

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.3.6
23 de enero de 1961

ESPAÑOL
ORIGINAL: INGLES

CATALOGADO

SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

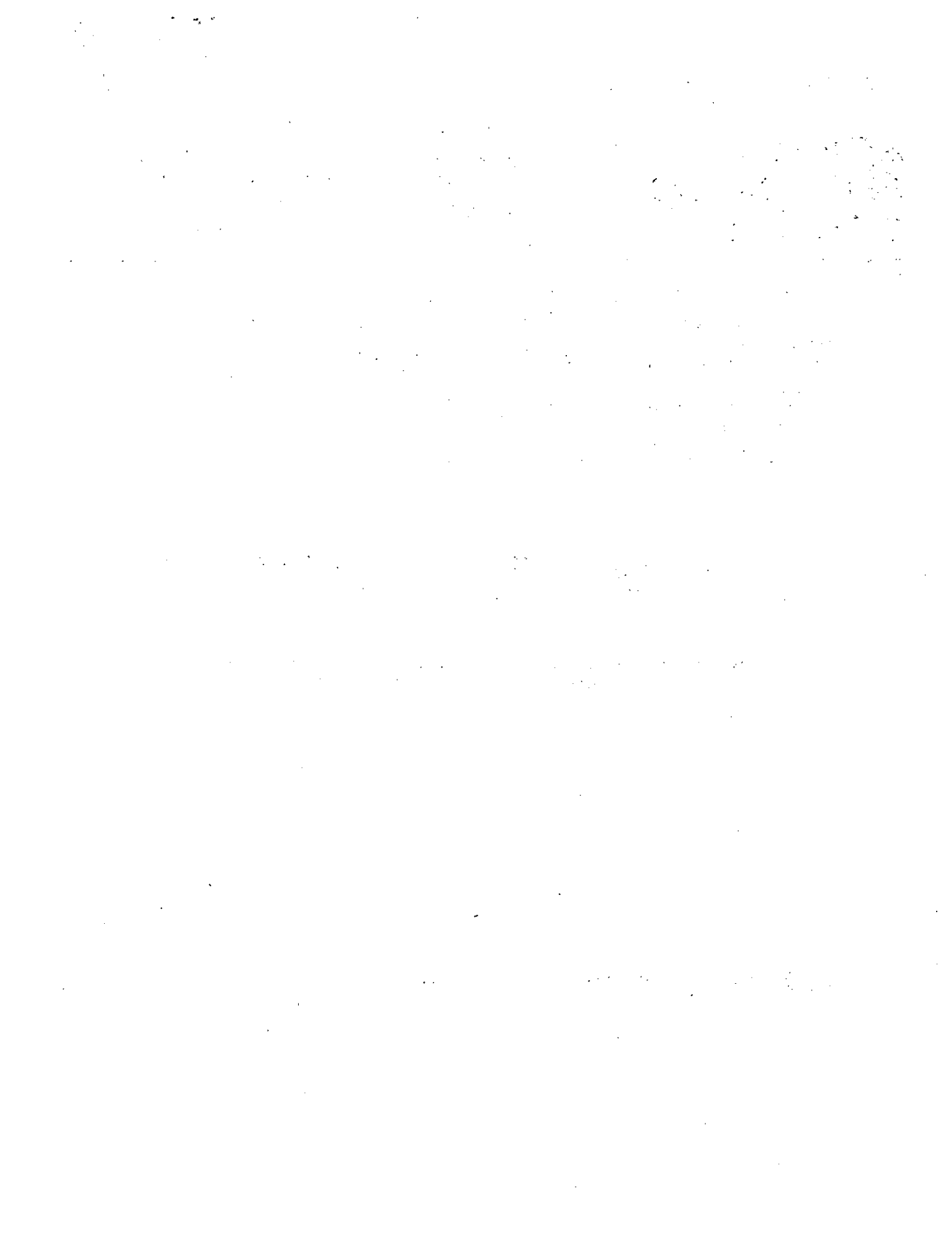
Auspiciado por la Comisión Económica para América Latina, la Dirección de Operaciones de Asistencia Técnica y la Subdirección de Recursos y Economía de los Transportes de las Naciones Unidas, conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos.

México, 31 de julio a 12 de agosto de 1961

RECOLECCION Y EMPLEO DE DATOS HIDROLOGICOS E HIDROMETEOROLOGICOS
PARA LA EXPLOTACION Y PLANEAMIENTO DE LOS SISTEMAS

Presentado por el Bureau of Reclamation del Departamento
del Interior de los Estados Unidos

Nota: Este texto será revisado editorialmente



Se considera que la recolección y uso de los datos hidrológicos e hidrometeorológicos es una de las fases más importantes del trabajo de planeamiento y explotación de proyectos de aprovechamiento múltiple en la zona occidental de los Estados Unidos. El clima de la parte occidental del país se caracteriza por las grandes fluctuaciones que se producen en las precipitaciones, temperatura y caudales de año en año y entre las diferentes zonas geográficas. Afortunadamente disponemos, para el planeamiento del desarrollo de proyectos de aprovechamiento múltiple, de las estadísticas acumuladas durante sesenta años, pero nos damos cuenta que éstas no son suficientes para el perfecto diseño de proyectos.

