

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**SISTEMAS DE CONTROL DE RIEGO TECNIFICADO MEDIANTE SCADA
APLICADO AL CONTROL DE REGADIOS, RIEGO LOCALIZADO DE LAZO
CERRADO Y PREVENCION DEL EFECTO "HELADA" EN CAMPOS DE
CULTIVO DE LA ZONA YUNGA-QUECHUA**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRONICO

PRESENTADO POR:

MANUEL REYMUNDO SALINAS PALOMINO

**PROMOCIÓN
1985 – I**

**LIMA-PERU
2008**

**SISTEMAS DE CONTROL DE RIEGO TECNIFICADO MEDIANTE SCADA APLICADO
AL CONTROL DE REGADIOS, RIEGO LOCALIZADO DE LAZO CERRADO Y
PREVENCION DEL EFECTO “HELADA” EN CAMPOS DE CULTIVO DE LA ZONA
YUNGA-QUECHUA**

***Dedicado a mis queridos padres
Manuel y Margarita, y a mis
hermanas Silvia, Leila e Iliana...la
familia con que Dios me ha
bendecido.***

***Conseguir metas para avanzar
hacia nuestros sueños y anhelos
no tienen plazo ni límites de
tiempo, el trabajo para lograrlo
nos obliga a seguir aprendiendo, a
compartir lo aprendido, a difundir
aquellos valores y conocimientos
que aún siendo sencillos pueden
contribuir a lograr un mundo más
equilibrado y justo.***

SUMARIO

La Ingeniería Electrónica en el Perú y en general la tecnología, no ha llegado con aplicaciones específicas para la agricultura en general y menos aún para la rural o de subsistencia; siendo evidente que los lugares donde más tecnología se requiere están ubicados principalmente en las zonas yunga-quechua de nuestra geografía serrana.

El reto de superar mediante la tecnología las barreras naturales que tienen estos campos de cultivo de topografía difícil, mínima gestión de las aguas para regadío, escasez de agua para riego y el riesgo del efecto "helada" podría ser posible, con una infraestructura moderna de canales de regadío, dispositivos e instrumentos de control automático, sistemas informáticos y de comunicaciones además de recursos humanos capacitados.

La propuesta planteada, base de este informe, es establecer que la mejor opción para la *gestión de sistemas de control de riego tecnificado* para las zonas antes descritas son del tipo distribuido con supervisión maestra. Estos sistemas constituidos por una estación central donde se ejecuta un programa de control y adquisición de datos de supervisión (SCADA) y por redes de dispositivos de medición y automatización pueden atender aquellas áreas "objetivo" a las que se quiere dotar de cobertura tecnológica.

La finalidad es ampliar las áreas bajo regadío, entregar aguas de calidad en tiempo, lugar y cantidad óptima en las plantaciones atendidas, mejorar la productividad y la renta de la agricultura de estas zonas; además de permitir su acceso a los Sistemas de Información Agrícola y Ambiental, nuevas técnicas de cultivo y nuevos mercados, que contribuyan a superar algunos de los focos de frustración y desesperanza de nuestro país.

INDICE

INTRODUCCION	01
CAPITULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	06
1.1 Situación y descripción del problema.	07
1.2 Objetivos del informe.	08
1.3 Alcances y limitaciones del informe.	09
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DEL ENTORNO	10
2.1 Bases y antecedentes del problema.	10
2.1.1 Políticas nacionales relacionadas con el agua.	10
2.1.2 Tipos de cultivo.	11
2.1.3 Gestión sostenible del agua.	11
2.1.4 Gestión de agua para riego.	12
2.1.5 Fundamentos de riego.	13
2.1.6 Eficiencia del riego.	21
2.1.7 Pérdidas de agua para riego.	24
2.1.8 Heladas.	25
2.2 Definición de términos.	27
CAPITULO III	
BASES TEORICAS DE LA PROPUESTA DE INGENIERIA	30
3.1 Sistemas SCADA.	30
3.1.1 Aproximación teórica a los sistemas SCADA.	30
3.1.2 Descripción general de un SCADA.	31
3.1.3 Características de un sistema SCADA.	31
3.1.4 Prestaciones.	34

3.1.5	Requisitos.	34
3.1.6	Componentes de hardware.	34
3.1.7	Como elegir un sistema SCADA.	39
3.1.8	Implementación de un sistema SCADA funcional.	39
3.1.9	Estructura y componentes de un software SCADA.	40
3.1.10	Interfase de comunicación	44
3.1.11	Evolución del software SCADA	45
3.2	Sistemas de control.	47
3.2.1	El sistema de control.	47
3.2.2	Tipos de sistemas de control en canales de regadío.	49
3.3	Redes de Sensores.	54
3.3.1	WSN y la tecnología IEEE 802.15.4.	55
3.3.2	Ventajas de WSN.	55
3.3.3	Aplicaciones y requisitos.	55
3.3.4	Esquema de nodos.	56
3.4	Definición de términos.	57

CAPITULO IV

ESTADO DEL ARTE DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

4.1	Alternativas de solución.	60
4.2	Selección de la alternativa.	60
4.3	Descripción de la propuesta de solución.	61
4.4	Justificación de la solución.	63

CONCLUSIONES	66
---------------------	----

BIBLIOGRAFIA	71
---------------------	----

ANEXOS

ANEXO A - Tópicos con información complementaria

ANEXO B - Marco normativo del Estado

INTRODUCCION

La inclinación hacia la agricultura en las zonas rurales de nuestra Sierra tiene antecedentes que la historia registra desde el pre-incanato; nuestros ancestros en estas áreas consiguieron enfrentar con singular éxito las dificultades propias de la geografía peruana. Los vestigios y restos de lo que fueron sus redes de reservorios, canales de regadío, andenes y otras construcciones relacionadas nos muestran el uso de técnicas de alta ingeniería para uso agrícola aún para nuestros tiempos.



Andenes Circulares de Moray (Cuzco)-Centro de investigación agrícola Inca

Una visión pro-activa sobre la agricultura de esta zona es plantear para los problemas de su realidad presente soluciones convergentes con la tecnología moderna, aprovechando al máximo las herramientas de software y hardware que provee. Estas soluciones no solo deberían encontrarse en los Centros de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I), sino también en grupos de interés multidisciplinario o académico

(Ingeniería Hidráulica, Electrónica, Industrial, Agrícola, Ambiental, de Software) con capacidades de diseño y ejecución. Una mayor productividad de la cosecha agrícola y la prevención del efecto “helada”, muy comunes en estas zonas, facilitarían la inversión y el emprendimiento agroindustrial complementarias a su cadena de valor.

En este informe se propone como metodología central el concepto de sistemas de control distribuido con supervisión centralizada en el que se vinculen las técnicas de la electrónica moderna, la computación, la comunicación, el control automático, las redes de sensores y computadores como vías para lograr la explotación eficiente de un sistema de control de riego tecnificado diseñado para implementarse en los valles y áreas rurales de la zona yunga – quechua de la sierra peruana. Los resultados que se obtendrían de su montaje, incluso parcial, sin afectar los recursos naturales de estas regiones son:

La organización y sistematización del riego parcelario.

El aumento de la disponibilidad del agua para mejorar la intensidad del riego o ampliar las áreas atendidas.

Facilidades para la aplicación de las técnicas de fertirrigación que mejoren la productividad y variedad de las cosechas.

La promoción, por rentabilidad, del desarrollo sostenible de agricultura de la zona.

