

SEMINARIO:

**MODERNIZACION DE REGADIOS
INFRAESTRUCTURA Y EXPLOTACION**

ORGANIZA: División Especializada de Hidráulica del CICP.

AUSPICIA:

- Universidad Central del Ecuador
- Escuela Politécnica Nacional

FECHA: 18 - 19 de Enero de 1995

LUGAR: Auditorio del CICP.

CONFERENCISTA: Luis Gerardo Castillo Elsitdié
Doctor Ingeniero ~~de~~ Caminos Canales y Puertos

Quito - Ecuador

INDICE

1. INTRODUCCION Y RESUMEN

2. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION

- 2.1 Simulación matemática
- 2.2 Análisis del régimen de explotación del canal
- 2.3 Análisis matemático del modelo de simulación
- 2.4 Automatismo y control
 - 2.4.1 Sistemas de regulación automática de canales
 - 2.4.2 Ventajas de la implementación de un Sistema Automatizado de Adquisición y Tratamiento de Datos
 - 2.4.3 Descripción General del Sistema de Adquisición y Tratamiento de Datos
- 2.5 Programas de ordenador
- 2.6 Plan de explotación

3. TRANSMISION DE DATOS

- 3.1 Organización funcional básica
- 3.2 Puesto de control local
 - 3.2.1 Conexión al modem
 - 3.2.2 Modem
 - 3.2.3 Equipo multiplexor
 - 3.2.4 Salida de la señal
- 3.3 Enlaces y comunicaciones
 - 3.3.1 Enlace vía radio
 - 3.3.2 Red telefónica conmutada
 - 3.3.3 Enlaces vía satélite
 - 3.3.4 Fibra óptica
- 3.4 Puesto de control central
 - 3.4.1 Ordenador central
 - 3.4.2 Periféricos
- 3.5 Decisión local
- 3.6 Decisión central

4. SISTEMAS PRACTICOS DE CONTROL DE CAUDALES EN FUNCION DE LAS CARACTERISTICAS DE LA ZONA REGABLE

- 4.1 Caudal derivado a un canal de riego tradicional desde un rio regulado o sin regular
 - 4.1.1 Caudales pequeños
 - 4.1.2 Caudales medios
 - 4.1.3 Caudales grandes
- 4.2 Caudal derivado a un canal de riego estatal desde un rio regulado
 - 4.2.1 Regulación desde aguas arriba
 - 4.2.2 Regulación desde aguas abajo

5. BIBLIOGRAFIA

ELEMENTOS DE LA AUTOMATIZACION Y FUNDAMENTOS

1. INTRODUCCION Y RESUMEN

La presente documentación está preparada para el Seminario sobre MODERNIZACION DE REGADIOS. INFRAESTRUCTURA Y EXPLOTACION, que se dictará en el Auditorio del Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha (CICP), organizado por la División de Hidráulica del CICP y con el auspicio de la Universidad Central del Ecuador y la Escuela Politécnica Nacional, entre los días 18 y 19 de Enero de 1995.

Las principales fuentes de esta información corresponden a los diversos Cursos de Postgrado y Doctorado que el autor ha asistido, así como a la experiencia profesional, tanto como Investigador y Consultor en las principales Universidades y Empresas de Españolas en los últimos nueve años, tal como queda reflejado en la Bibliografía que se adjunta.

Las presentes notas forman parte de una futura publicación que el autor está preparando sobre la temática, con el objeto de que en algún momento llegue a constituir un manual de consulta para los profesionales que se dedican al apasionante mundo de la Ingeniería Hidráulica.

El objetivo final de la modernización de un sistema de canales e infraestructura asociada, es obtener una explotación en tiempo real, a través de un sistema automatizado de adquisición y tratamiento de datos, de tal forma que nos permita seguir las fluctuaciones de la demanda, consiguiendo con ello ahorro de agua, gastos de explotación y un correcto servicio al agricultor; obteniéndose los algoritmos de control (normas de explotación más eficientes) a partir de la simulación hidráulica del canal en régimen permanente y no permanente; debiendo previamente realizarse los pertinentes trabajos Cartográficos, Topográficos, Geológicos-Geotécnicos, Geomorfológicos, Hidrológicos y Estructurales.

De la revisión de los estudios anteriores y de la información básica se concluirá qué métodos de cálculo se deberán aplicar; entendiéndose que el

alcance y definición corresponderá al más adecuado con la información existente.

Puesto que un conocimientos adecuado por zonas de todos los usos y retornos de agua, permitirán caracterizar adecuadamente el sistema en estudio, será necesario contrastar las demandas teóricas con las realmente establecidas, estableciendo la sectorización por módulos, subzonas y zonas; de tal forma de obtener la información básica para el análisis y dimensionamiento de la red principal.

Las demandas de regadíos y balances hídricos se pueden calcular en hojas electrónicas (Lotus, Excel), las necesidades de riego se establecen a partir de las características edafológicas de los cultivos y de los principales Índices Climáticos (Precipitación, Temperatura, Viento, Humedad Relativa, Insolación, etc.); calculando la Evapotranspiración de Referencia con las principales formulaciones que se puedan aplicar en la zona de estudio (Penman modificada, Tanque clase A, Blaney-Criddle modificada por la FAO, Hergreaves, Christiansen, etc); contrastándose estos resultados con las mediciones existentes, de tal forma que agrupadas dichas demandas en las subzonas abastecidas por cada una de las tomas de la conducción principal, se obtendrían los caudales probabilísticos a partir de la fórmula de CLEMENT, fijándose el "grado de libertad" de la red, el "rendimiento" y la "dotación" en parcela.

La modelización y simulación del canal nos permitirá obtener los algoritmos de control del programa de automatización y se realizará en tres fases de estudio: la primera fase nos definirá en régimen permanente el balance hidráulico global de cada alternativa analizada, obteniéndose por tanto los caudales circulantes en cada tramo de la acequia. La segunda fase simulará el comportamiento hidráulico del canal en régimen permanente para todas las alternativas analizadas, proporcionándonos las condiciones iniciales y de contorno para la modelización y simulación en régimen no permanente de la tercera fase.

Los análisis y simulaciones de la primera fase, balances de los esquemas hidráulicos de las diferentes alternativas, así como las normas de explotación generales, se puede realizar con el programa de simulación

hidráulica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos "SIMULATION OF FLOOD CONTROL AND CONSERVATION SYSTEMS" (HEC-5). Este programa permite representar adecuadamente todas las derivaciones e incorporaciones de agua (elevaciones y restituciones) al sistema, así como cualquier tipo de operación y establecer la regulación con el nivel de garantía exigido.

La segunda y tercera fase se pueden realizar con el Sistema de Modelización del Danish Hydraulic Institute "MIKE 11"; el mismo que calcula la solución en régimen variable de las ecuaciones completas de Saint-Venant, utilizándose el Módulo Hidrodinámico (HD) y el Módulo de Operación de Estructuras (SO).

La segunda fase se simula en Régimen Permanente y se determina los calados (curvas de remanso) y velocidades unidimensionales del flujo gradualmente variado, correspondientes a los caudales definidos en los diferentes tramos del canal.

La tercera fase se simula el canal en Régimen Variable o No Permanente, utilizándose como datos de partida (condiciones de contorno externas e internas) los valores obtenidos en la segunda fase. Este programa resuelve numéricamente (Esquema Implícito de 6 puntos de Abbott y Método de Newton-Raphson) las ecuaciones completas de Saint Venant, las mismas que son la representación matemática de los dos principios físicos (Conservación de Masa y Conservación del Momentum) que gobiernan el flujo, asumiendo una distribución hidrostática de presiones y una distribución de velocidades cuasi-uniforme.

De todos los sistemas existentes de regulación de canales: compuertas mecánicas automáticas (con nivel constante aguas arriba y con nivel constante aguas abajo), balsas de regulación (en serie o derivación) y compuertas eléctricas telemandadas, la mejor opción para resolver las necesidades del canal principal y los ramales puede ser el sistema mixto "balsas de regulación-compuertas eléctricas", ya que ofrece un sistema robusto y de explotación sencilla y segura.

El sistema de regulación automático debe comandar la operación conjunta del funcionamiento de las estaciones de bombeo y de las compuertas. Este

sistema está constituido en forma general, por un sistema central encargado de controlar los procesos, por un medio de transmisión de información y por un sistema de medida y regulación.

El sistema central consta de un microprocesador autómatas o de un microordenador PC compatible, en el que reside la tarjeta de transformación de señales analógicas medidas (niveles, caudales y aperturas de compuertas) a señales digitales, junto con el software de control, en donde se incluye el programa de simulación MIKE 11.