La zona occidental de los Estados Unidos es relativamente nueva, y la recopilación de estadísticas sólo se inició en los últimos años del siglo diecinueve. Incluso en esa época los datos acumulados eran escasos, ya que no era posible establecer una red extensa de instalaciones de observación y medición, y además en ese tiempo no era tan evidente su necesidad. La mayor parte de nuestras estadísticas datan sólo de 1900.

Los valores estadísticos sobre precipitaciones y temperaturas son los más completos y los que se han acumulado durante mayor tiempo. A medida que fue surgiendo la necesidad de desarrollar los recursos hidráulicos, se fueron ampliando las mediciones de los caudales. Gran parte de estas mediciones se iniciaron en el decenio de los 20, lo cual afortunadamente nos proporciona un período de anotaciones apropiado para servir de base al diseño de proyectos. Estableciendo la correlación entre los caudales y datos similares de otras zonas, y aprovechando las estadísticas de temperatura y precipitaciones, hemos podido obtener los datos sobre caudales de muchas zonas donde sólo se disponía de observaciones aisladas.

Al planear el desarrollo de proyectos de aprovechamiento múltiple en la parte occidental de los Estados Unidos, tratamos de diseñarlos de modo que funcionen en forma adecuada durante un ciclo de sequía. La década de los 30 en los Estados Unidos fue un período que se caracterizó por una extremada sequía. Tenemos la suerte de disponer, para nuestro planeamiento actual, de estadísticas que indican la gravedad de ese período y podemos diseñar nuestros proyectos sobre esa base. Muchos de nuestros grandes proyectos de aprovechamiento múltiple en la parte occidental de los Estados Unidos se diseñaron

/y construyeron

y construyeron sobre la base de los datos reunidos durante el período de sequía extrema señalado.

Se ha elegido el río Colorado como ejemplo de uno de los grandes ríos internacionales en que la recolección de datos hidrológicos e hidrometeorológicos desempeña un papel muy importante. El río Colorado desagua una zona de aproximadamente 243 000 millas cuadradas, nace a alturas superiores a los 14 000 pies en la pendiente occidental de las montañas Rocallosas y desemboca en el golfo de California. Los elementos climáticos más opuestos en los Estados Unidos se encuentran en su cuenca. Con frecuencia sucede que los informes sobre las temperaturas diarias máximas y mínimas proceden de estaciones ubicadas en ella. Las precipitaciones oscilan desde un nivel cercano al máximo del país en los puntos más elevados a prácticamente cero en las regiones desérticas de la parte inferior de la cuenca. Los caudales fluviales varían enormemente de un año a otro, debido a fluctuaciones del tiempo en el país y en la cuenca. Tomado en conjunto, el río Colorado presentaba uno de los problemas más complejos de aprovechamiento múltiple dentro de los grandes ríos de la zona occidental de los Estados Unidos. El aprovechamiento de ese importante río comenzó con la construcción de la represa Hoover por el Bureau of Reclamation en 1935, y continuó con la construcción de las represas Davis, Parker e Imperial en el curso inferior del río. En la actualidad se están realizando nuevas obras aguas arriba de la presa Hoover, de acuerdo al Proyecto de Almacenamiento del río Colorado. Aún falta mucho por hacer, pero en el futuro se aprovechará y explotará la cuenca con el objeto de obtener los beneficios máximos que derivan de un aprovechamiento múltiple.

La recolección y uso práctico de los datos hidrológicos e hidrometeorológicos desempeña también un papel muy importante en la operación y planeamiento de la explotación de las obras que componen los proyectos de aprovechamiento múltiple del río Colorado. Se emplean en el planeamiento y en la explotación las estadísticas concernientes a precipitaciones, temperatura, equivalente de nieve en agua, caudales, evaporación, sedimentos y calidad del agua.

El caudal del río Colorado se regula en la actualidad mediante el lago Mead, ubicado antes de la presa Hoover, el lago Mohave, formado por la presa Davis, y el lago Havasu, formado por la presa Parker. Todas estas represas

/están ubicadas

están ubicadas en la cuenca inferior del río Colorado. En el presente se están construyendo en la cuenca superior del río Colorado tres nuevas represas, Glen Canyon, Navajo y Flaming Gorge. La represa de Glen Canyon formará un embalse, el lago Powell, con una capacidad de alrededor de 28 millones de pies por acre, que es aproximadamente la misma que tiene el lago Mead. Estos embalses de la cuenca superior estarán listos para comenzar a almacenar agua en unos dos años más.