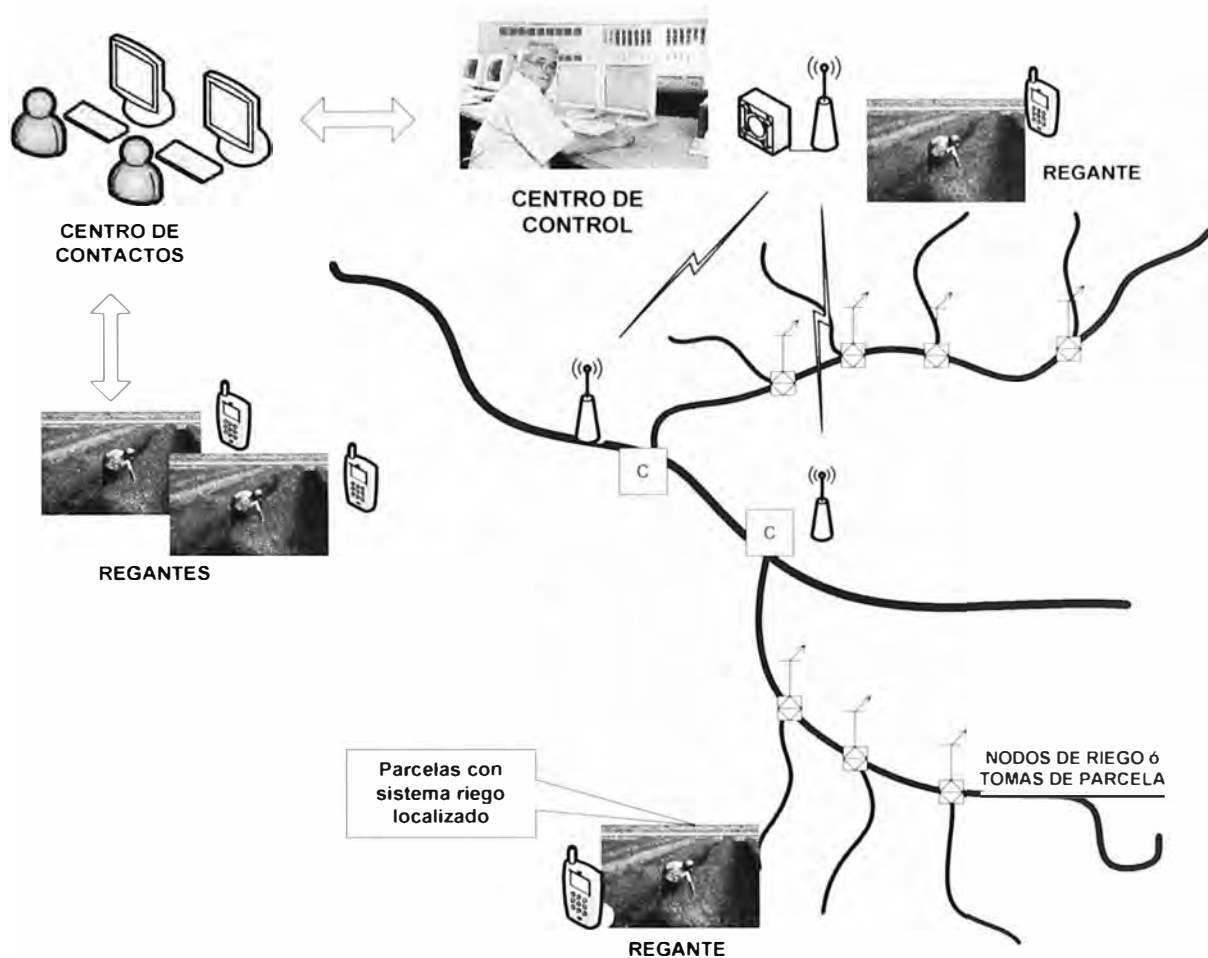
Herramientas de tecnología como SCADA se asocian normalmente a la industria corporativa y de servicios públicos, sin embargo, los costos cada vez menores de algunos recursos tecnológicos (servicios y equipos electrónicos), así como la facilidad de acceso a las fuentes de información y de software, hacen posible que su aplicación en la automatización de sistemas de regadío, riego parcelario y monitorización ambiental sean una posibilidad real, para aprovechar con eficiencia los recursos agrarios de la sierra.

Los sistemas de control de canales de regadío y riego tecnificado que se conocen en el mercado operan, en la mayoría de casos, a lazo abierto. La apertura de compuertas o válvulas, la frecuencia y el tiempo de riego se programan en función a la experiencia y conocimiento del cultivo específico. No se realimenta al sistema de control ningún parámetro agrario como el valor de la humedad del suelo y menos aún, en tiempo real.

Un sistema de control de canales de regadío empieza con recibir del mismo, datos de la demanda de riego o el valor del caudal de agua en los canales, manipulando si fuera necesario, las estructuras de control **aguas abajo**. La instrumentación electrónica de la infraestructura de canales y reservorios facilitará el funcionamiento del sistema.

El cambio estructural de la matriz de distribución del agua para riego en los valles y lomas de la sierra es un elemento básico para desarrollar todas las capacidades agrícolas de sus comunidades. La construcción, recuperación o cambio de la actual infraestructura de

almacenamiento y conducción de aguas para riego mejorarían, sin duda, la eficiencia y eficacia del uso de este recurso escaso.

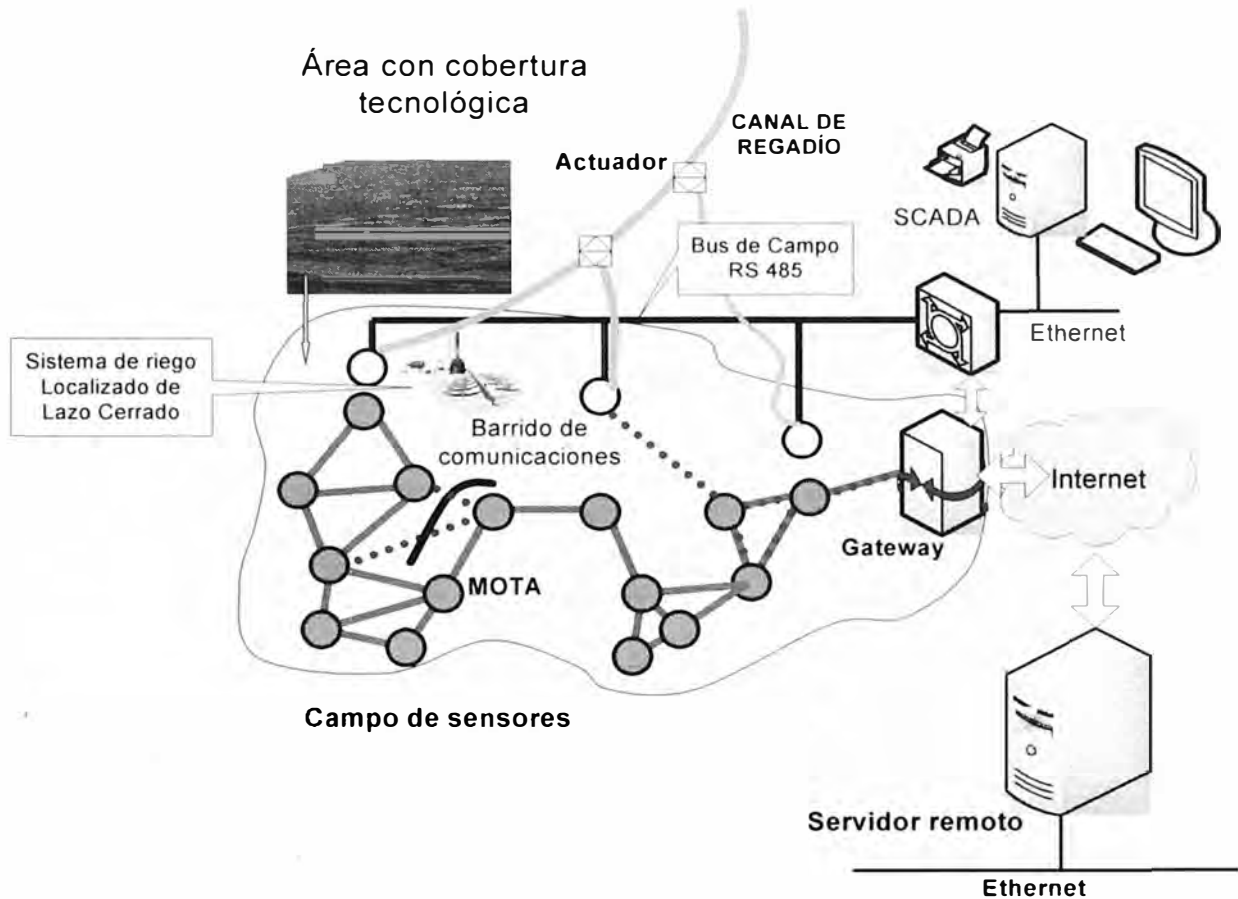


Arquitectura de un Sistema de Control de Regadío de Precisión

Una infraestructura instrumentada y comunicada en sus puntos de control y supervisión (compuertas deslizantes, válvulas, bombas, tanques de amortiguamiento, etc.) es la plataforma ideal de un **sistema de control de regadíos** bajo **SCADA** para automatizar la regulación del agua, en los canales y por extensión en las parcelas de los agricultores, proporcionándoles un servicio de riego flexible, controlado, seguro y eficiente.