En este modelo se implementa las características topológicas y de funcionamiento de los diferentes ramales; pudiéndose por tanto ejecutar todas las simulaciones del comportamiento en situaciones normales, típicas y críticas.

El sistema de medida y regulación estaría constituido por los sensores de niveles y caudales, junto con los motores de velocidad variable convenientemente acoplados a las compuertas de regulación.

Así pues, se dispone a lo largo de la traza y en los puntos de derivación de las tomas, baterías de compuertas de accionamiento eléctrico con orden de apertura y cierre centralizado por telemando. En estos mismos puntos se toma la información relativa a calados y caudales derivados. Toda la información recabada se transmite al ordenador central, el cual convenientemente programado ejecuta las órdenes de apertura y cierre centralizado por telemando.

El medio de transmisión consiste en una Red de Area Local (LAN), la misma que enlaza el sistema central (principal y auxiliar) y el sistema de medida y regulación. La transmisión de la información puede ser vía radio, línea eléctrica, línea telefónica (modem) o vía satélite.

La ventaja fundamental de este sistema es que las decisiones de explotación se toman a partir del conocimiento simultáneo de niveles y caudales en todos los puntos fundamentales de los canales, reduciéndose por tanto a un mínimo el volumen suplementario del canal principal y sus ramales, así como el riesgo de desbordamientos por los elementos de seguridad.

La modelación digital del terreno y el trazado de las obras lineales, se pueden realizar con el Programa Asistido por Ordenador MOSS. Este producto CAD que está adecuadamente integrado con el Sistema de Información Geográfica (GIS) GENAMAP, permite realizar el estudio con rapidez y precisión, garantizando el cumplimiento de los plazos impuestos en los términos de referencia.

2. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION

2.1 Simulación matemática

El estudio de simulación hidráulica, se realiza mediante el empleo de ordenador, en régimen permanente y régimen variable, así como el estudio de la explotación y la regulación de la que en el canal principal y derivados, para la explotación que se prevea, teniendo en cuenta las obras de mejoras proyectadas.

Por cada instante de cálculo y sección transversal de la conducción se deben presentar los valores de calado, área y perímetro mojado, caudal, velocidad, número de Froude, resguardo y altura geométrica en cada instante.

Se debe proporcionar gráficos de la evaluación de la piezométrica y el caudal circulante para cada sección transversal del canal durante el tiempo de duración de la simulación.

Se debe poner especial interés en los parámetros hidráulicos relacionados con elementos singulares intercalados en el interior del canal, tales como:

- Transiciones.
- Tomas.
- Sifones.
- Compuertas.
- Vertederos.
- Balsas laterales.
- Aliviaderos.
- Derivaciones.

La malla espacio-temporal en que se discretiza el fenómeno para la simulación matemática debe poseer una adecuada densidad que garantice la precisión del estudio y la validez del modelo.

Se debe simular el funcionamiento del canal en la situación actual,

obteniéndose la evolución en el tiempo de caudales y niveles, a lo largo de todo el canal durante el proceso de simulación en diferentes hipótesis de explotación. Es decir, que en un canal con determinados elementos integrados en él, el modelo dará la posibilidad de saber en distintas hipótesis de explotación, como se comporta el canal en cada momento, por ejemplo:

- Cuando se están abriendo las compuertas.
- Cuando se vierte por el aliviadero.
- Las leyes en el tiempo de los niveles en las distintas fases, etc.

Este modelo debe servir tanto para el Proyecto como para la futura explotación del canal.

2.2. Análisis del régimen de explotación del canal

Definida la configuración del canal con sus obras especiales, se debe realizar un estudio modelizado del mismo que reproduzca las situaciones de explotación conocidas en base a los datos existentes de caudales, niveles, consumos, etc.

La primera fase de simulación debe definir en régimen permanente, el balance hidráulico global, obteniéndose los caudales circulantes en cada tramo del canal, los caudales aportados (estaciones de bombeo) y entregados en cada toma y en cada tipo de condición de funcionamiento. Esta fase se puede analizar con el programa "HEC-5".

La segunda fase de simulación en régimen permanente, nos permite calibrar los parámetros hidráulicos que definen el comportamiento de los distintos elementos de los ramales, así: Coeficientes de Resistencia (en cada tramo de los ramales), Pérdidas de Carga (estrechamientos, expansiones, etc.), Coeficientes de Descarga de las Compuertas, Vertederos frontales y laterales, etc.; proporcionándonos las condiciones iniciales y de contorno para la modelización y simulación en régimen no permanente. Esta fase se puede analizar con el programa "MIKE 11".

En la tercera fase de simulación, se estudia en régimen no permanente, las necesidades y tipo de regulación de los ramales para disponer de un control aceptable de caudales y niveles a lo largo de los diferentes tramos. Con el sistema previsto se comprueba el comportamiento del sistema en situaciones típicas como:

- Generación de demanda
- Anulación de demanda
- Funcionamiento automático de las estaciones de bombeo
- Avería en compuertas
- Fallo de alimentación eléctrica
- Rotura de la acequia
- Manejo a voluntad de tipo de riego

La política de actuación, que habrá tenido que ser simulada previamente en ordenador, debe quedar reflejada a modo de "Manual de Usuario" en un documento que sirva para la organización de la posterior explotación.

En concreto se deben obtener los algoritmos de control para ser introducidos en el programa de automatización.

2.3. Análisis matemático del modelo de simulación

El comportamiento del régimen no permanente de los canales abiertos, pueden ser expresados matemáticamente en función de las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y de las apropiadas condiciones iniciales y de contorno (internas y externas).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + q = 0 \text{ ----- (1)}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{g} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{Ag} + P \right) = A (S_0 - S_f) - q u \text{ ---- (2)}$$

Ecuación de Cantidad de Movimiento bajo el Esquema de Preissmann:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + A \frac{\partial h}{\partial x} = - A S_f - q u \text{ ----- (3)}$$

En los canales de regadío, el flujo no permanente y gradualmente variado puede ser simulado con precisión, usando las aproximaciones numéricas de las ecuaciones unidimensionales de Saint Venant.

De los esquemas de solución en diferencias finitas, el esquema implícito de seis puntos propuesto por Abbott, es uno de los más ampliamente usados en la modelación de los procesos no permanentes en canales abiertos. Los métodos directos implícitos son los más rápidos, precisos e idóneos para resolver fenómenos a gran escala.

El uso de modelos numéricos de dominio público (generalmente de Universidades o Instituciones de Investigación Estatales) o comerciales, nos permiten realizar el diseño, análisis y operación de los sistemas de canales de regadío. Sin embargo, se debe conocer las limitaciones del programa y los posibles orígenes de potenciales fuentes de error.

Existen dos parámetros que tienen influencia en los errores de salida del modelo: el incremento de espacio Δx y el incremento de tiempo Δt de la malla de cálculo, y añadiéndose un factor de ponderación θ en la solución numérica; debiéndose por tanto analizar la influencia del Número de Courant sobre los resultados; es decir, la verificación de la precisión y la estabilidad de dicho modelo. Por tanto, la calibración de los parámetros topográficos e hidráulicos y la verificación del modelo, son pasos importantes en la implementación exitosa del estudio.

$$C = \frac{|V| + e}{\Delta x} \Delta t \leq 1,0 \quad \text{--- (4)}$$

Donde: $e = \sqrt{\frac{gA}{B}} \quad \text{--- (5)}$

Las transiciones, cruces, sifones, vertederos y compuertas representan las condiciones de contorno internas, las mismas que no pueden ser tratadas con las ecuaciones basadas con las hipótesis de Saint Venant. Su representación numérica debe producir dos relaciones al reemplazar las dos ecuaciones de flujo normal y al acoplar las variables de flujo (calado y caudal) correspondientes a los dos lados (aguas arriba y aguas abajo) de la singularidad.

Casi siempre la longitud ocupada por la singularidad es de unos pocos metros. El tiempo de viaje de una propagación de onda a lo largo de estas discontinuidades es, entonces, muy pequeño, cuando se compara con el incremento de tiempo de la malla de cálculo y se puede admitir que los efectos transitorios se alcanzan instantáneamente en toda la masa de agua que se encuentra dentro de la singularidad. Así, de acuerdo a Cunge et al. (1980), es admisible aplicar los principios de conservación de masa y momentum en una forma concentrada en cada incremento de tiempo de cálculo.