La presa Hoover y el lago Mead, del Proyecto del Cañón Boulder, constituyen ahora el principal proyecto de almacenamiento en el río Colorado. La ley del Proyecto del Cañón Boulder establece que la presa Hoover y el embalse que forma se usarán: "primero, para la regulación del río, mejoramiento de la navegación y control de inundaciones; segundo, para fines de riego y usos domésticos y para satisfacción de los derechos actuales claramente establecidos en cumplimiento del Artículo VIII de dicho Convenio del río Colorado; y tercero, para la producción de energía eléctrica". La razón principal de lo anterior es la forma en que se produce el escurrimiento en el río Colorado. A fines del verano no es raro que el gasto del río oscile de 2 000 a 3 000 pies cúbicos por segundo, y tampoco es extraño que durante el período comprendido entre abril y julio varíe entre 100 000 a 120 000 pies cúbicos por segundo. La gran capacidad de almacenamiento del lago Mead permite regular estos caudales de modo de aprovecharlos para riego en las zonas ubicadas en la parte inferior de la presa Hoover. Antes de la construcción de la presa, el desarrollo agrícola estaba limitado por la magnitud del bajo caudal del río y el desarrollo a lo largo de las riberas estaba limitado a las zonas que no serían inundadas por los caudales más altos de principios de verano.

En segundo lugar, el uso de la capacidad de almacenamiento del lago Mead se destina a riego. Mediante el almacenamiento de las mayores cantidades de agua de los años de máximo escurrimiento, se pueden desarrollar las zonas regadas sobre la base de las condiciones medias de escurrimiento en lugar de hacerlo sobre la base de las condiciones de estiaje. Durante los años de estiaje, se recurre al agua almacenada y se almacena agua durante los años en que es mayor el volumen de escurrimiento.

/Por último,

Por último, se usa la capacidad de almacenamiento para la producción de energía eléctrica. Pero aunque ocupa el último lugar, no por eso tiene menos importancia. Los ingresos obtenidos por concepto de energía eléctrica del Proyecto del Cañón del Colorado pagan con intereses el costo de construcción y financian el costo de explotación y de mantención. Una vez que se complete la instalación de la Unidad N° 8, la central de energía Hoover tendrá una capacidad instalada de 1 344 800 kW.

Más abajo de la presa Hoover está la presa Davis, que se construyó para cumplir dos objetivos principales. Uno es la regulación de la salida de agua de la presa Hoover, recurriendo al agua almacenada en el lago Mohave para hacer frente a los pedidos de riego durante los periodos de baja salida de caudal y llenando nuevamente el embalse durante los periodos de alta salida de caudales de la presa Hoover. El otro objetivo principal es regular con mayor exactitud los caudales en el límite internacional para que las entregas de agua se hagan de acuerdo a lo estipulado por el tratado de aguas firmado por los Estados Unidos y México. La presa Davis también produce energía eléctrica por medio de una central de 225 000 kW. El ingreso proveniente de la potencia y de la energía eléctrica está pagando con intereses el costo de construcción.

Más abajo de la presa Davis está la presa Parker, que forma el lago Havasu. Este embalse se construyó con el fin de formar una cámara de carga para el acueducto del río Colorado del Metropolitan Water District de California del sur. El acueducto del río Colorado entrega agua a la zona costera de California del sur. El lago Havasu tiene además otra función: sirve para controlar las inundaciones de la cuenca del río Bill Williams. La capacidad de almacenamiento correspondiente a los diez pies superiores de este embalse se la reserva Estados Unidos para el control de estas inundaciones. El Bureau tiene tres observadores en lugares ubicados estratégicamente en la cuenca de drenaje del Bill Williams, que hacen observaciones sobre las precipitaciones y las alturas del caudal. Estos observadores informan sobre la altura de los caudales de los tramos en que no hay estaciones de aforo del Geological Survey. Cada observador dispone de un radio receptor-transmisor conectado a la red de radio de control del río. Remiten sus informes diariamente a la oficina del control del río, o con mayor frecuencia si se está desarrollando una tormenta o si los caudales han alcanzado una altura que amenaza inundación.

/Se calcula

Se calcula el escurrimiento de la inundación a partir de la cuenca y se hacen los ajustes de las salidas de agua de las presas Davis y Parker para darle capacidad al lago Havasu a fin de eliminar o contener el escurrimiento de las crecidas río abajo de la presa Parker, impidiendo que cause daños. Generalmente, debido a esta red de prevención de inundaciones en la cuenca de avenamiento, el nivel de este lago no se reduce más de cuatro pies. La presa Parker contiene una central de energía de 120 000 kW que aprovecha para la producción de electricidad las salidas de agua hacia el tramo inferior del río.

Se utilizan las estadísticas básicas para el planeamiento y la explotación de los proyectos de aprovechamiento múltiple. Aunque el Bureau of Reclamation utiliza estos datos básicos, son otras oficinas las que realizan la mayor parte de las mediciones y registro de las anotaciones. La Oficina Meteorológica del Departamento de Comercio recopila las observaciones y los datos sobre precipitaciones y temperatura en numerosas estaciones a lo largo del país. En las zonas alejadas, las estaciones meteorológicas pueden consistir sólo de un pluviómetro corriente y termómetros de máxima y mínima manejados y registrados por observadores cooperadores, en tanto que en los centros más grandes la estación meteorológica tiene, además de los instrumentos básicos, muchos otros instrumentos científicos. Los datos recogidos se publican periódicamente y se ponen a disposición de todas las oficinas que los usan. El Bureau of Reclamation usa en lo posible esos datos, pero ha acordado con la Oficina Meteorológica que ésta le entregue directamente y en cuanto estén disponibles los datos de las localidades que tienen relación con las funciones que éste desempeña. Otra de las funciones de la Oficina Meteorológica es la recopilación de datos sobre las pérdidas por evaporación, llevando anotaciones precisas sobre las pérdidas producidas en los estanques de evaporación, que se pueden convertir a pérdida desde la superficie libre del agua mediante la aplicación de un factor.

El servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos es la oficina que coordina el programa de estudios nivométricos y hace la mayor parte de las mediciones correspondientes. Esta oficina trabaja en cooperación con otras en la recolección y publicación de las estadísticas nivométricas. Estos datos son transmitidos al Bureau of Reclamation

a la brevedad posible para ser empleados por éste en los pronósticos de caudales. La cantidad de agua almacenada en forma de nieve de montaña varía de un lugar a otro, de modo que es importante que las secciones nivométricas estén ubicadas en una forma que permita determinar, hasta donde sea posible, el volumen de nieve de esa zona. Un estudio nivométrico consiste de una serie de más o menos diez muestras tomadas mediante aparatos de muestreo nivométrico, especialmente diseñados, a lo largo de una línea marcada en forma permanente, de aproximadamente 1 000 pies de longitud llamada sección nivométrica. El empleo de este equipo proporciona un registro de la profundidad de la nieve y de los valores equivalentes de agua para cada punto en que se toma la muestra. Se considera el promedio de estos valores como la medición del estudio nivométrico para esa sección. Los estudios nivométricos se hacen mensualmente o cada dos meses, comenzándose en enero o febrero y continuándose durante toda la estación en que nieva hasta abril, mayo o junio. En la actualidad estamos empleando, para hacer los pronósticos de caudal, las observaciones recogidas en aproximadamente cincuenta secciones de la cuenca del río Colorado. Los informes publicados están a disposición de cualquier oficina o usuario de agua para ser empleados en la explotación planeada de embalses para la regulación de crecidas de sistemas de energía hidroeléctrica o sistemas de riego. El servicio de conservación de suelos además de las mediciones nivométricas, hace mediciones de la humedad de los suelos en algunas zonas ubicadas en la zona de avenamiento. La cantidad de humedad de los suelos tiene influencia sobre el escurrimiento producido por el derretimiento de las nieves. Mientras mayor sea la humedad de los suelos cubiertos por la capa de nieve, mayor es el escurrimiento producido cuando aquella se derrite. Este es un refinamiento nuevo que se está aplicando para tratar de mejorar la seguridad de los procedimientos empleados para pronosticar el escurrimiento de los caudales.

Existe otro organismo federal que tiene a su cargo las mediciones de los caudales. Es el Geological Survey, que depende del Departamento del Interior de los Estados Unidos. Esta oficina mide y publica los datos de todos los caudales de Estados Unidos. Proporciona al Bureau of Reclamation los datos sobre los caudales en las zonas donde sea necesario. El Bureau of

/Reclamation también

Reclamation también solicita al Geological Survey que obtenga los datos sobre los caudales de las zonas que le interesan especialmente. Mediante la cooperación de estas oficinas, el Bureau of Reclamation obtiene los datos fundamentales que necesita.

La red de estaciones de aforo de caudales abarca todos los principales caudales en los Estados Unidos y la mayoría de sus afluentes, y se obtienen estadísticas especiales sobre caudales intermitentes u otros cuando se hace necesario investigar esas zonas. La mayoría de las estaciones de aforo están dotadas de los limnigrafos continuos, y éstos se complementan con las observaciones que el ingeniero hidrográfico realiza a intervalos regulares. También el ingeniero hidrográfico hace mediciones del gasto durante sus visitas periódicas a la estación a fin de calibrar la sección del canal que controla el caudal, pesado el indicador. Diariamente se calculan los datos sobre el caudal, en cada estación, a partir de los registros continuos de altura de caudal y la curva de caudales de la estación para obtener los datos sobre los caudales mensuales y anuales que publica cada estación. A petición de las oficinas regionales del Geological Survey se pueden obtener determinados datos provisionales para uso inmediato de cualquier persona interesada en ellos. El Bureau of Reclamation, en cooperación con el Geological Survey, ha hecho instalaciones especiales en las estaciones donde es necesario obtener lecturas inmediatas de la altura de los caudales en determinados momentos a fin de computar el caudal en la estación. Dos de estas instalaciones están funcionando en el sistema inferior del río Colorado. Estas estaciones están dotadas de radio que transmite en clave la altura marcada por el limnigrafo a intervalos regulares durante el día. Estas estaciones funcionan automáticamente y se han instalado en calidad de auxiliares de los limnigrafos continuos.

