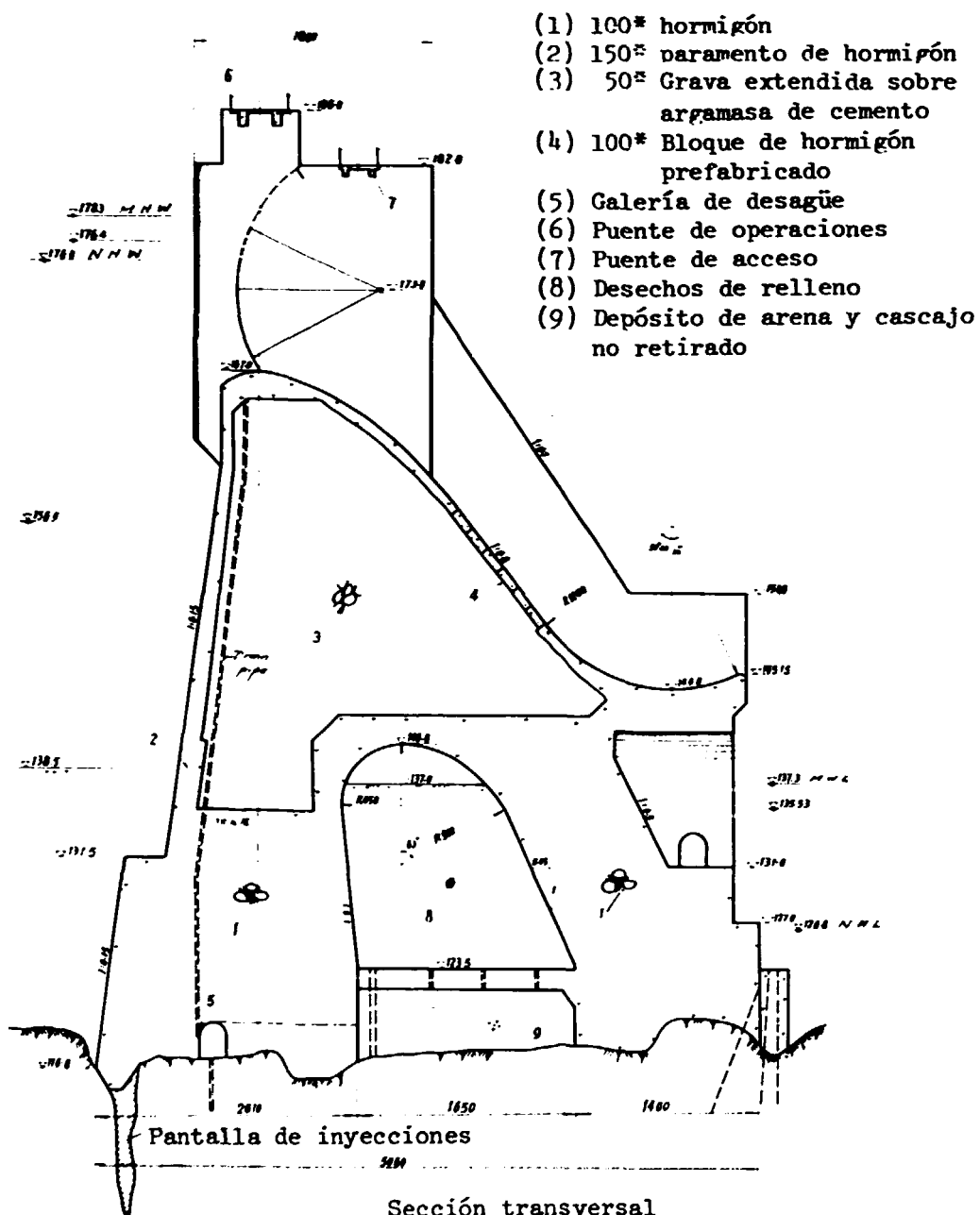


Fig. 6-16 Presa de gravedad de pantalla de Yanwotan
 Unidad: elevación en m
 dimensión en cm.

de la presa de Yanwotan fue bastante corto. El cuerpo de la presa se levantó sobre el nivel bajo del agua durante una sola estación seca. Durante la estación de aguas altas la presa fue inundada siete veces (99 horas en total), pero únicamente se interrumpió durante cinco días de trabajo. La profundidad máxima del desbordamiento es de 9 m. La presa era segura. Su construcción duró 20 meses y abarcó dos estaciones secas y una estación de aguas altas.