Las compuertas son las más importantes singularidades en el sistema que se va a estudiar, debiendo determinarse adecuadamente sus coeficientes de descarga, tanto para las condiciones de funcionamiento libre como sumergido. Además se deberá realizar un análisis de sensibilidad de las compuertas a distintas situaciones, como la altura de apertura de compuerta en función de los calados aguas arriba y abajo, el incremento del tiempo de cálculo, velocidad de apertura y cerrada, etc.

Las principales variables a medir son los niveles o calados "y" y los caudales "Q", los mismos que transmitidos por telemando al centro de gestión, ingresan como datos en la lógica del algoritmo de control del programa de automatización y, una vez ejecutados los cálculos respectivos se desencadenan en tiempo real, las órdenes de apertura o cierre de las compuertas.

El valor de medición en tiempo real del caudal "Q", servirá para realizar la corrección del valor numérico "Q_c" calculado en el intervalo de tiempo analizado, de tal forma que aplicando el método de Newton con la corrección numérica del valor de "Q_c" (algoritmo de control en lazo), se evita los errores acumulados en la aproximación numérica de la ecuación dinámica en las compuertas.

2.4. Automatismo y control

2.4.1 Sistemas de regulación automática de canales

Los Sistemas de Regulación Automática de Canales se pueden clasificar en forma general en tres grupos principales: **Sistemas de Compuertas Mecánicas Automáticas**, **Sistemas de Balsas de Regulación** y los **Sistemas de Compuertas Eléctricas Telemandadas**.

Los **Sistemas de Compuertas Mecánicas Automáticas** son los Sistemas de Automatización más clásicos, pero que debido a la lentitud del movimiento de transmisión de onda de variación de nivel, se necesita proveer un volumen de canal adicional que actúe como un depósito, lo cual exige sobredimensionar el resguardo equivalente al salto o escalón de la lámina que se admite en cada punto, lo que produce un encarecimiento importante de la obra civil. Estas compuertas mediante un dispositivo de flotadores permiten mantener constante la lámina de agua situada arriba o abajo de ellas.

Los **Sistemas de Nivel Constante Aguas Arriba** esencialmente regulan la lámina en las tomas y producen importantes pérdidas de carga que en muchas ocasiones no permiten su adaptación a canales antiguos.

Con los **Sistemas de Nivel Constante Aguas Abajo** se consigue la regulación automática y suelen ser los más utilizados, obteniéndose la separación entre compuertas a lo largo del canal en función de un análisis técnico-económico. La colocación de estas compuertas se realiza, ya sea con la banquetta horizontal entre los puntos de ubicación lo que exige el diseño de secciones variables (la solera tiene que seguir la pendiente de la rasante) o sobredimensionar el resguardo en un valor equivalente al salto o escalón de lámina que se admite en cada compuerta, lo que como ya se ha indicado, encarece la obra civil. Además, para que el funcionamiento sea correcto las compuertas deben estar bien regladas y una avería en una compuerta o fenómenos de inestabilidad y oleaje en las corrientes, pueden originar un desajuste en todo el sistema de regulación del canal.

Los **Sistemas de Balsas de Regulación** han sido los más frecuentemente empleados por ser los más seguros y porque precisan de menor conservación.

Si las balsas se ubican en los lugares orográficos y geológicos más adecuados, éstas funcionan como cámaras de expansión y tienen por tanto una

capacidad de regulación limitada. Su uso se justifica si se elimina un gran tramo de canal, un acueducto o sifón, o si se puede aprovechar un salto en la rasante del canal, con lo que se aprovecha una carrera de embalse importante.

Si las balsas son ubicadas en los puntos de toma, éstas funcionan como embalses reguladores del consumo ya que disponen de una carrera de funcionamiento adecuada. Su conexión puede realizarse en serie o derivación.

Las balsas ubicadas en los puntos de toma y en serie, permiten un ahorro en la longitud del canal, pero la regulación lo realizan solamente las balsas de cola, ya que las balsas de cabecera funcionan como cámaras de expansión.

Las balsas ubicadas en los puntos de toma y en derivación, permiten un mayor juego en la explotación.

Así pues, la mejor solución en los Sistemas con balsas de regulación son los denominados mixtos, en donde las balsas de cabecera se colocan en derivación, en tanto que en los sitios de salto de la rasante del canal y las balsas de cola, se colocan en serie.

En los Sistemas de Compuertas Eléctricas Telemandadas, se dispone a lo largo de la traza y en los puntos de derivación de las tomas, baterías de compuertas de accionamiento eléctrico con orden de apertura y cierre centralizado por telemando.

2.4.2 Ventajas de la implementación de un Sistema Automatizado de Adquisición y Tratamiento de Datos

El sistema de automatización genera una explotación perfeccionada del sistema de turnos tradicionales, puesto que permite el riego en una jornada diaria de trabajo con duración menor a 24 horas, disminuyendo los caudales máximos circulantes (por tanto disminuyendo la capacidad de transporte de la red de distribución) y garantizando que el suministro se realice cuando es realmente necesario. La jornada diaria será fijada por la Administración, después de un análisis de sensibilidad del sistema.

Los problemas indicados en las Compuertas Mecánicas de Nivel Constante Aguas Abajo se solucionan con las Compuertas Automáticas que están telemandadas por medición de niveles situados en más de un punto.

La ventaja principal de un Sistema de Adquisición y Tratamiento de Datos es que, al tomar las decisiones de explotación partiendo del conocimiento simultáneo de niveles y caudales en todos los puntos fundamentales del canal y al ser la transmisión de las órdenes de apertura y cierre vía radio, corriente eléctrica o teléfono (modem), el volumen suplementario del canal se reduce a un mínimo.

El hecho de no necesitar constantemente los niveles de agua máxima en el canal, disminuye el riesgo de desbordamiento por los elementos de seguridad y se minimiza la infiltración por el revestimiento y juntas.

El sistema de regulación automático deberá comandar la operación conjunta del funcionamiento de las estaciones de bombeo y de las compuertas. El automatismo permitirá que las bombas tengan un funcionamiento seguro y cómodo, dejando que el tiempo entre dos conexiones consecutivas sea suficiente para evitar sobrecalentamientos y que se establezca un trabajo cíclico de todos los grupos.

De los sistemas existentes para lograr el automatismo de puesta en marcha y desconexión de los grupos electrobomba (depósitos elevados, depósitos de aire y caudalímetros), se sugiere utilizar el mando por caudalímetro, que aunque exigen un material electromecánico de mayor calidad y complicación, son más económicos que los depósitos.

2.4.3 Descripción general del Sistema de Adquisición y Tratamiento de Datos propuesto

Este sistema constará en forma general de los siguientes elementos:

El sistema central que consistirá en un microprocesador autónomo (microprocesador automática o un microordenador personal compatible PC), en el que residirá la Tarjeta de Adquisición de Datos Analógica Digital (A/D)

y el software de control residente ("modelo en versión dedicada" MIKE 11 acoplado al software de los actuadores de automatización).

El sistema de medida y regulación, constituido por los sensores de medición de niveles y caudales, junto con los motores de velocidad variable acoplados a las compuertas telemandadas.

El sistema de transmisión que puede estar constituido en una Red de Area Local (LAN) y que debe enlazar el sistema central (principal y auxiliar) con el sistema de medida y regulación, puede ser vía radio, línea eléctrica, línea telefónica conmutada (modem) o vía satélite.

Finalmente, para la explotación conjunta de la conducción, los grupos de bombeo y las balsas de regulación, se preverá los dispositivos de automatismo y de control necesarios, que respondiendo a una filosofía y a unas características ya utilizadas en otros casos similares, la adaptación sea la más adecuada a las nuevas condiciones, conservando al máximo, por razones económicas, las costosas obras civiles preexistentes.

2.5. Programas de ordenador

El programa MIKE 11 admite simular cualquier tipo de sección transversal (secciones trapeciales, con anchura de solera, calado y talud variables y circulares con radio variable). Admite también compuertas fijas y automáticas, sifones con sección circular de uno o dos conductos, retenciones de pico de pato, aliviaderos de vertedero o sifón, tomas laterales, rápidos y saltos, balsas de retención, etc. El número de secciones y singularidades podrá ser cualquiera, así como la longitud del canal. Para la parte general del canal se puede utilizar cualquier coeficiente de la fórmula de Manning y los equivalentes de la fórmulas de resistencia más conocidos y utilizados (Chezi, Darcy-Weisbach, Prantl-Colebrook, etc.).