Otra aplicación es el **sistema de control de riego localizado de lazo cerrado** cuyo despliegue tecnológico usa sensores y actuadores conectados a medios telemétricos como buses de campo tipo RS 485 y de radiofrecuencia fija o móvil. En este caso, la innovación con redes de sensores inalámbricos (**WSN**) o **motas** de muy bajo costo podrían cambiar las soluciones tradicionales ya que pueden enviar desde el campo, datos como el valor de la humedad de la tierra cultivada u otros parámetros biológicos a través de una Estación Base conectada al sistema bajo SCADA para su procesamiento. Los

datos adquiridos, incluso podrían “subirse” (up load) a Internet para proporcionar información remota a la supervisión que “decidirá” lo que necesita un determinado tipo de cultivo en ese momento. Una red de sensores de humedad que envía información al sistema de control consigue un **sistema de lazo cerrado** para una respuesta correctiva o de supervisión a través algoritmos y/o actuadores.



Área específica de aplicación de una cobertura tecnológica de lazo cerrado

Una aplicación complementaria bajo esta cobertura SCADA es la **prevención del efecto “helada”** en campos de cultivo bajo ese riesgo. En este caso se procesarán las alertas de los sensores de temperatura para anticipar y prevenir sus consecuencias activando el sistema de protección, mediante programas o algoritmos específicos del SCADA.

La importancia del tema de este informe será mayor si como se prevé, por el cambio climático, disminuyen las aguas disponibles para riego.

En el Capítulo I nos ocupamos del planteamiento del problema y del análisis de situación del mismo y su descripción. Establecemos los objetivos por lograr, así como los alcances, limitaciones y condicionantes que el tema del informe tiene para la realidad presente.

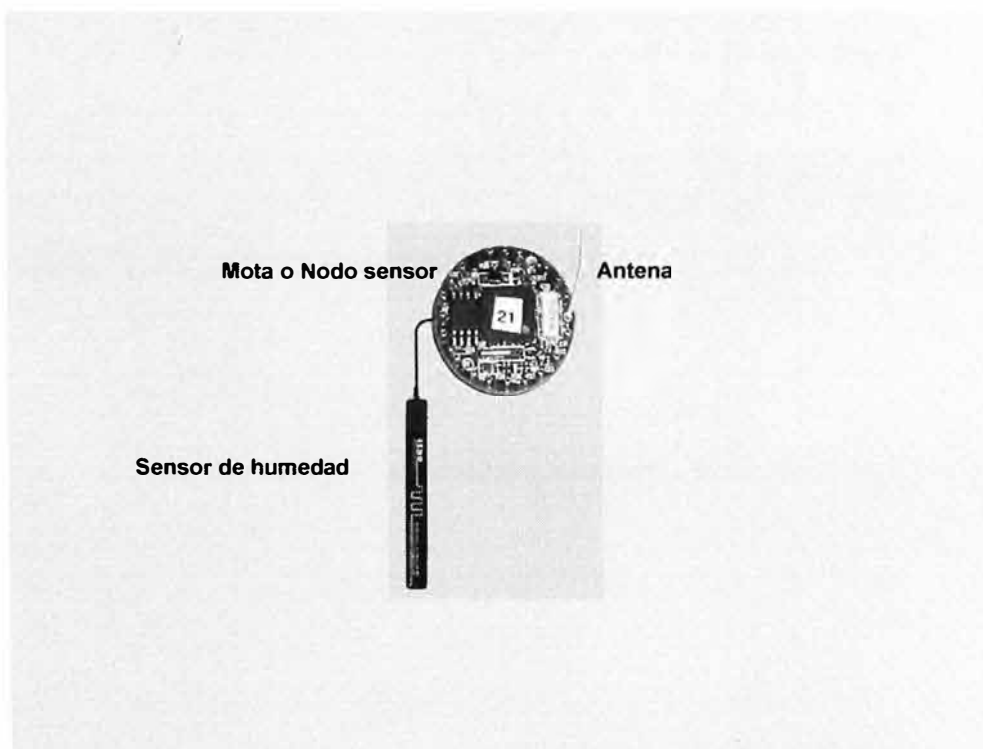
El Capítulo II, trata sobre las políticas nacionales, fundamentos históricos del riego, técnicas, conceptos del riego y su gestión sostenible, esto es, el desarrollo del antecedente de la problemática planteada.

En el Capítulo III desarrollamos la base teórica y los conceptos básicos que son necesarios para el sustento y justificación de la propuesta técnica del presente informe. La información de este capítulo y el anterior, puede ser una referencia básica para quienes se interesen en volcar tecnología electrónica en esta dimensión del sector agrícola.

En el Capítulo IV del informe esta dedicado a la evaluación de las alternativas de solución para el problema planteado, teniendo como base el “estado del arte de la solución del problema” en la que presentamos una visión esquemática de la solución propuesta y su justificación técnica. Se describirán brevemente los antecedentes técnicos y las innovaciones de las que, para el emplazamiento de esta solución, se pueden disponer en el diseño de soluciones eficientes y prácticas para una gestión sostenible del agua y la mejora de la productividad de los campos de cultivo en general.

Finalmente presentamos nuestras conclusiones y comentarios sobre el entorno relacionado a la propuesta como la Ingeniería Hidráulica, de Software, de Sistemas, etc. así como las fuentes de apoyo que pueden colaborar con la implementación de un sistema piloto útil para el diseño y las pruebas de campo de la propuesta.

MOTA o dispositivo electrónico para WSN



CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es conocido en los medios especializados que una de las razones del incremento de la productividad y la competitividad de la industria de agro-exportación peruana es la modernización de sus procesos y actividades, así como el empleo, en algún grado, de tecnología en el uso agrario del agua. Esta realidad que puede verificarse en algunas zonas de nuestra franja costera es un verdadero problema en la mayoría de los valles y lomas de la sierra que se necesita enfrentar y resolver para poder incorporar su actual desarrollo agrario, en particular de su zona yunga-quechua, al círculo virtuoso de la productividad y competitividad pese a lo difícil de su topografía, mínima infraestructura, escasez de agua para riego, debilidad de la administración de los regadíos y la presencia de las “heladas” que perjudican muchos de sus campos de cultivo. Ver figura 1.1.



Figura 1.1 Típicos campos de cultivo de secano.

Esfuerzos aislados que promueven el riego tecnificado, no abordan la integridad de la problemática asociada a esta realidad. La falta de información, difusión y emprendimiento con tecnologías modernas hacen difícil demostrar que las debilidades del agro serrano podrían superarse con una visión sistémica y sostenible del problema del agua para riego, cuya solución integral debería tener cierto grado de automatización para poder controlar y regular algunos de los factores que inciden en la mejoría de la producción y productividad agrícola.

1.1 Situación y descripción del problema.

El problema planteado tiene, básicamente, dimensiones sociales, económicas y de desarrollo sostenible. Muchos de los terrenos de cultivo que existen en la zona yunga-quechua del país tienen poca productividad y rentabilidad básicamente por su tipo de riego, aún cuando tienen en los cultivos de tipo “orgánico” una opción con gran demanda en los mercados más rentables de algunos países.



Figura 1.2 Parcela para riego por surcos.

Una apreciación crítica del tema puede confirmarse incluso en zonas de la sierra cercanas a Lima-Ciudad Capital. La infraestructura para riego casi no existe, tiene el grave problema del microfundio y los agricultores tienen poco o nulo acceso a los canales de información, capacitación y nuevas técnicas de uso agrícola.

La gestión tradicional comunal de un recurso escaso como el agua para riego no facilita su buena administración. En los distritos y comunidades de estas zonas la

"administración de aguas" depende de un comité de agricultores nombrado anualmente por la asamblea comunal, lo que hace imposible manejar de manera eficiente y menos aún tener un control eficaz de la distribución de los turnos de agua para el riego de las parcelas ya que la geografía propias de estas zonas lo dificulta.

La técnica de riego por surcos o camellones (ver figura 1.2), usada por la mayoría de los agricultores de estas zonas, para complicar el problema, es también es una de las que más pérdidas de agua produce. Estas pérdidas son mayores por el hecho de que gran parte de estas áreas de cultivo son bastante inclinadas (laderas) y de geografía difícil; a estos problemas podemos sumarle los del tipo geográfico-ambiental como las pérdidas por el efecto "helada" que se dan en algunos de los mejores campos de cultivo de la zona yunga-quechua.