En un valle estrecho con condiciones geológicas favorables cabe construir una presa de arco de mampostería de piedra con unas secciones transversales más finas y menos volumen (ahorro del 40 al 50% de la mampostería de piedra y aproximadamente el 40% de cemento, en comparación con las presas de gravedad). Además, en las regiones montañosas que cuentan con amplios valles fluviales se han construido múltiples presas de arco con mampostería de piedra. En comparación con las presas de gravedad, se puede ahorrar de un 30 a un 50% de volumen de la mampostería de piedra. El diseño y la construcción de la presa de gravedad, la presa de arco y la presa de arco múltiple figuran en varios libros sobre ingeniería de presas y no se describirán, por consiguiente, en el presente capítulo.

C. Presas de construcción simple.

1. Presas de revestimiento duro.

a. Construcción de las presas de revestimiento duro:

Estas presas están constituidas por mampostería concertada extendida en seco o por arena y cascajo amontonados como su parte principal, cubiertos por mampostería concertada extendida en mortero de cemento o por hormigón como revestimiento duro, con el fin de impedir las infiltraciones y la erosión. En 1965 se construyó este tipo de presa en la provincia de Guangdong, y sigue dando buenos resultados. En 1967 se construyó con carácter experimental este mismo tipo de presa con revestimiento de mampostería concertada extendida en seco en la provincia de Zhejiang (véase la figura 6-17). Las presas de revestimiento duro son adecuadas como diques bajos sobre cimientos de roca en lugares con abundante arena y piedra pero suelo insuficiente.

Como el cuerpo de las presas de estructura dura es material suelto y sin cimentar, por ejemplo, mampostería concertada extendida en seco, rocalla o arena y cascajo, cuando una parte cualquiera de

la estructura dura se hiende, es fácil que toda la presa se derrumbe. Debe prestarse atención tanto al diseño de la estructura como a la supervisión de la construcción.

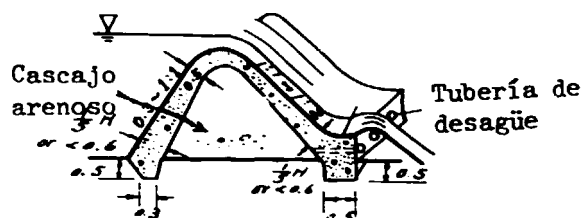


Fig. 6-17 Presa de estructura dura de mampostería
(Unidad:m)

Los cimientos del muro aislante, que también soportan la estructura dura, deben ser tratados adecuadamente y penetrar 0,5 m en la roca sólida. No es necesario tratar los cimientos de las demás partes de la presa. Por ejemplo, una presa de 17 m de altura de la provincia de Guangdong tiene una montera de rocas de 6 m de profundidad. Sólo se han retirado la arena y el cascajo del muro aislante. La montera de rocas bajo la estructura de la presa no está tratada. Con todo, conviene supervisar el control de calidad del núcleo para evitar su asentamiento no permisible que, como resultado de la separación entre el núcleo y la estructura, puede causar daños a la presa.

b. Diseño estructural:

Por conveniencias de construcción y para reducir la presión lateral del núcleo, se elige una inclinación de 1:0,3 a 1:1 para la estructura de aguas arriba. La inclinación de la estructura de aguas abajo es bastante reducida, normalmente de 1:1 a 1:2 a causa del desbordamiento. Es preferible que la estructura dura de mampostería de piedra adopte la forma de arco. En ese caso, la estructura resistirá sea cuál sea el asentamiento del núcleo. La inclinación de la estructura puede ser aún menor, si es necesario.

El cálculo de estabilidad de este tipo de presas es básicamente el mismo que para las presas de gravedad. Como los materiales de la estructura y el núcleo son diferentes, se deben tomar en consideración pesos específicos diferentes y también distintos coeficientes de fricción en el cemento utilizado. El material del núcleo se considera permeable. Las fuerzas

ascendentes que actúan sobre el núcleo no se toman en consideración. La densidad de colocación de la mampostería concertada extendida en seco es $\gamma_1 = 2,1 \text{ T/m}^3$ (razón vacante $< 25\%$), de arena y cascajo $\gamma_2 = 1,7 - 1,8 \text{ T/m}^3$, de estructura de mampostería de piedra $\gamma_3 = 2,1 - 2,2 \text{ T/m}^3$.