El programa de control del sistema de adquisición, tratamiento y transmisión de datos, dependerá del tipo de hardware central elegido. Así, éste puede ser un "autómata programable" o un "microordenador PC dedicado".

En el caso de ser un autómata programable, el software de control dependerá del equipo elegido y básicamente se adecuaría el software de control propiamente dicho (comandos de los actuadores) al programa de simulación residente (en este caso con el MIKE 11).

Si el hardware central es un microordenador PC dedicado, el software de control dependerá del tipo de Tarjeta de Adquisición de Datos elegida, debiendo adecuarse las subrutinas propias de dicha tarjeta al programa de cálculo y simulación.

En uno o en otro caso, estos programas permiten la posibilidad de ser variados posteriormente por personal de explotación.

2.6. Plan de explotación

Al tratarse de un proyecto que pretende automatizar la explotación de la zona regable es preciso definir la metodología de actuación ante las diferentes situaciones por las que puede pasar la misma, así como los sistemas de emergencia previstos para casos de anomalías:

- Comienzo de la campaña.
- Explotación anormal.
- Generación de demanda.
- Anulación de demanda.
- Funcionamiento automático de las estaciones de bombeo.
- Avería en compuertas.
- Fallo de alimentación eléctrica.
- Rotura del canal.

La sistemática de actuación para cada una de las situaciones o escenarios, que habrá tenido que ser simulada previamente en ordenador, quedará reflejada a modo de "Manual de Usuario" en un documento que servirá para la organización de la posterior explotación real.

3. TRANSMISION DE DATOS

La transmisión de datos, es uno de los pasos necesarios en el Sistema Técnico Centralizado para la gestión de los recursos hidráulicos, mediante la supervisión a distancia y el telecontrol.

La gestión técnica centralizada permite la explotación de instalaciones o estaciones remotas que constituyen una infraestructura técnica o una unidad industrial en funcionamiento permanente y extendida sobre un área geográfica.

La estrecha asociación entre técnicas de transmisión y las de tratamiento de la información en tiempo real, favorecida por la evolución de la tecnología, ha permitido a la gestión técnica centralizada, por su fiabilidad y sus costes de inversión y de personal, extender su campo de aplicación a numerosos sectores en los que puede obtenerse una mejora en la calidad de servicio mediante la observación global e inmediata de eventos.

Sus principales aplicaciones se sitúan en campos como el transporte y la distribución de fluidos (agua, gas, energía eléctrica ...), las infraestructuras de transporte, así como en sistemas de protección de instalaciones y personas.

Gracias al empleo de unidades programables (desde microprocesadores solos o combinados, hasta ordenadores en configuración duplicada) y de una gama completa de equipos periféricos, los sistemas responden a las exigencias más severas de la supervisión y el control a distancia.

Antes de iniciar el desarrollo y definición de las instalaciones y equipos genéricos necesarios, definiremos un esquema básico de organización funcional.

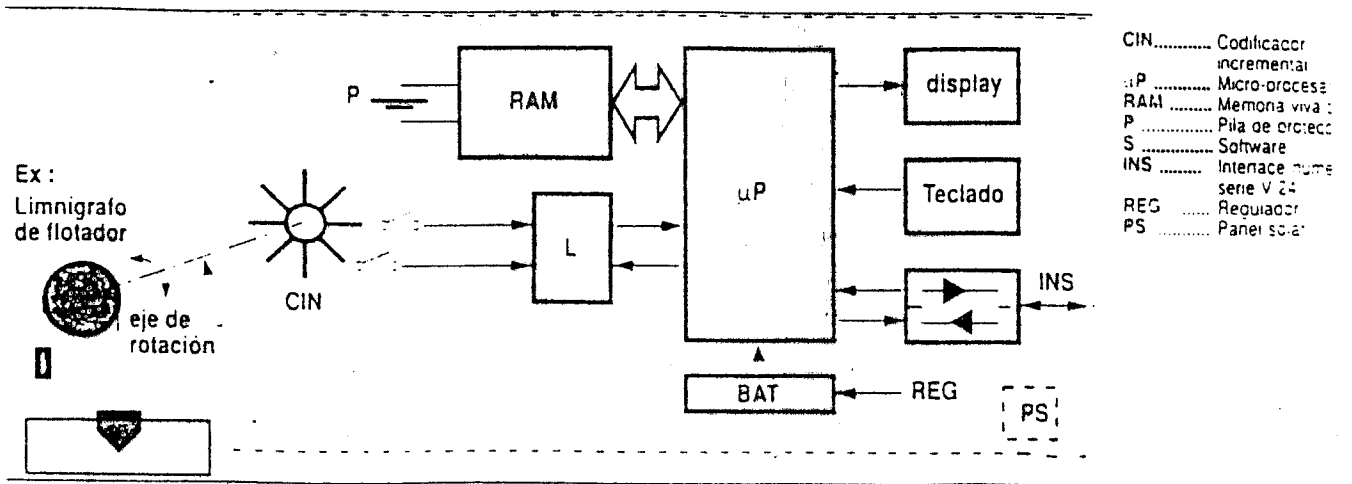
3.1. Organización funcional básica

Un sistema de gestión técnica centralizada está constituido esencialmente por:

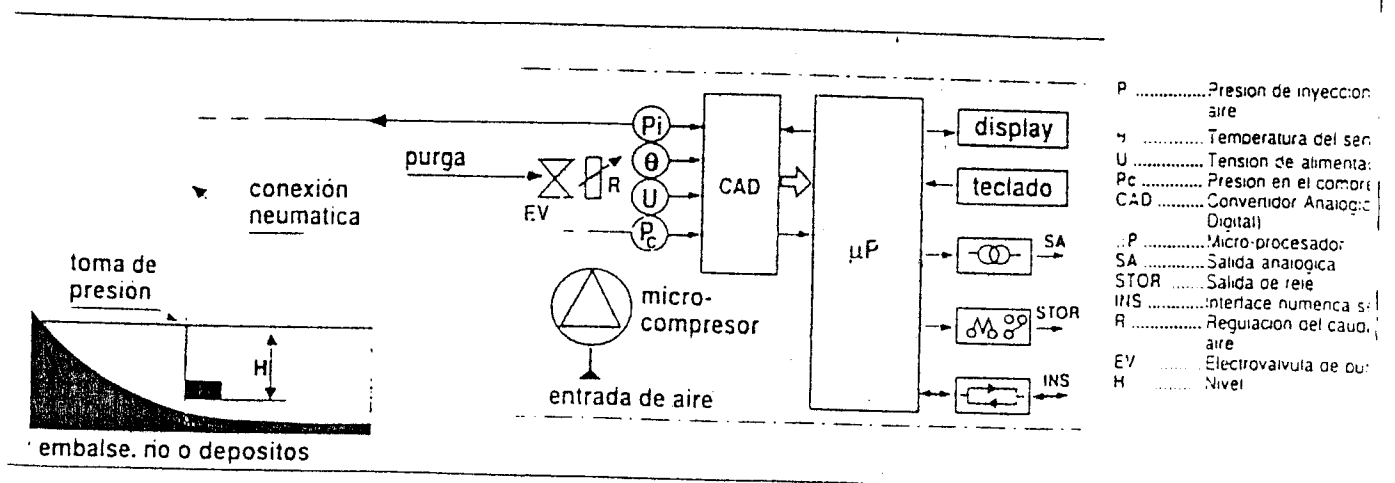
- Los equipos situados en las estaciones distantes o locales.
- La red de transmisión.
- Los equipos del centro de control.