1.2 Objetivos del informe.

La presentación y sustentación del presente informe tiene por objetivo, además de llamar la atención sobre el tema, mostrar como algunas disciplinas de la Ingeniería, en particular la Tecnología Electrónica, pueden ser la clave de las soluciones buscadas para el despegue de la agricultura rural y pobre del país. La innovación tecnológica, el control automático, los sistemas de supervisión y adquisición de datos pueden facilitarnos alcanzar los siguientes objetivos principales:

- El uso eficiente y organizado de la distribución de las aguas de regadío en los campos de cultivo de los valles interandinos de la zona yunga – quechua de la sierra peruana.
- El aumento de las áreas agrícolas atendidas bajo riego continuo.

Y los siguientes objetivos secundarios

- El aumento de la productividad y calidad de los cultivos por el uso de sistemas automatizados de riego localizado de lazo cerrado.
- La promoción de la investigación y desarrollo (I-D) en el diseño y desarrollo de sistemas de control automático de aplicación específica para la agricultura rural, como el control del sistema de regadíos de la zona yunga-quechua del país.
- La minimización de los factores que afecten la calidad y la producción de áreas agrícolas rurales compatibles con la conservación medioambiental y la demanda de los mejores mercados para productos agrícolas de naturaleza orgánica.

1.3 Alcance y limitaciones del informe.

El desarrollo del tema propuesto en el informe no contempla una propuesta económica específica para la implementación del sistema y su seguimiento en software y hardware. Se hará el planteamiento de una de las soluciones que pueden implementarse para una situación real y actual de los campos de cultivo de la zona yunga quechua, intentando en la medida de lo posible, despertar el interés en auditorios e instituciones nacionales que aplicaciones de tecnología como SCADA pueden facilitar e impulsar el paso de una agricultura rural de subsistencia a una agricultura moderna y sostenible. Más aún cuando en la actualidad podemos contar con tecnología SCADA y Automatización de bajo costo basadas en la convergencia de las siguientes tecnologías:

- 1.- Data loggers y controladores de bajo costo.
- 2.- Sensores baratísimos para una variedad de cultivos
- 3.-Expansión del uso de sistemas de energía solar.
- 4.-Innovaciones en los equipos de comunicación.
- 5.-El rápido avance de la industria de Computadoras Personales
- 6.-El fenomenal crecimiento del Internet.

Los alcances y costos de un proyecto como el propuesto, de gran contenido tecnológico y de infraestructura, solo podrían ejecutarse bajo un marco de políticas públicas y con la participación sectorial del estado o de un promotor de inversiones, pues el público objetivo de la propuesta son los agricultores de las zonas yunga-quechua cuyas opciones informativas, económicas, organizacionales y costumbristas en temas de riego, son barreras que se tienen que superar.

Es provechoso que exista un marco de Política Agraria de Estado en curso y dentro de ella la "Política y Estrategia Nacional de Riego en el Perú" del año 2003, que ha impulsado la Ley que crea el Programa de Riego Tecnificado - LEY N° 28585 - del año 2005 y su reglamento - del año 2007. Solo dependerá de los grupos de interés académico, profesional o de negocios, público o privado, afines a la tecnología de la propuesta planteada, aprovechar la oportunidad de promover y difundir el riego tecnificado fundamentalmente en las zonas donde no existen o hay muy poco desarrollo de tecnologías orientadas al agro.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DEL ENTORNO

Los antecedentes y la base teórica están sustentados en la importancia y el significado que para la humanidad ha tenido un recurso, ahora escaso, como el agua para riego. El desarrollo de las tecnologías de base científica para el uso agrario del agua y sus variantes son consecuencia de la búsqueda constante de soluciones para resolver los problemas con los que han confrontado a lo largo de la historia las civilizaciones que más conocimiento tecnológico y de ingeniería alcanzaron en la producción de alimentos.

2.1 BASES Y ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1 Políticas nacionales relacionadas con el agua.

Cualquier política que busque el uso racional de los recursos hidrológicos en el Perú, pasa por analizar el uso agrario del agua. En este sentido, enriquecer los lineamientos de la Política y Estrategia Nacional de Riego en el Perú, actualmente en vigencia – ver Anexo B.1, tendrá un gran significado en la continuidad y el desarrollo de las políticas públicas orientadas a lograr una agricultura sostenible que supere por un lado las dificultades que las condiciones geográficas y climáticas de nuestro país nos presenta y por otro el incierto panorama existente en el contexto regional y mundial.

La topografía irregular de los valles de la zona yunga-quechua, los procesos de deforestación, el deterioro de la cubierta vegetal del suelo y la falta de infraestructura dificultan el aprovechamiento adecuado de los caudales de agua que se presentan en los periodos de lluvia (diciembre-abril) originando la escasez del recurso hídrico la mayor parte del año. Parte de esta problemática puede empezar a resolverse bajo el marco de la Ley N° 28585 que crea el programa de riego tecnificado (año 2005) y su reglamento (año 2007) – ver Anexo B.2.

Allí donde el estado ha construido infraestructura para riego, como es el caso de algunas cuencas como Chavimochic en La Libertad, Gallito Ciego en Jequetepeque, Poechos en Piura o Majes en Arequipa, se han definido 2 formas de uso agrario del agua:

- **El riego regulado o de regadío**, para las zonas de influencia de los grandes sistemas de riego en valles de la costa. En ellas se hace posible un control en la distribución del agua de acuerdo a planes de cultivo con tarifas de riego obligatorias para cada usuario.
- **El riego no regulado**, que es generalizado en zonas de la sierra y están fuera del área de influencia de los proyectos especiales. Aquí aún no funciona el concepto de tarifas de agua, planes de cultivo, mercadeo etc. y prevalecen usos y costumbres ancestrales que favorecen la inequidad en la distribución del agua para riego, que por lo demás proceden de manantiales, micro-reservorios, pequeñas irrigaciones y canalizaciones.

2.1.2 Tipos de cultivo.

Las grandes tipologías de los cultivos agrícolas en el Perú están representadas por la de secano y la de regadío.

Para el Perú la más importante es la de regadío pues en la actualidad sustenta el boom agro-exportador costero con grandes espacios para el cultivo de espárragos, viñedos, pprika, mangos, etc. cumpliendo un gran papel en la producción y exportación no-tradicional peruana así como en el desarrollo sostenible de nuestra economía.

Se trata entonces, en función del problema planteado, de buscar soluciones integradoras para que miles de hectáreas de secano de la sierra puedan incorporarse a las cadenas de valor que estn apareciendo en las industrias de la agro-exportación peruana. Estas soluciones que incorporan infraestructura de regadío y tecnologías de riego son básicas si, como se proyecta, recursos como el agua y las áreas cultivables van a tener un importante decrecimiento.

2.1.3 gestión sostenible del agua.

La gestión sostenible del agua tiene por objeto promover la explotación de los recursos hídricos, de modo que se satisfagan las necesidades del presente sin poner en peligro el suministro para las generaciones futuras. Pero encontrar el compromiso entre las actuales necesidades y el respeto por un bien escaso, no es una tarea sencilla.

En la agricultura, principal consumidora de agua, la gestión de los recursos hídricos abarca desde desarrollos para invernaderos, hasta cultivos extensivos de regadío (algodón, maíz) o especies hortofrutícolas. En el Perú, los agricultores al reconvertirse podrían tener serios problemas con la disponibilidad y calidad del

agua para riego en el que un aspecto importante que condiciona la gestión, es la carencia de información fiable y de estadísticas sistemáticas sobre disponibilidad, demanda, calidad y aprovechamiento del agua. En otros países como en España existen una serie de redes y estaciones de medida que suministran información sobre el estado y evolución de las aguas superficiales y subterráneas, en nuestra realidad, los datos que puedan ser recogidos podrían resultar insuficientes en la mejora de la gestión del agua para uso agrario.

La incertidumbre provocada por la falta de información completa y de calidad unida a la influencia de los factores externos y de infraestructura hace que la toma de decisiones relativas a la planificación y previsión de la demanda futura de agua para riego sea difícil de establecer.