La estructura dura está sostenida por el núcleo de la presa. El espesor de la estructura es de 0,6 a 1,5 m en la mayor parte de los casos (a veces de 2 a 3 m para presas bastante altas). La estructura exterior es de mampostería concertada en mortero de cemento más el revestimiento de capa de cemento o mampostería concertada en mortero de cemento o de hormigón más el revestimiento de hormigón armado (véase la figura 6-18). El espesor del revestimiento de hormigón armado es por lo menos de 0,2 a 0,3 m y es mayor en las partes curvas. Las barras de acero de refuerzo longitudinales y transversales son de 6 a 9 mm. La distancia entre las juntas de contracción a lo largo del eje de la presa no debe superar los 40 m.

En el pie de la parte de aguas abajo de la estructura hay agujeros de drenaje con filtros invertidos dispuestos por debajo del cangilón con el fin de reducir la presión de infiltración sobre la estructura. Los agujeros se encuentran a una distancia uno de otro de 3 a 5 m y su diámetro es de 10 a 15 cm. El filtro invertido tiene tres rangos para impedir que se extraiga el material del núcleo o que se bloqueen las aberturas.

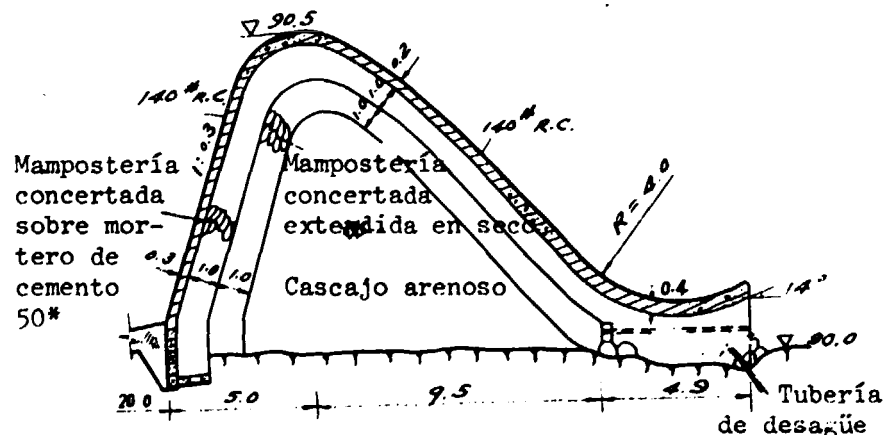


Fig. 6-18 Sección transversal de una presa de estructura dura de mampostería

(Unidad: m)

Con miras a aumentar la rigidez de la estructura dura, reducir la deformación y resistir a la posible presión lateral de los materiales de relleno, es preferible construir un tabique de mampostería de piedra cada 10 a 15 m a lo largo del eje de la presa en la parte interior de la estructura dura. El espesor de ese tabique debe ser de 1-1,5 m ($H \leq 10$ m). Ese tabique presenta la ventaja de que si surge algún imprevisto en algún segmento de la presa, no afectará a la seguridad de la presa en toda su extensión.

c. Técnicas de construcción:

Una vez terminado el tratamiento de los cimientos, la mampostería concertada extendida sobre el mortero de cemento empieza a depositarse. En una presa importante sobre el cimiento de roca se coloca una capa amortiguadora de hormigón de 10 a 30 cm con el fin de obtener un buen contacto con el cimiento de roca y la mampostería. La junta de la mampostería concertada debe llenarse con argamasa de cemento. La elevación de la estructura debe efectuarse 3 ó 4 días antes que el material del núcleo para que tenga la resistencia suficiente para soportar la presión lateral de ese material.

De acuerdo con la experiencia, la porosidad de la mampostería concertada extendida en seco o de la arena y el cascajo del material del núcleo es superior al 30%. Su densidad de colocación es sólo de 1,6-1,8 T/m³. Suele utilizarse arena de río para llenar los huecos por descarga, aumentando así el peso de colocación en un 10 a un 15%. La descarga de arena se debe efectuar capa por capa. Primero se extiende una capa de piedras de 30 a 50 cm de espesor. Luego una capa de arena de 5 a 7 cm encima de ella y se extiende para que llene los huecos entre las piedras.