El Geological Survey ha acumulado las observaciones de muchas estaciones ubicadas en caudales principales desde que fue creado. En las investigaciones del abastecimiento de agua es conveniente establecer la correlación entre estos datos, para pronosticar o suplir aquéllos de períodos que falten sobre caudales similares, adyacentes o vecinos. El Geological Survey ha avanzado mucho en este sentido en los últimos años, empleando un método gráfico de correlación que reduce en la práctica la cantidad de trabajo que esto significa. Este

/procedimiento de

procedimiento de correlación se ha desarrollado hasta tal punto que es posible interrumpir el funcionamiento de muchas estaciones y predecir sus observaciones mediante la correlación con los datos de estaciones ubicadas en caudales similares. Esta labor permite establecer nuevas estaciones en caudales donde se necesita obtener estadísticas adicionales de escurrimiento. El Geological Survey hace independientemente también o en colaboración con otros organismos estudios en el terreno de pérdidas por evaporación.

En la etapa inicial del planeamiento de los proyectos de aprovechamiento múltiple, se reúnen todos los datos hidrológicos e hidrometeorológicos a fin de determinar si ellos se prestan para realizar los estudios de suministro de agua del proyecto de las estadísticas acumuladas sobre el gasto de los ríos, se obtienen la capacidad del sistema de almacenamiento para todos los usos del agua, la capacidad y alcance del sistema de distribución del agua, la capacidad instalada de la central hidroeléctrica y otras fases similares del proyecto. El primer requisito previo del estudio es obtener datos sobre el gasto del río durante el período más largo posible. Si no se dispone de observaciones sobre un período lo suficientemente largo, se amplían las obtenidas para períodos cortos, estableciendo la correlación entre éstas y las estadísticas obtenidas para cursos de agua vecinos, o con las de precipitaciones, estudios nivométricos o por la combinación de estos elementos, empleando cualquier método lógico que permita obtener las estadísticas de un caudal de agua. Por lo general, el estudio se realiza sobre la base de períodos de un mes, pero a veces es necesario hacer estudios diarios.

Los estudios sobre necesidades de agua son una parte integral de los proyectos de abastecimiento de agua. La obtención del agua requerida para riego se basa en las temperaturas y en las precipitaciones; el agua consumida por las plantas es directamente proporcional a la temperatura. Uno de los métodos que emplea el Bureau of Reclamation para determinar el uso consuntivo del agua por los cultivos es el método de Lowry-Johnson, establece la relación entre el uso consuntivo y el número de días cuya temperatura es superior a 32 grados Fahrenheit dentro del período comprendido entre las heladas asoladoras de la primavera y el otoño. Otro método desarrollado por Blaney y Criddle del Departamento de Agricultura establece la relación entre

/el uso

el uso consuntivo y la temperatura media mensual, luz diurna o latitud, y una constante para cada cultivo. El uso consuntivo así obtenido se corrige para determinar las precipitaciones efectivas, mediante el análisis del régimen pluvial de la zona durante un largo período y considerando un porcentaje de efectividad para las lluvias de diferente intensidad. Una vez hecho este ajuste se conoce el uso consuntivo del agua que debe suministrar el riego. Se considera una mayor cantidad de agua para tomar en cuenta las pérdidas producidas en los terrenos mismos y las por filtración profunda, pérdidas laterales y pérdidas del canal principal para llegar a conocer las necesidades de aducción de la fuente de abastecimiento.

Las pérdidas por evaporación producidas en la superficie de las aguas al descubierto deben ser consideradas en calidad de requerimiento de agua del proyecto. Existen datos sobre los estanques de evaporación en varias de las estaciones que dependen de la Oficina Meteorológica, el Servicio de Conservación de Suelos, el Geological Survey y otros organismos públicos. Estos datos se convierten a evaporación superficial de aguas al descubierto mediante la aplicación de un factor obtenido para cada tipo de estanque, sea de tierra, flotante u otro. La evaporación es función de la temperatura el viento y la presión del vapor. Estos elementos se miden en un número mayor de estaciones, y, en general, durante períodos más largos, que las pérdidas por evaporación en los estanques, de modo que la evaporación puede calcularse a partir de varias fórmulas, cuando no se dispone de datos sobre los estanques, o se pueden hacer comparaciones entre los distintos métodos empleados para calcular las pérdidas por evaporación.

Después de obtener los datos sobre los caudales y necesidades de agua, y calcular las pérdidas por evaporación, se puede calcular el funcionamiento de un proyecto teórico para el período histórico en que se dispone de estadísticas. Este estudio sobre la entrada y salida de caudales y fluctuación del almacenamiento indica la cantidad almacenada necesaria para hacer frente a los diferentes requerimientos diarios, mensuales o anuales, de acuerdo a condiciones determinadas de entrada de caudal. La determinación final del almacenamiento necesario para la defensa de suelos también depende de las condiciones económicas, ya que puede no convenir desarrollar espacio para

/almacenamiento, más

almacenamiento, más allá de una cantidad óptima si sólo se logra un aumento pequeño de la zona regada. Lo mismo puede decirse de los proyectos de energía, y la altura económica de la presa puede determinarse estableciendo a qué altura el ingreso marginal de las ventas de energía comienza a disminuir para igualarse al costo marginal de la inversión.