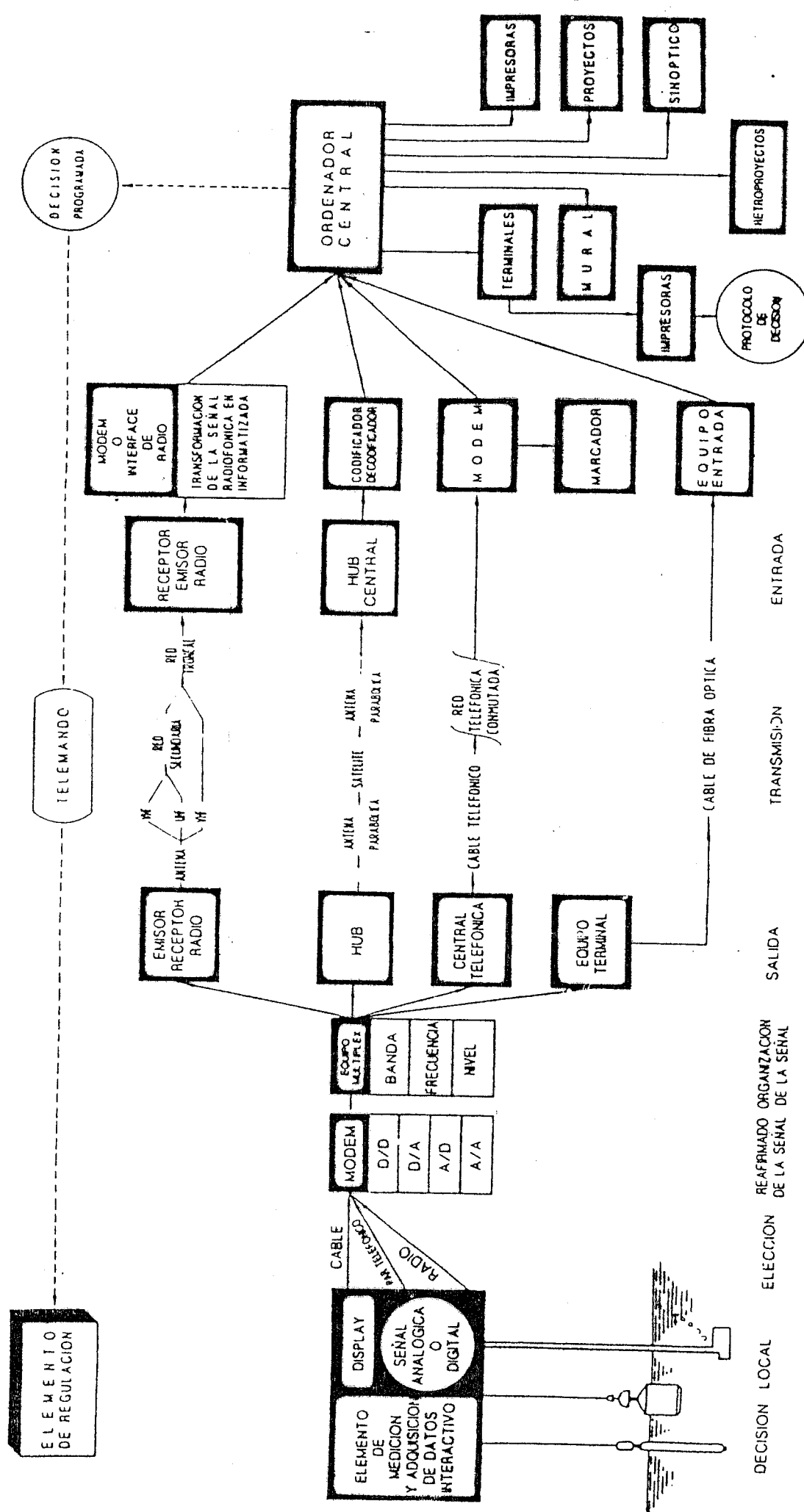
El esquema general es el que se adjunta a continuación:

Esquema de bloques



Esquema de bloques





ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL

Las funciones básicas que realizan estos elementos pueden resumirse en lo siguiente:

ESTACIONES LOCALES

- . admisión de datos
- . distribución de órdenes
- . gestión local
- . transmisión
- . alimentación

RED DE TRANSMISION

- . transporte de la información (datos y órdenes)

CENTRO DE CONTROL

- . transmisión
- . gestión centralizada
- . explotación
- . alimentación

El sistema y la organización permiten la transmisión y gestión posterior de unos datos adquiridos en un punto remoto a controlar y que pertenecen a los grupos siguientes:

- a) Informaciones de supervisión, que la estación distante envía al centro de control (adquisición de datos).

Incluyen:

TELEMEDIDA:

Valor analógico o digital.

SEÑALIZACION DE ESTADO Y ALARMA: Temporal, permanente, normal y urgente.

COMPUTO: Impulsos.

b) ordenes de control, que envía el centro de control a las estaciones distantes (distribución de datos).

Incluyen:

TELEMANDO: Individual, simultáneo y general.

CONSIGNA: Valor analógico o digital.

c) Transferencia de informaciones del centro de control a las estaciones distantes relativas a parámetro del sistema, individuales o múltiples.

Una vez conocidos los datos necesarios, la gestión técnica centralizada del sistema, permite la supervisión y el control, con la ayuda de medios, tales como:

- indicación simple
- presentación elaborada
- registro selectivo
- impresión automática y sistemática
- memorización
- tratamiento para: asignación funcional, elaboración de órdenes o de secuencias, registro cronológico, operaciones aritméticas, supervisión por comparación, síntesis y archivo.

Además, todos aquellos parámetros, que por necesidad de la explotación o recursos de que se trate, sean de interés para una gestión adecuada.

A continuación se realiza una descripción general de los diferentes módulos que componen el conjunto de la transmisión de datos.

3.2. Puesto de control local

Está situado en el punto a controlar o a analizar y lo forman los elementos de regulación, medición e información correspondiente, incluidos en cualquiera de los grupos mencionados anteriormente. Como ejemplo clásico consideramos un Caudalímetro Interactivo, dotado por tanto de los microprocesadores y circuitos que analizan el dato medido, transformándolo

en valores ingenieriles para ser conocidos en modo local por el operador y por otra parte en impulsos capaces de ser introducidos en la red de transmisión. Así mismo, el propio caudalímetro convierte directamente la señal en analógica o digital, según la especie de transmisión que se elija.

3.2.1. Conexión al modem

Una vez medido el dato y analizado el dato con las transformaciones ingenieriles correspondientes es enviado al MODEM por cable, radio o par telefónico, según disponga la topografía del terreno, el sistema elegido y la inversión económica, todo ello conjugado con la distancia mayor o menor que exista entre MODEM y punto local de medición.

3.2.2 Modem

El modem, recibida la señal analógica o digital, reafirma dicha señal y la prepara, (actualmente casi siempre digitalizada por su mayor capacidad en la transmisión, para ser trasvasada al equipo multiplexor correspondiente.

3.2.3 Equipo multiplexor

Recibida la señal del modem, el equipo multiplexor, la analiza y la prepara en la banda correspondiente, frecuencia y nivel para ser enviada al equipo de transmisión propiamente dicho. En caso de transmisión vía radio, al transmisor correspondiente, al HUB en caso de enlaces Vía Satélite, al equipo terminal si se usa cable de fibra óptica y al centro telefónico en el caso de Red Telefónica conmutada.

Los equipos multiplex digitales para radioenlaces de fuentes locales, poseen una capacidad de transmisión de hasta 6 canales en las bandas de frecuencia de 400, 800 y 1.500 MHz. Se utilizan para segregar canales interurbanos entre poblaciones y para la transmisión de señales telefónicas y datos en enlaces privados o líneas dedicadas.

El equipo puede soportar además los sistemas de control y supervisión remotos, especialmente diseñados para enlaces de segregación de baja o alta

capacidad.

3.2.4 Salida de la señal

Controlada y reordenada la señal en el equipo multiplexor, es traspasada por éste al equipo correspondiente en función del sistema de comunicación elegido, atendiendo, si el sistema es de comunicación vía radio, al equipo de radio emisor-receptor; si la comunicación es vía satélite al HUB con salida a antena parabólica; si fuera por cable de fibra óptica al equipo terminal del mismo; y si fuera por telefonía a la central telefónica.

3.3. ENLACES Y COMUNICACIONES

En una gestión técnica centralizada, para el control y explotación de los recursos, es importante la elección del sistema de comunicaciones, que varía desde la comunicación vía radio a la red telefónica conmutada, pasando por la fibra óptica y enlaces vía satélite, todo ello en función de la calidad de comunicación; de la seguridad de la misma, y de los recursos económicos disponibles. Con menor afección, pero también importante incide en el sistema, la orografía, los lugares de instalación, etc.

3.3.1. Enlace vía radio

Los enlaces de radio en comunicaciones terrestres, hoy son las más extendidas, por la menor dependencia existente de terceros o empresas que los explotan.

Siguiendo la directriz anterior de enviar una señal o un dato tomado en un punto de la red hidráulica controlada, esta señal entra desde el equipo multiplex al emisor-receptor de radio, para ser emitida en la banda de VHF o UHF según se defina en el proyecto de comunicación. A través de las antenas omnidireccionales o de punta, para enlaces en VHF y direccionales o yaquis para los enlaces en UHF, la señal es transportada por la Red de Radio Secundaria a la Red Troncal del Sistema, directamente, en un salto o varios según haya aconsejado el estudio de los vanos, enlaces y topografía

de la zona.