Cuadro 6-2 Dimensión de referencia de la presa con una estructura exterior de mampostería de piedra

| Descarga por metro cm/m | Altura del dique (m) | Dimensión de la sección transversal | | |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | | Anchura superior | Inclinación aguas arriba | Inclinación aguas abajo |
| < 3 | < 3 | 1,5-2,0 | 1:0,75-1:1 | 1:1,3-1:1,5 |
| | 3-5 | 2,0 | 1:1 | 1:1,5-1:2,0 |
| 3-6 | < 3 | 2,0 | 1:0,75-1:1 | 1:1,5-1:2,0 |
| | 3-5 | 2,0-2,5 | 1:1 | 1:2,0-1:2,5 |
| 6-10 | < 3 | 2,0 | 1:0,75-1:1 | 1:2,0-1:2,5 |
| | 3-5 | 2,0-2,5 | 1:1 | 1:2,5-1:3,0 |

2. Presas de piedra firme

Una presa de piedra firme no requiere cemento. La presa está constituida principalmente por rocalla o cascajo o arena pedregosa, con piedras firmes en los taludes de aguas arriba y de aguas abajo. Este tipo de presa hace pleno uso de los materiales locales disponibles; también permite que las masas populares construyan solas una presa con una pequeña inversión. El condado de Fengshun de la provincia de Guangdong cuenta con un historial de varios cientos de años de construcción de este tipo de presas. Algunas de ellas han prestado buenos servicios hasta ahora después de haber sufrido muchas inundaciones a lo largo de su historia. En el condado de Chongjiang de la provincia de Sichuan se construyó hace más de 500 años una presa de vertedero de 2 a 3 m de alto de sillar extendido en seco (llamada "presa del impermeable de paja"). En el condado Yuanping de la provincia de Shanxi la presa construida de cascajo apisonado se construyó hace más de 800 años.

En las provincias de Guangdong, Zhejiang, Fukien, Sichuan y Hunan existen diversos tipos de presas de piedra extendidas en seco construidas con materiales locales disponibles y adaptadas a las condiciones locales. Esas presas soportan mejor una mayor deformación de los cimientos y se pueden construir sobre una base de arena y cascajo así como sobre cimientos de arena o tierra.

Durante la construcción relativamente no es muy necesario derivar las aguas del río y drenar los pozos de los cimientos. La colocación de la piedra puede efectuarse incluso bajo el agua cuando la profundidad es inferior a 0,5 m. La excavación de los cimientos es bastante sencilla; sólo se extraerán el cieno, la arena y las materias orgánicas. El defecto de esta presa es su debilidad de integración y las filtraciones. Para superar estos fallos, la selección de la piedra y la destreza en el trabajo de apisonado se deben supervisar estrictamente.

Para este tipo de presa se suele adoptar la sección transversal trapezoidal (véase la figura 6-19). Las dimensiones de referencia figuran en el cuadro 6-3. En la figura 6-20 están representadas presas de mampostería de piedra apisonada de diversos tipos.

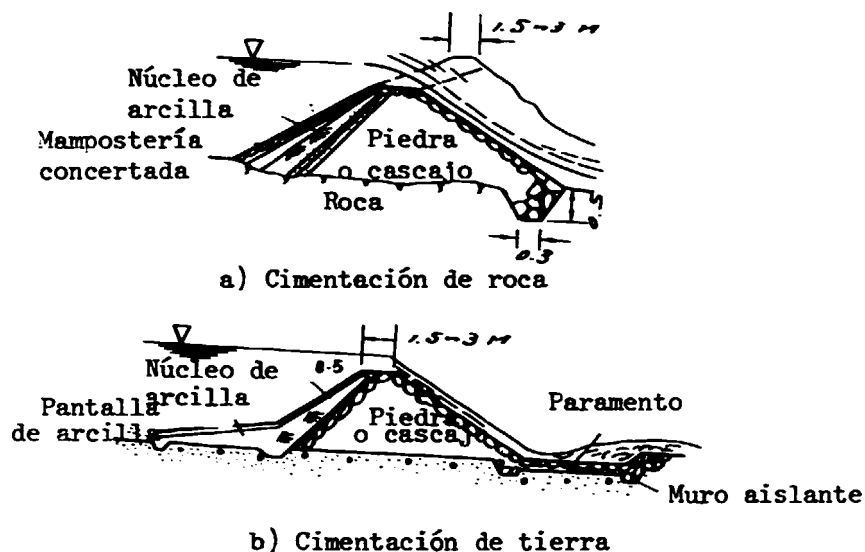


Fig. 6-19 Sección transversal de una presa de mampostería concertada extendida en seco