Las necesidades de espacio para regulación de crecidas de los embalses para fines múltiples se determinan mediante el análisis del caudal de crecida de las estadísticas del río considerado, o de ríos vecinos que poseen características similares. Los beneficios que se obtienen de las estadísticas de regulación de crecidas se calculan a partir de los estudios sobre los daños que ellas podría producir. Se determina en esa forma el tamaño económico del espacio para regulación de crecidas.

Los diseños de los vertederos se basan en la especificación teórica de las crecidas a partir de las estadísticas de tormentas o de tormentas artificiales, basadas en la capacidad máxima posible de retención del agua de las masas de aire características de la región. Esto impone hacer un largo y tedioso estudio de los datos climatológicos para desarrollar estos datos hidrometeorológicos. Se convierte la máxima tormenta posible en un hidrógrafo de entrada de agua, después de realizar un minucioso estudio de los terrenos de la cuenca hidrográfica y la capacidad de infiltración de los suelos. Se hace pasar por el embalse el curso de agua representada por el hidrógrafo para determinar la capacidad necesaria del vertedero, y también de otros desagües, que impiden el rebasamiento superior de la presa.

Después de planeadas y diseñadas las estructuras, es preciso formular los procedimientos de explotación que permitan obtener el máximo de beneficios del suministro de agua disponible. Uno de los mecanismos más importantes es la capacidad para pronosticar la entrada de agua del proyecto con suficiente anticipación como para programar el funcionamiento de modo de hacer frente a las demandas de energía y agua y proporcionar la protección contra las inundaciones contemplada en el proyecto.

Aproximadamente dos tercios de escurrimiento anual del río Colorado tienen lugar durante un período de cuatro meses, comprendido entre abril y julio, y es causado principalmente por el derretimiento de la nieve acumulada

/en el

en el invierno. Se necesita disponer, especialmente durante este período, de los pronósticos de caudales, y para prepararlos se requiere recopilar y emplear las estadísticas de precipitaciones, equivalente de agua de la nieve y caudales. Sin estos datos sería prácticamente imposible preparar una predicción útil de los caudales. La obtención de un procedimiento de pronósticos que permita hacer el cálculo del caudal del río Colorado, en la estación de Grand Canyon, durante el período comprendido entre abril y julio, requirió varios meses de trabajo a un gran número de personas. Se reunieron todos los datos hidrológicos e hidrometeorológicos de la cuenca y se desarrollaron los que faltaban. Se hizo un análisis minucioso de las observaciones sobre la nieve caída, las precipitaciones, la temperatura, el viento, la evaporación, el caudal de los ríos y otros elementos. Se trató de establecer la correlación múltiple entre estos distintos elementos para determinar la relación de su efecto sobre el caudal de los ríos. Después de hacer unos cuantos análisis, se pudo identificar a los más importantes y concentrarse en ellos. Estos elementos eran la nieve caída, las precipitaciones y las condiciones previas de escurrimiento. Del estudio se obtuvieron dos procedimientos de predicción, uno para el período comprendido entre enero y marzo, y otro para el de abril a junio.

Los primeros pronósticos se basaban solamente en las precipitaciones estacionales acumuladas, ya que se desprendía del análisis que no se podría mejorar enormemente la seguridad de los primeros pronósticos incluyendo las mediciones nivométricas y los antecedentes de escurrimiento. Se eligieron trece estaciones de precipitaciones para abarcar representativamente en la mejor forma la cuenca total ubicada más abajo de la estación de aforo de Grand Canyon. Se hace un solo pronóstico en los primeros meses del año del agua entrada en Grand Canyon durante el período comprendido entre abril y julio. Estos pronósticos del período comprendido entre enero y marzo se obtienen de ecuaciones de correlación basadas en las observaciones acumuladas sobre las precipitaciones estacionales para las trece estaciones índices y la entrada de agua.

Los pronósticos calculados para los meses de abril a junio se obtienen de la suma de los pronósticos de tres afluentes. Cada ecuación de pronósticos de los afluentes se basa en un análisis de correlación múltiple obtenido

/de los

de los datos pluviométricos, nivométricos, de los antecedentes de escurrimiento y del escurrimiento de los meses de abril a junio. El factor de antecedente de escurrimiento es uno de los índices de las condiciones de humedad de los suelos en el otoño. Los pronósticos del caudal en Grand Canyon se obtienen de las tres subcuencas siguientes:

1. Green River, ubicada más arriba de Greenriver, en Utah.
2. Río Colorado, aguas arriba de Cisco, Utah.
3. La cuenca restante, aguas abajo de Greenriver y Cisco, Utah.