3.3.2. Red telefónica conmutada

La comunicación por red telefónica, es segura y fiables en tanto la compañía concesionaria establezca y mantenga la red en completo estado de explotación y desarrollo. La comunicación por tanto es dependiente y en casos o momentos de crisis y catástrofes puede quedar el sistema colgado. En algunos países se tiene como seguridad y alternativa a los enlaces de radio terrestres.

3.3.3. Enlaces vía satélite

En los últimos años se han desarrollado los enlaces Vía Satélite, que obviando el complejo desarrollo, punto a punto y explotación de la comunicación, aseguran la comunicación en un porcentaje muy importante, prácticamente total.

Las ventajas de este tipo de comunicación, además de las inherentes al sistema, son la facilidad de instalación de los equipos terrestres, no necesitar repetidores intermedios y la posibilidad de enlazar ciertos puntos, a los cuales sería muy costoso, cuando no imposible, acceder por vías terrenas (cables o radioenlaces terrestres). La comunicación en infraestructura se simplifica, pues se reduce a comunicación punto a punto, a través del sistema de satélite que cubran la zona. La red permite establecer, así mismo, comunicaciones bidireccionales existiendo la posibilidad de hacer enlaces remota-remota, pasando a través de la central.

Las estaciones remotas se componen, en síntesis, de una antena parabólica, un bloque integrado de radio frecuencia, un modem digital y los cableados y conexiones, la estación central, además otro bloque integrado de radio-frecuencia y un control de redundancia anual.

3.3.4. Fibra óptica

El sistema de comunicaciones por cable de fibra óptica es fiable y fluido por su enorme capacidad ilimitada para su utilización, asegura fuertemente la comunicación y para su instalación no depende del usuario, sino de la capacidad de desarrollo del país. No está abierto a todas las posibilidades, ni técnicas ni económicamente.

3.4. PUESTO DE CONTROL CENTRAL

Recibida la señal del dato transmitido en el Control Central o Estación Central y modificada por el MODEM en señal o impulso informativo, ésta es recibida por el Ordenador Central del Sistema de Control y para su análisis, filtro y proceso.

Los equipos del Control Central se configuran con sus periféricos asociados, panel sinóptico, mural, proyector o retroproyector e impresoras. Así mismo se pueden derivar todas las aplicaciones particulares que se precisen.

3.4.1. Ordenador central

Este equipo lleva a cabo la gestión de la información generada por los elementos de la red y puede elaborar órdenes de control y telemando que se utilicen en la regulación y explotación del sistema.

Para aplicaciones generales, el sistema informático se puede basar en la arquitectura estándar existente en el mercado informático, siendo siempre esto deseable, por disminuir las dependencias en la conservación de equipos. La máquina u ordenador central, dado el volumen de datos y carga generada debe dar respuesta precisa a las exigencias implantadas en el diseño original del proyecto.

Por los tanto, los ordenadores convencionales no responden en toda la extensión por no presentar estructuras adecuadas para el funcionamiento en tiempo real.

Respondiendo a estos criterios, son convenientes elementos con multiprocesadores distribuidos y elementos inteligentes especializados, dedicados a tareas muy específicas; con ello se consigue lograr un funcionamiento en tiempo real, con rápido tiempo de respuesta y capacidad de soporte para estas redes de telecontrol y telemedida, que por otra parte son complejas y de gran extensión.

Las características mínimas de un equipo de esta magnitud, entendemos que no debieran estar por debajo de las siguientes:

- numerosos tratamientos previos de las informaciones, antes de su presentación al operador.
- utilización simultánea de varios soportes de transmisión.
- un interfaz hombre-máquina particularmente estudiado para suministrar al operador rápida y claramente el máximo de informaciones.
- el usuario puede parametrizar o modificar los parámetros de su aplicación, ajustar estaciones e imágenes gráficas, etc.
- utilización de materiales ampliamente disponibles en el mercado mundial y software básico utilizado en múltiples aplicaciones.

Otro elemento importante es el software o base del desarrollo y presentación de la información procesada, cuestión que define el grado de información requerida en pantalla, así como también es importantísimo la representación de imágenes gráficas, cuadros, resúmenes gráficos, etc. Las imágenes gráficas permiten visualizar globalmente el estado de una red, de una región, de una estación o el detalle de un sector. Los estados se visualizan a través de símbolos y las medidas para sus valores numéricos son informaciones complementarias.

Las informaciones gráficas se deben caracterizar por:

- un tiempo de visualización rápido
- una total libertad para el usuario en la creación de imágenes y de símbolos dinámicos.

Adicionalmente a todo lo expuesto, se deben de incorporar las funciones siguientes:

- Asignar consignas que se presentan en la pantalla de visualización en texto.
- Etiquetado de acciones ejecutadas como consecuencia de un suceso, mediante un texto introducido por el ordenador.
- Acciones automáticas (secuencias de telemandos y puntos de consigna predefinidas realizadas por el centro). El comienzo de la acción puede producirse de forma manual o automática.
- Llamada automática al personal de guardia por la red telefónica conmutada.
- Cálculo y la presentación por impresora de una tabla estadística de resultados.
- Cálculos sobre los archivos de datos.
- Conversión de los datos archivados para efectuar operaciones sobre ellos en el entorno del Sistema Operativo. Estos ficheros convertidos son, por ejemplo, directamente utilizables por un PC equipado con una base de datos o una hoja de cálculo.
- Generación de curvas en la pantalla principal y en la impresora.

3.4.2. Periféricos

Son necesarios los periféricos asociados al Punto de Control Central, como en terminales, sinópticos, murales, proyector, etc. Todo ello conlleva a una explotación ordenada y controlada de los recursos, cuestión tratada en esta presentación.

3.5. DECISION LOCAL

Cuando se diseña por vez primera un sistema de control general de ámbito territorial suele caerse, con frecuencia, en la fácil tentación de pasar del "nada al todo", tratando que el mismo sea perfecto y lo más completo posible. Subsanan posteriormente esta grave equivocación y transmisión excesiva de datos para información del sistema termina desbordando los procesos de tratamiento del puesto central, anulándose en última instancia, el sistema de control y no controlando nada.

Por ello resulta aconsejable, y máximo si se carece de experiencia, seguir

en el tiempo un proceso de implantación gradual por etapas, de tal manera que cuando una esté agotada y dominada se pase a la siguiente:

La primera etapa, y quizás en la que hay que destinar más tiempo, sería la elección y desarrollo de la transmisión. En un territorio, por ejemplo, con 60 zonas regables y dimensiones superiores a los 300 kms. de largo y ancho, el sistema de transmisión más apropiado es la vía radio, tanto para datos como fonía. Hay que dimensionar cuidadosamente el número de canales, teniendo presente las futuras prestaciones que van a ser requeridas al margen de los regadíos.

Esta etapa puede darse por concluida cuando el funcionamiento es ininterrumpido, sobre todo en época invernal, y los Ingenieros de Explotación comunican fácilmente desde el despacho -teléfono- con los Encargados de Campo dotados de equipos emisores-receptores móviles -vehículos- o portátiles. Llegados aquí se habrán superado las averías de alimentación a los equipos de repetición -líneas de alta montaña-, los códigos y protocolos de comunicación se habrán afinado y la conservación y mantenimiento será ordinaria. El tiempo de maduración puede aproximarse a los tres años.

La segunda etapa será la de medición e información en dos o tres puntos locales remotos, que servirán como experiencia piloto. Paralelamente, puede irse completando el diseño general para el resto de zonas regables y analizando los ventajas e inconvenientes, tanto técnicas como económicas, de los diferentes elementos que ofrece el mercado.

El personal encargado de campo debe familiarizarse en este periodo con los nuevos elementos y el diálogo por medio de pantalla y pulsadores. Este personal es el elemento de decisión local modificando los parámetros de funcionamiento de acuerdo con los requerimientos de la explotación de la zona regable.

La transmisión de datos en esta etapa sólo es conveniente registrar los caudales circulantes a lo largo del tiempo se hace de forma local por conexión de un terminal portátil o equivalente y a distancia, al puesto central, por vía radio. Con la escasa información recibida puede irse

perfeccionando poco a poco el software del futuro sistema de control.

3.6. DECISION CENTRAL

Los elementos instalados en los puestos de control local de adquisición de datos registran, fechan y almacenan los cambios de estado de las variables digitales y las variaciones sobre incrementos predefinidos de las variantes analógicas. La estación remota puede también registrar los gradientes de las medidas analógicas que sobrepasan un cierto límite establecido o puede programarse para que tome medidas de intervalos predefinidos independientemente de como varíen tales medidas. Todas estas informaciones son transmitidas al puesto de control central bajo integración de éste.