2.1.4 Gestión de agua para riego.

La agricultura ha sido un sector poco atendido en nuestro país, sin embargo es parte de la solución de algunos de nuestros problemas económico-sociales y una importante fuente de ingresos en la economía peruana. Lo más cercano y conocido es el auge de la agroindustria costera, especialmente en el Norte y el Sur Medio de nuestro país.

El factor determinante para su desarrollo ha sido la gestión del agua para riego, debido a que la agricultura más rentable se da precisamente en tierras de la costa seca. Según algunos reportes, una hectárea de tierras con regadío produce, en promedio, unas seis veces más que una hectárea de secano y genera una renta cuatro veces superior. Este hecho no hace sino confirmar que la mayor parte del consumo total de agua en el Perú debería dedicarse al regadío si es que se desea tener una agricultura rentable y sostenible.

La principal característica de los recursos hídricos en el Perú es la diversidad, y están condicionadas por la Corriente de Humboldt y la Cordillera de los Andes.

Como consecuencia de ello la agricultura en el Perú tiene desequilibrios en su desarrollo, siendo mucho mejor en las zonas costeras del Norte, como las tierras de Chavimochic y muy mala en la mayoría de los valles de la zona yunga - quechua de la sierra donde es pequeña, pobre y de subsistencia. Su potencial solo será aprovechable con cultivos orgánicos y eco-sostenibles, lo que significa que deberían buscarse técnicas o soluciones que reduzcan sus vulnerabilidades con innovación y tecnología que faciliten la gestión adecuada del agua para riego, fundamental en el desarrollo productivo de la agricultura y la mejoría económica de los habitantes de su entorno.

2.1.5 Fundamentos del riego.

El concepto de riego puede considerarse un arte muy antiguo y ha sido esencial al desarrollo y florecimiento de algunas civilizaciones. El Código de Hammurabi, sexto rey de la primera dinastía de Babilonia, señala la importancia del regadío. En II Reyes 3:16-17 también se alude al riego en el año 2000 antes de J.C. En este mismo año, se le atribuye a una reina asiria el desvío de las aguas del río Nilo para regar el desierto egipcio. Los canales que se cree que fueron construidos durante su reinado aún funcionan. De la misma forma se menciona el riego en antiguos documentos de Siria, Persia, India, China, Java e Italia. Nuestros ancestros Pre-Incas e Incas tenían claro que el riego era esencial para el desarrollo de sus sistemas agrícolas. La importancia del riego en nuestros tiempos ha sido definida con precisión por N.D. Gulati: ***"En muchos países el riego es un arte antiguo, tanto como la civilización, pero para la humanidad es una ciencia, la de sobrevivir"***.



Figura 2.1 Ciclo Hidrológico

El riego se aplica para lograr los siguientes objetivos principales:

- Suministrar la humedad necesaria para el desarrollo de los cultivos.
- Asegurar un abastecimiento suficiente de agua durante las sequías de corta duración y clima impredecible.
- Disolver sales del suelo.

- d) Como medio para aplicar agro-nutrientes.
- e) Mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
- f) Activar ciertos agentes químicos favorables.
- g) Generar beneficios operacionales.

El agua para riego es un gran porcentaje (70%) del volumen total de la disponibilidad mundial de agua y es un componente muy importante en el ciclo hidrológico (Figura 2.1) que abastece las fuentes y el almacenamiento del agua.

Conceptos básicos del riego.

El riego es la aplicación oportuna, uniforme y eficiente de agua al suelo, para reponer el agua consumida por el cultivo y la que se evapora del suelo por acción del clima. Su programación estará en función de la oportunidad, de la cantidad y de la técnica del riego o el como regar.

Para un buen riego, conocer las relaciones suelo - agua - planta - clima, evitan menores rendimientos, pérdidas excesivas de agua, lavado de nutrientes, mal drenaje, salinización del suelo y problemas de erosión.

La eficiencia de aplicación es la relación entre el agua almacenada en la zona de raíces con respecto al agua aplicada en el riego. La eficiencia de distribución indica la uniformidad con que el agua se infiltra - ver Figura 2.2. El coeficiente de déficit es la relación entre el agua que falta para humedecer por completo la zona de raíces y la cantidad necesaria para mojarla totalmente.

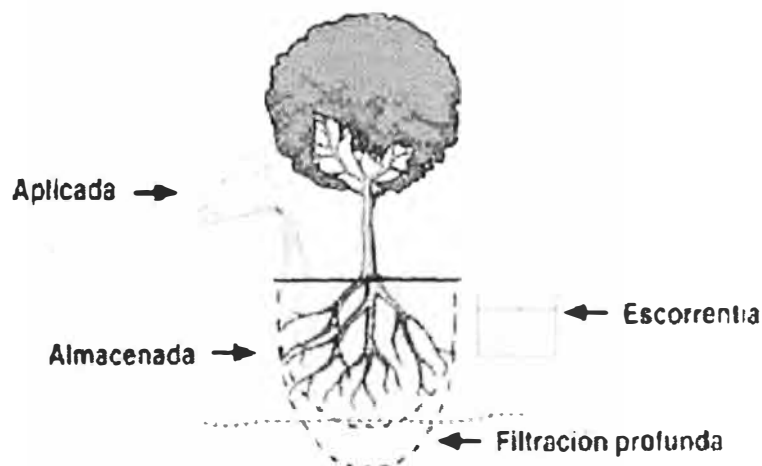


Figura 2.2 Esquema de la relación suelo- agua- planta

$$E_a = \text{Almacenada} / \text{Aplicada} \times 100$$

E_a : Eficiencia de la aplicación.

Agua Aplicada = Filtración Profunda + Almacenada + Escorrentía.

Métodos de riego.

El método de riego es la técnica a través de la cual se aplica el agua al suelo. El uso de un método de riego u otro depende de numerosos factores, entre los que es preciso destacar los siguientes:

- Topografía del terreno y la forma de la parcela.
- Características físicas del suelo, especialmente las relativas a su capacidad para almacenar el agua de riego.
- Clase de cultivo, del cual debe conocerse sus requerimientos de agua para maximizar la producción y su comportamiento en situaciones de falta de agua.
- La disponibilidad de agua y el costo de la misma.
- La calidad del agua de riego.
- La disponibilidad de mano de obra.
- El costo de las instalaciones de cada sistema de riego, tanto en lo que se refiere a inversión inicial como en la operación y mantenimiento del sistema.
- El efecto en el medio ambiente.

Por otro lado, una vez elegido el método de riego, existen variantes, cuya elección se realizará teniendo en cuenta aspectos particulares que tiene que ver con el tipo de producto o planta que se va producir.

En la actualidad son tres los métodos de riego más utilizados:

- **Riego por superficie o gravedad.**
- **Riego por aspersión.**
- **Riego localizado.**

En el Perú el método de riego más utilizado en el medio rural es el de surcos, en la costa se vienen implementando hace ya algunos años métodos de riego presurizado. En la actualidad estas áreas se vienen incrementando año a año por los beneficios que se obtienen de las nuevas tecnologías.

Riego por superficie o gravedad.

El riego por gravedad es el más antiguo usado por el hombre. Son sistemas de riego muy conocidos, sin embargo, pueden producir pérdidas de nutrientes por lavado y arrastre, al no poder controlarse perfectamente las dosis de agua.

El agua se aplica directamente sobre la superficie del suelo, y se desplaza por gravedad. El propio suelo actúa como sistema de distribución dentro de la parcela, desde la cabecera de la parcela, hasta llegar a todos los puntos de ella. Finalmente el agua alcanza la cola de la parcela. Ver figura 2.3



Figura 2.3 Esquemas de riego por gravedad (surcos)

El agua puede llegar hasta la parcela por medio de cualquier sistema de distribución, por una red de canales o por tuberías – sistema californiano (normalmente a baja presión). El agua en la cabecera no necesita presión ya que se vierte sobre el suelo y discurre libremente.

Los sistemas de riego por gravedad se caracterizan por el manejo del agua en base a las diferencias de carga hidráulica y su conveniente conducción, sobre el nivel del terreno, a través de surcos (para cultivos en hilera), melgas (para cultivos densos) o por pozas (para el cultivo del arroz). Este sistema, que se aplica en la mayoría de las áreas cultivadas en el país, es conocido como el método tradicional de riego y se viene aplicando desde los inicios de la agricultura.