Se hizo la subdivisión de la cuenca con el fin de obtener mayor continuidad climática a lo largo de la subcuenca de la que se habría obtenido si toda la zona de avenamiento ubicada más arriba del Grand Canyon se hubiese considerado en su conjunto. Se tomaron en consideración casi todas las estaciones pluviométricas y nivométricas y secciones nivométricas que poseen estadísticas completas. Para hacer los pronósticos de los afluentes se emplean las estadísticas de un total de 72 estaciones pluviométricas y 49 secciones nivométricas. Se les asignaron ponderaciones a las estaciones pluviométricas y secciones nivométricas que consideraron la cuenca alimentadora representativa, la elevación y, en algunos casos, la distancia a que estaba ubicada la estación de la boca de la cuenca del afluente. En lugar de emplear el registro pluviométrico como un total único para la estación efectiva, se dividió en tres períodos (otoño, invierno y otoño) que sirven como variables independientes, empleando el período de veinte años comprendido entre 1936 y 1955.

Las ecuaciones correspondientes a las tres cuencas eran similares, considerando cada una por separado los factores precipitación, antecedentes de escurrimiento y datos nivométricos al 1° de abril. Cada ecuación contiene un término para el otoño, el invierno y la primavera. El término del otoño consta de las precipitaciones para el período de septiembre a diciembre y los antecedentes de escurrimiento para el período de bajo caudal en esos mismos meses. El término de invierno está formado por las precipitaciones del período comprendido entre diciembre y marzo y el equivalente de agua del estudio nivométrico al 1° de abril. El término de primavera está compuesto por las precipitaciones de abril y mayo y se emplea en calidad de estimación del pronóstico de abril y mayo.

Las mediciones pluviométricas y nivométricas se envían a las oficinas de pronósticos a la brevedad posible después del comienzo del mes, y llegan por lo general aproximadamente el día 7 u 8. De inmediato se colocan los datos en las ecuaciones de pronóstico y el proceso de resolución de la ecuación se realiza dentro de las 24 horas. Se ajustan los planes de explotación al nuevo pronóstico.

La adopción de un procedimiento de pronóstico aceptado por todos los interesados permitió obtener que se modificaran las disposiciones de prevención de crecidas en la presa Hoover. El United States Army Corps of Engineers de los Estados Unidos es la institución pública que tiene a su cargo el manejo de todo el espacio para almacenamiento de crecidas en los embalses a fin de prevenirlas. Antes del desarrollo de las técnicas de pronóstico era necesario tener 9.5 millones de pies por acre de espacio para almacenamiento para una altura inferior a 1 229 pies al 1° de abril de cada año. Esto obligaba a desocupar espacio para almacenamiento que no era empleado en los años de estiaje. En la actualidad, con los sistemas de pronósticos disponibles, la tasa de evacuación del espacio para almacenamiento se relaciona con el pronóstico de afluencia de agua y el espacio total para almacenamiento para una altura inferior a 1 229 pies se ha reducido a 2.5 millones de pies por acre para el período de agosto a octubre; 2 675 millones de pies por acre al 1° de noviembre; 3 963 millones de pies por acre al 1° de diciembre, y 5 350 millones de pies por acre al 1° de enero. Se han calculado las tablas de salida media mínima de agua para fines de regulación de crecidas, para cada mes entre enero y junio, que establecen la salida de agua necesaria para cada pronóstico y volumen de agua del embalse. Empleando esta técnica sólo se provee el espacio necesario para regular el máximo del pronóstico de afluencia.

Cada año, a comienzos de junio, un comité de integración, compuesto por un representante del Secretario del Interior y uno de cada organismo encargado de la central de energía Hoover, se reúne y traza los planes de explotación del embalse y de la central para los próximos doce meses. El pronóstico del caudal constituye la base del planeamiento de la explotación. También se toman en consideración los requerimientos de regulación de crecidas

/del lago

del lago Mead, las necesidades de riego de Estados Unidos y México, y las necesidades de potencia y energía de los concesionarios de energía de la presa Hoover. También se consideran, al trazar los planes, las otras fuentes de potencia y energía de que disponen los concesionarios. Otra de las características principales del planeamiento es la integración de la explotación de la central de energía Hoover con la de las centrales de las presas Davis y Parker.

El plan de explotación anual adoptado en la reunión de integración de junio se sigue durante el año hasta que se modifiquen las condiciones de escurrimiento y sea necesario introducir cambios en el plan de explotación. En ese caso se celebraría otra reunión de integración para ajustar el programa de explotación con el fin de satisfacer las condiciones imperantes en ese momento. A veces el plan que se adopta en la reunión de junio se sigue todo el año, mientras que hay años en que el plan sufre cuatro o cinco modificaciones. En todo momento, las estadísticas pluviométricas y los pronósticos de caudales desempeñan un papel muy importante en la confección y revisión de los planes de explotación.

Los registros corrientes de caudales representan un papel muy importante en la determinación de las pérdidas y aprovechamientos del agua a lo largo del río y para hacer el ajuste de los procedimientos de desvío para atender los compromisos de riego y energía en lugares ubicados río abajo. Estas estadísticas nos mantienen informados sobre la marcha de las explotaciones, y también nos sirven para hacer los ajustes necesarios para hacer frente a los cambios. El Geological Survey mantiene observaciones periódicas del caudal del río principal y del agua distraída para riego, que se transmiten diariamente a nuestras oficinas desde estaciones visitadas a diario. También contamos con dos estaciones de control remoto para medir la altura del caudal que envían cada día sus observaciones por radio. Mediante estas estaciones de control remoto de información automática podemos mantenernos al tanto de los caudales de lugares inaccesibles y disponer así de mayores conocimientos y mejor regulación de los caudales del río.