También pueden recibir información desde dicho puesto al objeto de modificación de parámetros o ejecución de telemandos. Las comunicaciones de datos se realizan a través de la red de radio.

La información transmitida desde el puesto de control central debe estar acotada por el explotador, de forma que la decisión sea programada dentro de los límites ordinarios de funcionamiento.

Fuera de dichos límites, a través del protocolo de decisión, debe ser el explotador del sistema quien adopte la modificación paramétrica oportuna.

4. SISTEMAS PRACTICOS DE CONTROL DE CAUDALES EN FUNCION DE LAS CARACTERISTICAS DE LA ZONA REGABLE

Los antiguos regadíos fueron proyectados para regar de "sol a sol" y de "lunes a lunes", con estructuras telescópicas que hicieron más baratas la ejecución de las diferentes obras destinadas al riego.

Unos fueron construidos por particulares o Comunidades de Regantes, en base a la preceptiva autorización o concesión administrativa de un determinado caudal, continuo, hoy en día vigente.

Otros, lo fueron por el Estado con el auxilio económico de los interesados, o bien, porque así lo requería el interés general de la Nación.

Los primeros son los denominados "regadíos tradicionales" y únicamente están condicionados concesionalmente a no derivar un caudal superior al asignado. Se trata de regadíos anteriores en tiempo a la regulación del tramo de río donde están ubicados.

Los segundos son los denominados "regadíos estatales" basados en la construcción de determinadas infraestructuras de regulación destinadas, entre otros fines, al riego.

Los regadíos tradicionales disponen, en general, de cauces en tierra, por lo que la eficiencia del riego es muy reducida. De aquí surge la necesidad de derivación de caudales superiores a los concesionales, práctica abusiva en otros tiempos habitual, pero que ha habido que regular mediante la construcción de módulos limitativos al caudal concesional, en orden a una aplicación racional de las aguas destinadas al riego.

Los regadíos estatales, por su parte, han sufrido un grave deterioro de la infraestructura a lo largo de su vida útil, debido, por un lado, a la adversa climatología y por otro, a la ausencia de una inversión mínima en conservación, todo lo cual ha determinado en algunos casos su ruina total. Estas circunstancias han propiciado la rehabilitación de determinadas zonas regables, implantando modernos sistemas de riego a la demanda.

El control práctico de caudales en función de las características demandadas por unos regadíos u otros, da lugar a una casuística que puede sistematizarse, en base a los elementos de control que han sido expuestos anteriormente, conjugando los mismos en aras a conseguir el objetivo perseguido.

A continuación, trataremos de dar luz sobre los diferentes casos prácticos reales que se han abordado y la forma y manera en que se han resuelto, tratando de sistematizar los mismos.

4.1. CAUDAL DERIVADO A UN CANAL DE RIEGO TRADICIONAL DESDE UN RIO REGULADO O SIN REGULAR

La gama de caudales derivados puede ir desde muy pequeños (20 l/s) hasta varios metros cúbicos por segundo.

Los caudales pequeños van destinados, por lo general, a riego, no existiendo otros usos y por tanto, la derivación está exenta de servidumbres. No requiere información el concesionario si tiene la certeza que la obra de control se ha ejecutado correctamente y posteriormente se ha contrastado el gasto.

Para caudales de tipo medio, la distribución de aguas para riego tiene gran importancia y las Comunidades de Regantes requieren tener conocimiento de los volúmenes derivados.

Finalmente, los grandes caudales van destinados a otros usos, además del regadío, como pueden ser el abastecimiento, industrial, hidroeléctrico, etc. En estos casos, los caudales a lo largo del año son muy diferentes, alcanzándose el máximo a lo largo de los meses de Campaña de Riego -verano- y el mínimo en los meses de invierno.

4.1.1. Caudales pequeños

Pueden considerarse aquellos inferiores a 500 l/s. Suele ser suficiente

aplicar elementos de regulación estáticos, recomendándose azud de derivación, seguido de compuertas de apertura o cierre y orificio sumergido.

En aquellos casos en que se dispone de un azud suficientemente largo que garantice fluctuaciones de nivel admisibles, o bien, se tengan suficientes garantías en la regulación del río para que las variaciones del nivel a lo largo de la Campaña de Riegos sean admisibles, puede sustituirse el elemento de medición de orificio sumergido por otro de módulos de caudal constante, utilizando la compuerta de apertura o cierre como elemento de regulación dinámico.

4.1.2. Caudales medios

Pueden considerarse aquellos comprendidos entre $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$. En este caso, aparte de aplicar elementos de regulación es conveniente acompañarlos de elementos de medición e información elemental.

La secuencia podría ser la siguiente:

- Azud de derivación.
- Compuerta de apertura o cierre.
- Compuerta automática de regulación de nivel constante aguas abajo.
- Módulos de caudal constante, resalto hidráulico por vertedero sumergido, Parshall o Venturi.
- Escala limnimétrica.

4.1.3 . Caudales grandes

Pueden considerarse aquellos superiores a los $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Aparte de los elementos de regulación y medición, es conveniente acompañarlos de información.

Como se ha indicado anteriormente, la fuerte variación de caudales de invierno a verano y la necesidad de garantizar las servidumbres impuestas por otros usos, principalmente los abastecimientos, aconseja disponer, por lo menos, dos líneas en paralelo, facilitando las tareas de conservación en época de caudales bajos.

La secuencia podría ser la misma que la expuesta en el apartado anterior, sustituyendo la escala limnimétrica por un codificador memorizador, sin olvidar las líneas de flujo en paralelo.

4.2. CAUDAL DERIVADO A UN CANAL DE RIEGO ESTATAL DESDE UN RIO REGULADO

En España los regadíos estatales representan algo más del 75% de la superficie regada, por lo que el control de los caudales derivados tienen una importancia fundamental para asegurar unos desembalses correctos.

Las demandas de agua en las zonas regables suponen caudales importantes desde 1 m³/s., en pocos casos, hasta 40 m³/s.

En las zonas regables que todavía no han sido rehabilitadas y modernizadas, la regulación se sigue haciendo desde aguas arriba y es suficiente con tener información, tanto local como central.

En aquellas otras en donde se ha implantado ya un modelo de regulación dinámico, para atender el riego a la demanda, es necesario, aparte de la información, adoptar decisiones tanto locales como centralizadas.

4.2.1. Regulación desde aguas arriba

Debe entenderse que de acuerdo con el conocimiento de la zona regable y su costumbrismo, se procede a derivar un caudal determinado que puede ser modificado a lo largo de la jornada de riego, diariamente o durante el ciclo de rotación de cultivos.

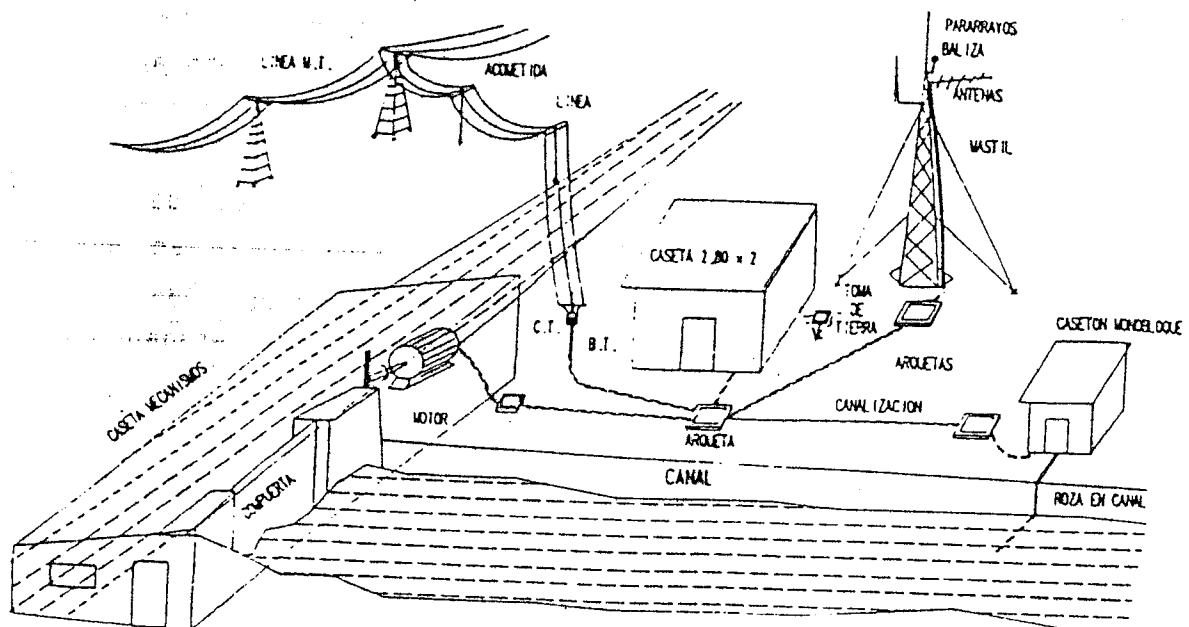
Su control se realiza por medio de elementos de regulación, medición,

información y decisión local en una primera etapa de explotación. Resulta recomendable que hasta tanto no se tiene rodada, contrastada y dominada esta etapa, no debe implantarse la decisión central por medio del telemando.