El riego por superficie es un método particularmente recomendable en terrenos con pendientes muy suaves en las que no sea preciso realizar trabajos de nivelación del suelo, que son costosos y pueden afectar negativamente la profundidad efectiva del suelo.

Es el método de riego menos costoso en instalación y mantenimiento, y una vez que el agua llega a la parcela no existe costo en la aplicación del agua. Por otro lado, es el sistema de riego que utiliza el agua de forma menos eficiente, aun cuando se realice un adecuado diseño y manejo del riego.

Los métodos de riego superficial adquieren una gran importancia en aquellos lugares donde hay elevados costos de energía o de implementación en el uso de los métodos de riego presurizados y en la tecnificación o modernización con incorporación de algún nivel de automatización, de los métodos superficiales.

Los métodos de riego superficial requieren, por lo general, niveles de disponibilidad de agua muy superiores al riego presurizado u otro tipo de riego tecnificado. Por ejemplo, el riego por surcos requiere de, por lo menos, un caudal disponible de 10 l/s, para asegurar un buen manejo del agua en un área básica de riego. Este sistema de riego es el más ineficiente cuando hay administrar un recurso escaso como el agua para riego.

Riego por aspersión.

En este método el agua es aplicada al cultivo en forma de lluvia, lo que no produce problemas de erosión, pudiendo regarse terrenos dispares o con altas pendientes.

El agua es conducida por tuberías de PVC o aluminio y es impulsada a presión, por lo tanto se necesita un equipo de bombeo o carga hidráulica natural (diferencia grande de nivel, aproximadamente 35 metros) entre el canal y el campo a regar.

Se puede regar con este sistema cultivos de cereales, praderas y otros cultivos; pero tiene el inconveniente de que su costo es elevado, pero con la ventaja de que con muy poco agua se puede regar una superficie mucho mayor que con los métodos superficiales.

Esta alternativa de riego tecnificado tiene varias ventajas que hay que tomar en cuenta, puede ser ideal para terrenos irregulares y con laderas o pendientes. En la figura 2.4 podemos observar la aplicación típica de un sistema de riego por aspersión, esta técnica tiene ventajas cuando hay un diferencial de presión natural como los hay en gran parte de la sierra peruana, pues abaratan los costos de instalación y funcionamiento. También es ideal para hacer prevención contra el efecto "helada", muy recurrentes en la zona yunga-quechua, básicamente por amortiguar el efecto nocivo de ellas, aprovechando la liberación de calor que se produce al congelarse el agua (80 cal/g).

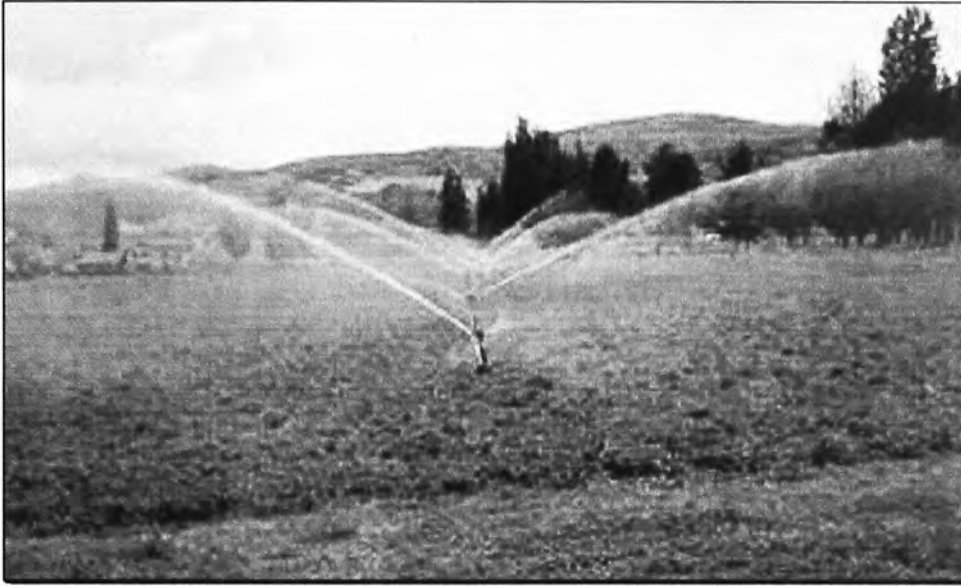


Figura 2.4 Instalación de riego por aspersión.

Riego localizado.

Riego localizado por goteo:

En este método el agua circula por pequeñas tuberías de polietileno y es entregada en forma de gotas a las plantas por emisores llamados goteros.



Figura 2.5 Instalación de riego por goteo.

Necesita de un equipo de bombeo o de un desnivel adecuado, pero requiere menor presión que el riego por aspersión. El agua se aplica en la superficie del suelo a través de goteros, tuberías emisoras o sistemas integrados, con caudales

menores a 20 litros por hora (L/h), normalmente 4 ó 5 L/h. El principal medio de propagación es el suelo.

Se puede usar en frutales o en hortalizas, usando pequeñas tuberías flexibles o cintas con goteros incorporados. Tiene la desventaja del alto costo inicial, pero la economía en agua es mayor. Una instalación de riego por goteo se observa en la figura 2.5

Riego por micro jet:

En este método el agua circula a presión por tuberías del mismo material que en el riego por goteo, pero el agua es entregada en forma de lluvia por micro aspersores. Se usa principalmente en frutales, ver figura 2.6.

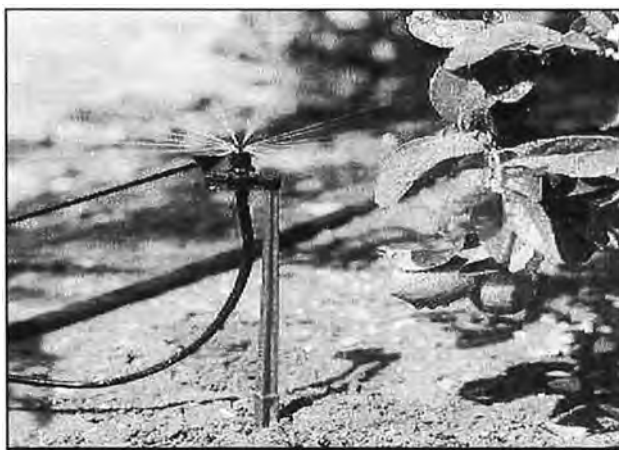


Figura 2.6 Riego por micro-aspersión (micro jet)

El agua se aplica con micro jet, que sin rotar, pueden mojar en forma de abanico o chorro, el total o parte de la circunferencia que lo rodea, con caudales inferiores a los 200 L/h, siendo el aire el medio de distribución antes que el agua llegue al suelo

Riego por exudación:

Es un sistema que aplica el agua de forma continua mediante un tubo poroso que exuda agua en toda su longitud y en la totalidad o parte de su superficie.

El agua exudada a través de los pequeños poros de la pared del tubo, produce una banda de humedad continua, ancha y uniforme en las líneas de riego.

Las líneas de riego porosas pueden colocarse sobre la superficie del suelo o ser enterradas cerca del mayor desarrollo de las raíces del cultivo.

Las presiones de trabajo son menores que las de los goteros: 2-3 m.c.a. (metros de columna de agua), e incluso escasos decímetros de presión. La figura 2.7

muestra la vista de una aplicación real de este tipo de riego cuya característica de ahorro de agua la distingue de los otros métodos.