Este análisis ha tratado fundamentalmente de la recolección, ordenamiento y aplicación de los datos sobre precipitaciones, temperatura y caudales. No hay que menospreciar la importancia de otros datos, como la sedimentación,

/evaporación y

evaporación y calidad del agua. Por lo general se obtienen los datos sobre sedimentos y calidad del agua en algunas estaciones, simultáneamente con las mediciones del gasto. Los datos sobre sedimentación son muy importantes para el planeamiento y diseño de nuevos embalses y para la explotación de los sistemas fluviales. La concentración de sedimentos en el río Colorado, aguas arriba de la presa Hoover, es bastante elevada; sin embargo, aguas abajo sucede lo contrario. La baja concentración de los sedimentos en las salidas del embalse origina la socavación del lecho del río aguas abajo de la presa de almacenamiento y el embancamiento del río aguas arriba del próximo embalse ubicado a continuación. Este problema ha sido lo suficientemente grave en el río Colorado como para establecer el Colorado River Front Work and Levee System a fin de realizar los trabajos de dragado del río. Este programa tendrá carácter permanente hasta que el río se estabilice bajo los efectos de aguas relativamente libres de lúgamo.

En cierta medida, la calidad del agua constituye un problema en los sistemas de aprovechamiento múltiple. A medida que el agua se usa una y otra vez para riego y fines municipales, lógicamente su calidad varía. El Servicio de Salud Pública del Departamento de Salud, Educación y Bienestar, y el Geological Survey, recopilan datos sobre la calidad del agua y hacen recomendaciones para tomar las medidas correctivas necesarias, cuando las condiciones lo permiten.

Las pérdidas por evaporación de las aguas superficiales de los embalses y ríos que forman el sistema revisten cierta gravedad. Debido a la gran extensión del lago Mead y a la alta tasa de evaporación, las pérdidas han sido también bastante elevadas. Durante 1952 y 1953, se realizaron serios estudios sobre las pérdidas por evaporación del lago Mead, y se desarrolló un método especial para determinar estas pérdidas. El Geological Survey hace los cálculos, empleando datos reunidos por él en cooperación con el Bureau of Reclamation y la Oficina Meteorológica. Periodicamente el Geological Survey investiga los métodos para determinar las pérdidas por evaporación del lago Mohave y el Navasu.

Como las pérdidas de agua por evaporación de las superficies descubiertas son muy grandes, el Bureau of Reclamation está realizando investigaciones

/sobre materiales

sobre materiales y métodos para reducirlos. Mediante estudios hechos en embalses pequeños se ha descubierto que se pueden reducir enormemente las pérdidas por evaporación aplicando materiales que formen una película monomolecular sobre la superficie del agua. En la actualidad se están llevando a cabo estudios sobre materiales, métodos de aplicación y conservación de la película protectora.

Continuamente se perfeccionan nuevas técnicas para la recopilación de datos fundamentales, entre las que se cuentan el perfeccionamiento de los instrumentos, transmisión de los datos y los efectos de otros datos, como la radiación solar sobre el derretimiento de la nieve. Se está haciendo cada vez más común el uso de medios automáticos para el registro y transmisión de datos pluviométricos, temperaturas y gasto de los caudales. Pronto se podrán emplear medios similares para el análisis y transmisión automática de la calidad del agua. La ciencia del estudio nivométrico se perfecciona constantemente mediante el empleo de nuevos equipos que permiten alcanzar secciones nivométricas de control remoto, y equipo de transmisión automático de observaciones. Aunque el Bureau of Reclamation sólo tiene pequeña participación en la recopilación de datos, hemos colaborado activamente con los organismos que se encargan de hacerlo en el desarrollo de nuevos instrumentos para hacer las mediciones y transmitir las informaciones. Prevemos que en el futuro la mayor parte de los datos hidrológicos e hidrometeorológicos serán recopilados automáticamente y suministrado a alguna de las máquinas computadoras electrónicas que se conocen actualmente para hacer el cálculo de los pronósticos e integración de los caudales proyectados con el funcionamiento de los proyectos de aprovechamiento múltiple.

Entretanto, pensamos continuar obteniendo las estadísticas en la forma acostumbrada y alentar la ampliación de las instalaciones para abarcar todas las posibles necesidades de obtención de datos hidrometeorológicos e hidrológicos.

RESUMEN

El Bureau of Reclamation, utilizando los servicios de muchos organismos del gobierno de Estados Unidos, recopila minuciosamente todos los datos sobre temperatura, precipitaciones, acumulación de nieve y escurrimiento de los caudales a través de los diferentes tramos del río Colorado que poseen variadas características climáticas y geográficas. Estos datos se analizan a fin de poder explotar coordinadamente los diferentes embalses y centrales hidroeléctricas para cumplir en forma óptima los fines de regulación de crecidas, riego y producción de energía.