Cuadro 6-3 Dimensiones de referencia de una presa de piedra firme

| Cimiento | Altura de la presa (m) | cm/m | Anchura de la coronación (m) | Talud | |
|-----------------------------|------------------------|------|------------------------------|--------------|-------------|
| | | | | Aguas arriba | Aguas abajo |
| Cimiento de roca | < 2 | < 3 | 1,5-2,0 | 1:0,5-1:0,75 | 1:1,5-1:2 |
| Cimiento de roca | < 2 | 3-6 | 2,0 | 1:0,75-1:1 | 1:2-1:2,5 |
| Cimiento de roca | 2-5 | < 3 | 2,0 | 1:0,75-1:1 | 1:2,5-1:3 |
| Cimiento de roca | 2-5 | 3-6 | 2,0-2,5 | 1:0,75-1:1 | 1:3-1:3,5 |
| Cimiento de arena y cascajo | < 2 | < 3 | 2,0 | 1:0,75-1:1 | 1:3-1:3,5 |
| | < 2 | 3-6 | 2,0 | 1:0,75-1:1 | 1:3,5-1:4 |
| | 2-4 | < 3 | 2,0 | 1:0,75-1:1 | 1:4-1:4,5 |
| | 2-4 | 3-6 | 2,0-2,5 | 1:1 | 1:4,5-1:5 |

a. El límite de la filtración para las presas de piedra firme:

La principal consideración en el diseño de las presas de este tipo es la prevención de las filtraciones del embalse de la presa y los cimientos: la estabilidad del talud de la presa y la prevención del escurrimiento del agua por el paramento de aguas abajo.

- Cimiento de roca: como puede verse en la figura 6-19 a), se utiliza un núcleo de arcilla impermeable con una inclinación 1:1.5-1:2,0.

El espesor previsto de ese muro es de 1:4-1:6 del salto y no de menos de 1 m en la parte inferior y de 0,5 m en la coronación. Del lado de aguas arriba el núcleo está protegido por una capa de 15-20 cm de cascajo y luego otra capa de mampostería concertada de enrocado firme. Entre el muro de arcilla y el cuerpo de la presa existen 2-3 capas filtradoras. Si el río es abundante en limo y esas presas de piedra firme no tienen filtraciones, se deja que la presa filtre durante los dos primeros años. Los huecos se irán llenando con el limo de las crecidas y con el tiempo se formará un muro inclinado y una pantalla impermeables que formarán el paramento de aguas arriba de la presa.

- Cimiento con montera: Con este tipo de cimiento se requiere una pantalla de arcilla impermeable además del muro inclinado, como se indica en la figura 6-19b). La extensión de la pantalla es de unas 3 a 5 veces la altura y su espesor al pie de la presa de 1-1,5 m y en la parte extrema de aguas arriba de 0,5 m. Al final de la pantalla hay un tabique.

b. Paramento exterior:

En las presas sin una base rocosa, se debe prever un paramento exterior al pie de la presa río abajo. La extensión de ese paramento es de 2 a 5 veces la altura de la presa o 1 5 veces la profundidad del agua río arriba. Su espesor deberá pasar de 0,5 m. Si el paramento exterior está construido con piedra firme, se deberá compactar sólidamente la mampostería concertada e intercalarla. Aguas abajo del paramento se debe construir una protección de castos o encofrados de madera con rocalla de una extensión equivalente a 3-5 veces el salto del agua.

c. Tratamiento de los cimientos:

Lo fundamental en lo que respecta al tratamiento de los cimientos de este tipo de presa es el tratamiento de la parte de río abajo, que es muy

importante para la estabilidad de la presa. En general sobre una base de rocas se excava una trinchera aislante de 0,5 m y se llena con mampostería de hormigón, como muestra la figura 6-19 a). Otra medida consiste en erigir columnas de piedra cada 3 ó 4 m en la trinchera aislante y también una fila de piedra tallada aguas arriba junto a la presa de diez columnas, como muestra la figura 6-20 a). En los cimientos sobre tierra, después de desmontarlos, se deben hincar a 1,5-2,0 m en la tierra un conjunto de pilotes de madera a una distancia de 1 m uno del otro y colocar horizontalmente una fila de troncos inmediatamente corriente arriba de los pilotes como se representa en las figuras 6-20 a) y 6-21 b). Además, se debe construir un paramento exterior aguas abajo para protegerse contra el desbordamiento.