Figura 2.7 Riego por exudación (manguera porosa)

Riego por goteo sub-superficial:

Consiste en tener un sistema de riego por goteo a presión en el área de siembra en forma permanente, enterrado a unos 45 cm. El propósito clave es evitar costos de transporte, instalación y desarme de la línea de riego. Con este sistema no se perjudica la labranza y resuelve el problema de instalación y movimiento anual o periódico de la tubería. Este sistema cuidadosamente instalado, se calcula que puede durar unos 10 años. Ver figura 2.8

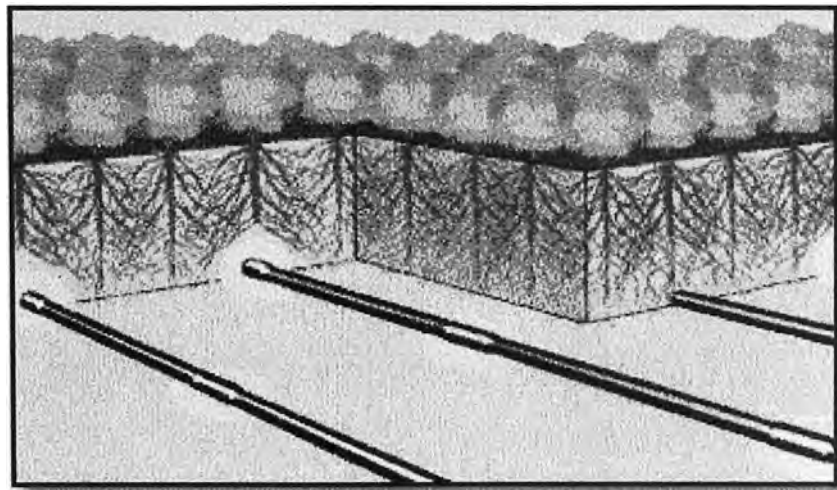


Figura 2.8 Esquema de riego por goteo sub-superficial

Los componentes de este sistema son básicamente los mismos que los del sistema de riego por goteo convencional:

1. Válvulas manuales o solenoides.
2. Reguladores de presión.
3. Manómetros.
4. Tanque de fertilizantes.
5. Filtros hidrociclónicos, arena o malla, si son necesarios.

El sistema puede automatizarse mediante sensores electrónicos de la humedad del suelo instalados a la profundidad de la tubería (45 cm.) y conectados a un regulador computarizado de riego.

Mediante este sistema se pueden aplicar productos de fertirrigación por la línea de riego siempre y cuando estos sean altamente solubles.

Para la limpieza se recomienda aplicar agua a presión, fumigantes y herbicidas para impedir la penetración de raíces a los tubos. Las ventajas son:

- a) Rendimiento más alto de la cosecha.
- b) Conservación de agua y energía.
- c) Menos mano de obra.
- d) Menos daños a las líneas y al sistema (no hay que recogerla y almacenarla).
- e) Mayor duración de las líneas. El plástico no está expuesto a la luz solar.

2.1.6 Eficiencia del riego.

El objetivo final del riego es restituir la humedad del suelo consumida por los cultivos. Es fundamental que el agua sea aplicada en el momento oportuno y en la cantidad suficiente.

La determinación de la cantidad suficiente de agua está en función de conocer la ya indicada relación **agua - suelo – planta**, lo que debe tenerse en cuenta al momento de elegir el tipo de sistema de riego y antes de que se pueda proceder a su diseño, especificaciones de los equipos y la instalación de los mismos. Para realizar un trabajo adecuado en la selección del sistema, hay que considerar tanto el medio ambiente en el que debe funcionar así como las capacidades y limitaciones de otras alternativas que pueden optimizar el riego. En la selección de un sistema de riego deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Los cultivos y prácticas relacionadas: Tipo, profundidad de raíces, consumo de agua, hábitos de desarrollo de plagas.

2. Características del suelo: Textura y estructura, profundidad y uniformidad; velocidad de infiltración y potencial de erosión; salinidad y desagüe interno; topografía-pendiente y grado de irregularidad.
3. Abasto de agua: Fuente, cantidad disponible y confiabilidad, calidad, sólidos en suspensión y análisis químico.
4. Valor y disponibilidad de la tierra.
5. Limitaciones y obstrucciones de inundación.
6. Nivel freático.
7. Condiciones climatológicas.
8. Disponibilidad y confiabilidad de la energía.
9. Consideraciones económicas: Inversión de capital requerida, disponibilidad de créditos y tasa de interés, duración del equipo y costos anualizados, inflación y costos, factores de rendimiento.
10. Tecnología disponible.
11. Consideraciones sociales: Asuntos políticos y legales, cooperación de las dependencias y habitantes, disponibilidad y confiabilidad de la mano de obra, nivel de conocimiento y especialización de la mano de obra, expectativas del gobierno y habitantes, nivel del control automático deseado, potencial de daño por vandalismo y asuntos sobre la salud.

A continuación se muestran los cuadros 2.1 y 2.2, con las condiciones que facilitan el riego y una comparación referencial de los métodos de riego.

Cuadro 2.1. Condiciones que facilitan la aplicación de riego.

MÉTODOS DE RIEGO				
Condiciones	Inundación	Surcos	Aspersión	Localizado
Topografía	Moderado a irregular	Moderada	Irregular	Irregular
Permeabilidad del suelo	Buena	Buena	De excesiva a buena	De excesiva a buena
Erosionabilidad	Alta	Alta	Baja	Baja
Característica de los cultivos	Sembrados a voleo	Cultivo en hilera	Cultivo valioso	Cultivo valioso
Carga hidráulica	Alta	Alta	Moderada	Baja

Cuadro 2.2 Comparación de los métodos de riego.

TOPICO	Riego por inundación	Riego por surcos	Riego por aspersión	Riego localizado
1. Pérdida por evaporación	Alta	Alta	Mediana	Minima
2. Humedecimiento del follaje	Alto	Mediano	Alto	Mínimo
3. Consumo de agua por "malayerba"	Alto	Alto	Alto	Mínimo
4. Escurrimiento superficial	Alto	Alto	Mediano	Mínimo
5. Control en la profundidad de riego	Mínimo	Mínimo	Mediano	Alto
6. Rendimiento por unidad de agua aplicada	Mínimo	Mínimo	Mediano	Alto
7. Uniformidad en el rendimiento	Poco	Mediano	Mediana	Alta
8. Ventilación del suelo	Mínimo	Poca	Poca	Alta
9. Interferencia del riego con otras tareas	Alta	Alta	Alta	Baja
10. Aplicación del abono y plaguicidas a través del agua de riego	Mínima	Mínima	Moderada	Alta
11. Costos de operación y mano de obra	Bajo	Bajo	Moderado	Alto
12. Requerimiento de nivelación del terreno	Alto	Alto	Bajo	Mínimo
13. Automatización del método	Bajo	Bajo	Alto	Alto
14. Requerimientos de energía	Bajo	Bajo	Alto	Alto
15. Calidad de agua	Mínima	Mínima	Moderado	Alto
16. Uso de filtros	Mínimo	Mínima	Moderado	Alto
17. Control de enfermedades y plagas	Mínimo	Mínimo	Moderado	Alto

2.1.7 Pérdidas de agua para riego.

Las pérdidas de agua para riego se dan tanto durante su aplicación a las parcelas de riego como en la distribución hacia las mismas mediante las canalizaciones o durante su almacenamiento en los embalses o lagunas

La magnitud de las pérdidas de agua es variable y dependen de varios factores como las características de la red de distribución, el método de riego empleado, la naturaleza de los suelos regados, etc.

En zonas regadas por gravedad las pérdidas totales de agua son del orden del 67% si el riego es adecuado y llegan hasta el 85% si el riego es deficiente y resultan inevitables las pérdidas por percolación profunda (especialmente en suelos ligeros) y pueden ser importantes las pérdidas por escorrentía, cuando la unidad de riego desagüa libremente, especialmente en los terrenos pesados.

Los tipos de pérdidas de agua para riego más notorias para las parcelas son:

Pérdidas en la red de distribución

Dependen del tipo de obras (cauces abiertos, revestidos o en tierra, tuberías) y de las condiciones de su manejo.

Pérdidas en las unidades de riego

Varían principalmente en función al método de riego utilizado y el tipo de suelo bajo riego.

Estas pérdidas de agua son las que ocasionan una baja eficiencia en el aprovechamiento del recurso y se deben fundamentalmente a la escorrentía superficial y a la percolación profunda.

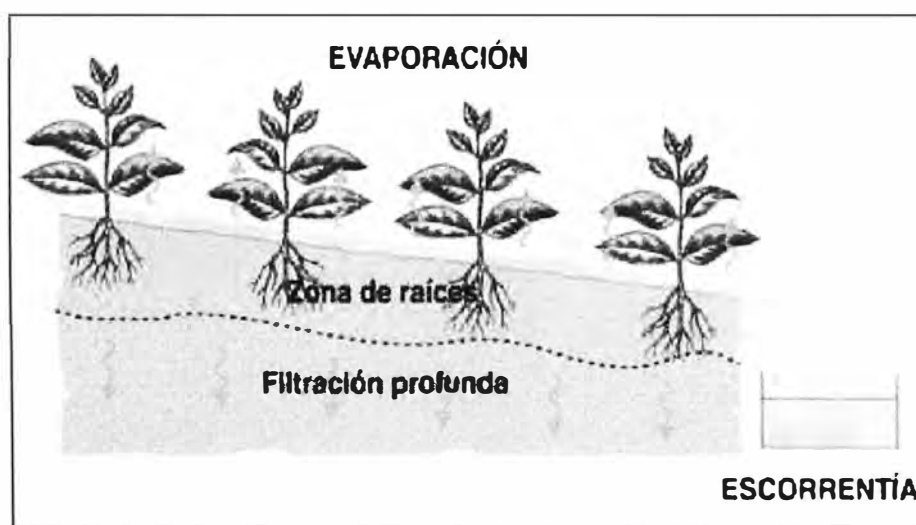


Figura 2.8 Pérdidas de agua en el suelo.