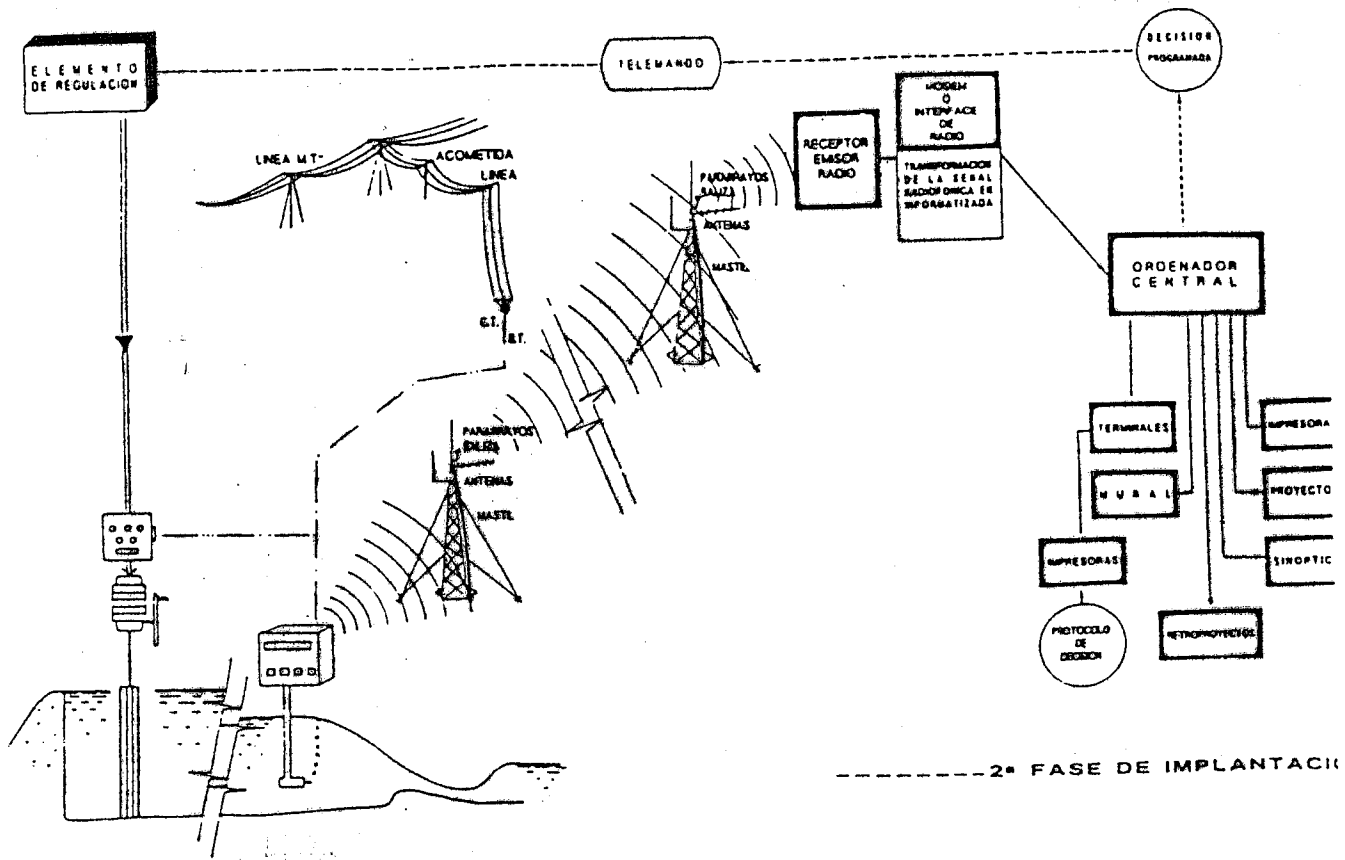
La secuencia recomendada para estos casos es la siguiente:

- Azud de derivación.
- Compuertas planas de superficie motorizadas (en una segunda fase pueden ser telemandadas).
- Sección de control, resalto hidráulico por vertedero sumergido, Venturi o Parshall.
- Caudalímetro interactivo neumático.
- Transmisión de datos.
- Decisión local.

El emplazamiento habitual de los diferentes elementos de control en el punto de toma del canal, suele ser el siguiente:



La secuencia a seguir, sería la misma que se refleja en el siguiente esquema. El protocolo de decisión, y su programación por telemando debe implantarse en un segunda fase.



4.2.2. Regulación desde aguas abajo

El módulo dinámico de regulación determina en el tiempo los caudales a suministrar en la toma del canal, de acuerdo con los datos adquiridos y transmitidos en los diferentes puntos de control de la red de riego.

El esquema de funcionamiento sería el mismo que el reflejado en el apartado anterior, con las siguientes variaciones:

- a) Si el modelo se encuentra ubicado localmente, las órdenes sobre las compuertas de regulación proceden de la decisión local derivada del caudalímetro.

- b) Si el modelo se encuentra en el puesto central de control, las órdenes son programadas y transmitidas por telemando.

5. BIBLIOGRAFIA

- CASTILLO E. LUIS G. (1994). "Oferta Técnica presentada por SENER Ingeniería y Sistemas, S.A., al Concurso Público para la Reparación y Modernización del Canal Bajo Guadalquivir". Dirección General de Obras Hidráulicas - Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente (MOPTMA) de España.
- CASTILLO E. LUIS G., ROMAN C. VICENTE, GROENVELD NICOLAS (1992). "Metodología para definir las disponibilidades de captación en Sistemas Hidrográficos Complejos". XV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Cartagena, Colombia.
- CASTILLO E. LUIS G., DOLZ R. JOSE, POLO JOSE (1991). "Acquisition and Analysis of Data to Characterize Dynamic Actions in Hydraulic Energy Dissipators". XXIV World Congress of Hydraulic. International Association for Hydraulic Research (IAHR). Madrid, Spain.
- CUNGE, J.A., HOLLY, F.M. and VERWEY, A. (1980). "Practical aspects of computational river hydraulics". Pitman Press, Boston, Mass.
- CURSO DE POSTGRADO: ^{Rehabilitación} ~~Modernización~~ de Regadíos" (1992). Centro de Estudios y Experimentación (CEDEX) - Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (MOPTMA). Madrid, España.
- CURSO DE POSTGRADO: "Métodos Numéricos para el Cálculo y Diseño en Ingeniería" (1987). Universidad Politécnica de Catalunya. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. España.
- CURSO DE DOCTORADO: "Infraestructura y Explotación de Regadíos" (1985-1986). Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, España.
- FRENCH, R.H. (1986). "Open Channel Hydraulics". Mc Graw-Hill, Int. Student Ed., Singapore.

- JOURNAL OF IRRIGATION ~~AND IRRIGATION~~ AND DRAINAGE ENGINEERING (1993).
Vol. 119, No.4. July/August. ASCE. USA.
- POLO JOSE, CASTILLO E. LUIS G., DOLZ R. (1992). "Measurement and Data Acquisition on the Pressure Field in the Tests Carried out on a Reduced Model of Stilling Basin". 4th Conference on Hydraulic Engineering Software HYDROSOFT '92. Wessex Institute of Technology, Southampton, United Kingdom. Technical University of Valencia.
- RANGA RAJU, K.G. (1981). "Flow Trough Open Channels". Tata Mc Graw-Hill. New Delhi.
- RIJO MANUEL, BETAMIO de ALMEIDA Y SANTOS PEREIRA (1991), " Simulation of Transient Flows in Irrigation Canals: Automatic AMIL Radial Gates". XXIV World Congress of Hydraulics. International Association for Hydraulics Research (IAHR). Madrid, Spain.