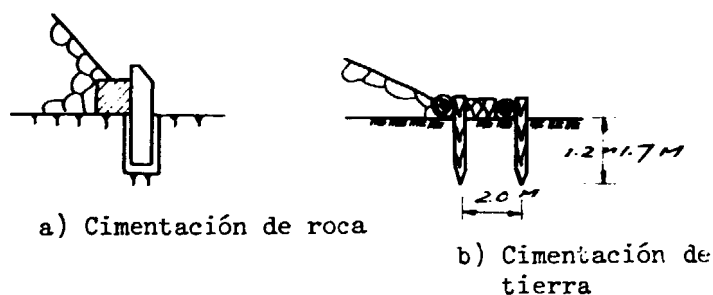


Fig. 6-21 Tratamiento del pie de una presa de mampostería en seco

d. Control de calidad:

La construcción debe efectuarse con meticulosidad. No se pueden utilizar las piedras de tamaño pequeño. Se colocarán bloques grandes de piedra de 0,6 a 1,0 m de extensión y con un peso superior a los 150 kg por bloque en el exterior del talud, así como en la base o el pie de la presa, su coronamiento y otras partes que sufren de la erosión. Se seleccionarán rocas sólidas, que sean duraderas y resistan las intemperies del tiempo. Los bloques de piedra del talud exterior deben estar muy unidos. Las juntas deben escalonarse en una posición que permita obtener una buena integridad.

El plan de construcción suele prever la erección de los dos estribos en primer lugar y luego los trabajos en medio de la corriente. Las obras río arriba y río abajo se pueden efectuar simultáneamente. Las partes de

aguas arriba pueden ser ligeramente más altas que las de aguas abajo. Estarán conectadas por el coronamiento de la presa y apisonadas adecuadamente con bloques de piedra sólida.

Una vez que la presa entre en funcionamiento, es posible que se produzca un asentamiento, especialmente después de la primera crecida. También se pueden producir grandes infiltraciones, dando ocasión a que algunos bloques de piedra bajen de nivel, se aflojen o incluso sean arrastrados por el agua. Por consiguiente, será necesario reforzar la inspección y el mantenimiento. Antes y después de cada crecida se debe proceder a una inspección cuidadosa. Hará falta reparar rápidamente las piedras que se han aflojado o que han sido arrastradas por las aguas.

Las presas de piedra firme se utilizan ampliamente en los planes hidráulicos en pequeña escala. En la figura 6-20 están representados cuatro tipos de esta presa. D es la "presa de impermeable de paja". Se caracteriza por la colocación en pendiente aguas arriba de piedras talladas que no son fácilmente arrastradas por las aguas y pueden colocarse de manera incluso más compacta. El ángulo de inclinación es 1:3-1:4. En la figura 6-20 C se representa la sección transversal trapezoidal que es más conveniente construir.

3. Presa de vertedero de tierra y roca.

Esta presa está compuesta de tierra y roca. Es un tipo popular entre las presas de construcción sencilla. Desde 1956 las masas populares del condado de Wenling, provincia de Zhejiang, han construido muchas presas de vertedero de este tipo, sobre cimientos de roca, llamadas presas de Chaokuche. Es un tipo de presa adaptable a condiciones locales caracterizadas por valles estrechos insuficientes materiales en el suelo, la necesidad de grandes volúmenes de excavación para los vertederos, etc. La presa de Chiaohsia de 20 m de altura de tipo Chaokuche, por ejemplo, quedó terminada en 1966 (véase la figura 6-22). Su paramento de aguas arriba es de mampostería de piedra firme con un talud exterior de sólo 1:0,2. Más arriba de la piedra apisonada hay rocalla. Luego hay un muro interior de arcilla sobre el paramento de aguas arriba de la rocalla. Entre el muro interior interior de arcilla y la rocalla están colocadas capas de filtraje. La coronación está protegida por mampostería de piedra tallada en capa de cemento para posibilitar el rebose durante las crecidas (véase la figura 6-23). Como el lecho

del río es de granito duro, no hay posibilidad de disipación de la energía más abajo de la presa. Después de varios años de servicio (la profundidad del rebosamiento ha sido inferior a 1 m), la presa sigue funcionando normalmente.

La "presa de tipo Choakuche" es adaptable a valles estrechos con cimientos rocosos. Su paramento de aguas abajo es de bloques de piedra apisonada con una inclinación interior de 1:0,1-1:0,2, con caída libre. El volumen de los bloques de piedra apisonada y de la rocalla es de 65 al 75% aproximadamente y de la tierra, el 30%. Durante la construcción, el cuerpo de la presa puede utilizarse como paso del caudal. En consecuencia, no es necesario prever una derivación.

Los bloques de piedra firme de la parte de aguas abajo sostienen la presión lateral del agua y el vuelo de aguas arriba. Es aconsejable construir un nuevo cimiento de roca sólida. El peso de cada bloque de piedra no debe pasar de los 300 kg. Es preferible la piedra tallada con una superficie regular.

Las juntas de los bloques de piedra deben escalonarse. La porosidad de la rocalla se especifica que es inferior al 30-40%, con una densidad de colocación de 1,6-1,7 T/m³. Las capas de filtración se colocan entre el muro interior de arcilla inclinado y la rocalla. El espesor de esos filtros debe ser mayor que el de las capas de filtración de las presas de tierra con el fin de que se ajusten a más deformaciones. Es preciso supervisar estrictamente -e inspeccionar regularmente- la calidad del trabajo y los bloques de piedra apisonada del paramento de aguas abajo.

En la figura 6-24 y en el cuadro 6-4 se indican a título de referencia las dimensiones de la sección transversal de una presa de tipo Choakuche. La altura máxima de ese tipo de presa es de 20 m. El salto de agua por encima de la coronación no debe exceder de 1 m. Cuando la altura de la presa supera los 15 m, se recomienda un paramento de aguas arriba variable con doble talud.

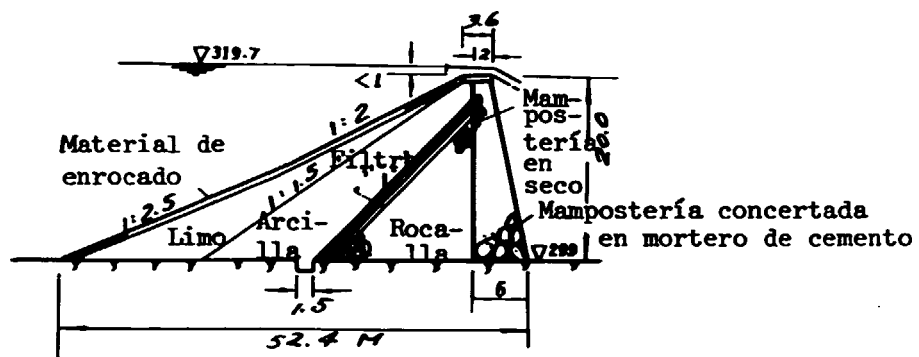


Fig. 6-22 Sección transversal de la "presa compuesta" de Laxia

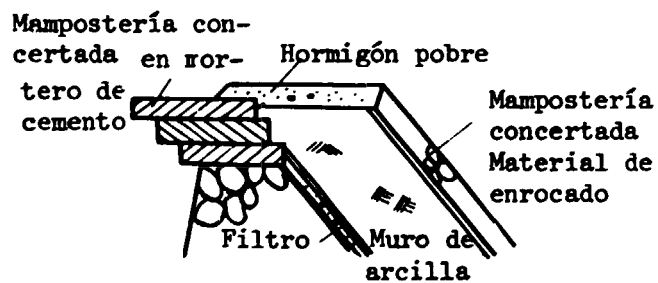


Fig. 6-23 Estructura de la coronación de la presa compuesta

Cuadro 6-4 Dimensiones de referencia de una presa tipo Chaokuche

| Altura de la presa | Profundidad del aliviadero | Anchura de la coronación | Anchura superior de las piedras | Anchura inferior de las piedras | Anchura inferior de la rocalla | Anchura inferior total | Espesor de cada filtro | Espesor total de los filtros | Altura del talud superior de aguas arriba | Talud de aguas arriba | |
|--------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|---|-----------------------|----------------|
| | | | | | | | | | | Talud superior | Talud inferior |
| | H | b | b ₁ | B ₁ | B ₂ | B | | | h ₃ | | |
| | (M) | (M) | (M) | (M) | (M) | (M) | (M) | (M) | (M) | | |
| 10 | 1 | 2,5 | 1,5 | 3,5 | 10,5 | 14,0 | 0,2 | 0,6 | | 1:1,5 | 1:1,5 |
| 15 | 1 | 2,5 | 1,5 | 4,5 | 15,5 | 20,0 | 0,3 | 0,9 | 5 | 1:1,5 | 1:1,75 |
| 20 | 1 | 3,0 | 2,0 | 6,0 | 20,5 | 26,5 | 0,4 | 1,2 | 10 | 1:1,75 | 1:2,0 |

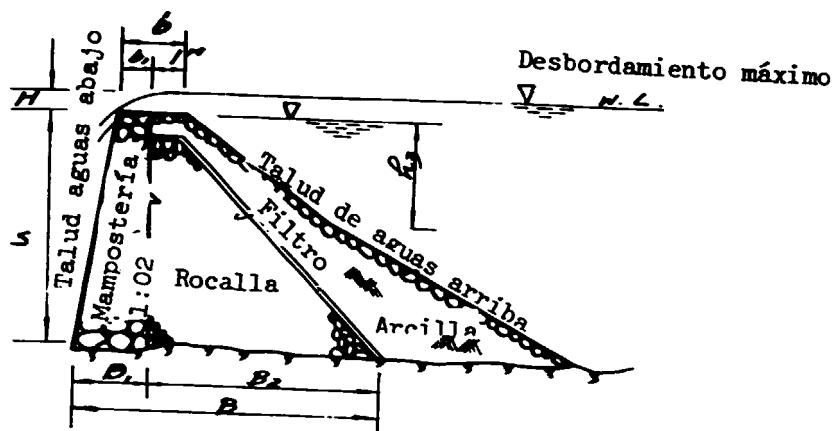


Fig. 6-24 Sección transversal de una presa compuesta tipo Chaokuchē

4. Presa de rocalla

Las presas de rocalla no están generalmente proyectadas como presas de vertedero. Las presas de rocalla de vertedero sin paramento sólo se utilizan como diques de menos de 3 m de altura, (véase la figura 6-25). El talud de aguas arriba del dique es de 1:2-1:3; el de aguas abajo, 1:8-1:12. Esto implica un volumen bastante grande. Sin embargo, sigue siendo fácil de destruir por una crecida. Por lo tanto, este dique bajo de rocalla de vertedero debe construirse sobre los lechos de los ríos de arena y cascajo cuando abunda el material rocoso. Su construcción es bastante sencilla y el costo, reducido.

En la dirección de la corriente del río se construyen muros aislantes longitudinales de 1 m de espesor, de mampostería colocada en argamasa de cemento 50 a una distancia de 10 a 15 m (véase la figura 6-25). Si el depósito del río es poco profundo, el muro aislante intermedio deberá extenderse hasta la roca.

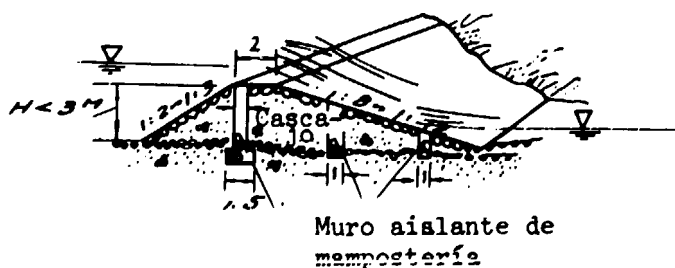


Fig. 6-25 Presa baja de vertedero de rocalla

Si el río es bastante ancho, habrá que construir también muros transversales. Los espacios entre los muros longitudinales y transversales se rellenan con rocalla cascajo y arena gruesa y luego se apisonan capa por capa. La mampostería de piedra de la superficie del dique debe ser lisa y sólida. El peso de cada bloque no debe ser inferior a 50 kg. Con el fin de impedir el filtrado en la parte de aguas abajo, se debe construir un paramento exterior de bloques de piedra apisonada, con una extensión de 2 a 5 veces la altura del dique y un espesor de 0,5m.



85.09.20

AD. 86.07