En la figura 2.8 podrá apreciarse las diferentes maneras en que se pierde el agua en el suelo, bajo riego tradicional.

2.1.8 Heladas

Definición de Helada

La Helada es un fenómeno atmosférico que se presenta cuando la temperatura del aire, existente en las cercanías del suelo desciende igual a o por debajo de cero grados. De otro lado, existen especies tropicales, como el caucho y el cacao, que sufren de frío a temperaturas marcadamente superiores a 0°C (De Fina, 1945). Generalmente la helada se presenta en la madrugada o cuando está saliendo el Sol. Ver figura 2.9.

Sin embargo, para los fines generales y prácticos, las temperaturas de 0 °C o inferiores obtenidas en el refugio meteorológico a 1.50 m de altura, resultan solo adecuadas para establecer comparaciones de carácter agro climático, es decir, para trabajar con sentido de generalización geográfica. Debe tenerse en cuenta que, en virtud de la inversión térmica nocturna, pueden ocurrir heladas a nivel del suelo o en cultivos de poca altura aunque no se registren en el abrigo meteorológico. Todo lo antedicho deja demostrado la necesidad de obtener mediciones de alta confiabilidad, con precisión y exactitud orientadas no a la utilización en estadísticas meteorológicas, si no para su uso en tiempo real y aplicado a la protección de los cultivos según sus propias características.

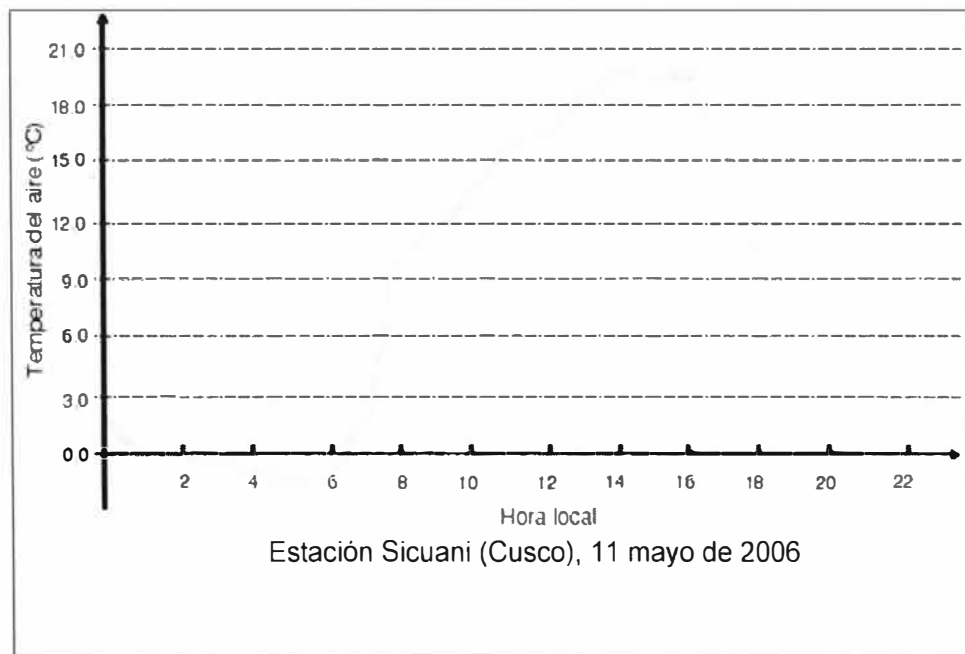


Fig. 2.9 Típico registro de Temperaturas.

Medidas de Protección de Cultivos contra las Heladas

La mayoría de los métodos de protección contra heladas están diseñados para proteger contra heladas por radiación. Los lugares más propensos a la formación

de heladas por radiación son tanto los valles como las cuencas, las hondonadas próximas a las montañas y las zonas de pampa.

La figura 2.10 muestra una distribución de altitud de algunos cultivos agrícolas. El mecanismo de acumulación de aire frío que desciende durante la noche por enfriamiento nocturno, es explicado en el esquema de la figura 2.11. Sobre las pendientes de colina, el aire más denso se coloca en el fondo del valle, creando un "cinturón termal" de aire más caliente entre el aire inferior más frío y el aire superior más frío. Existen varios métodos para reducir los efectos de las heladas en cultivos, los cuales se agrupan en indirectos y directos.

Los métodos indirectos disminuyen la afectación durante el periodo de helada, estos consisten en:

- Elección de la época de cultivo según las características climáticas del lugar.
- Siembra preferente de variedades nativas o semillas introducidas tolerantes a las heladas.
- Asociaciones de cultivos y técnicas adecuadas de abonamiento.
- Ubicación de cultivos cerca de los cuerpos de agua.
- Siembra de cultivos en las laderas, utilizando los andenes o terrazas.

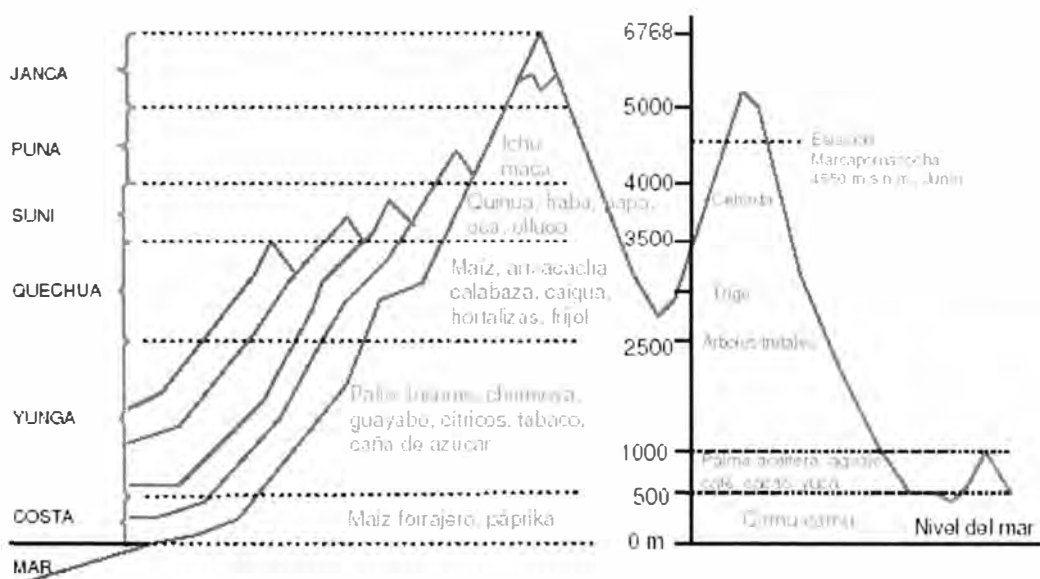


Figura 2.10 Distribución latitudinal de algunos cultivos y pastos naturales en el territorio nacional.

Los andenes son un ejemplo de la infraestructura agrícola bajo tecnología inca para ampliar la tierra plana e irrigable en los valles interandinos de la sierra. La disposición de los andenes en las laderas hace suponer que el antiguo poblador peruano conocía el efecto de cinturón térmico ocasionado en la noche por las heladas radiativas.

Los métodos directos se basan en acciones tomadas antes y durante el período de peligro de la helada. En algunos, se reduce la pérdida de calor del suelo protegiéndolo con cajones, cestos entablillados de madera, u otros elementos vegetales, o bien produciendo niebla, humos artificiales y calefacción en la capa de aire adyacente a la superficie del suelo. (Matías Ramírez, 2001). El aire más denso se coloca en el fondo del valle, creando un “cinturón termal” de aire más caliente entre el aire inferior más frío y el aire superior más frío.

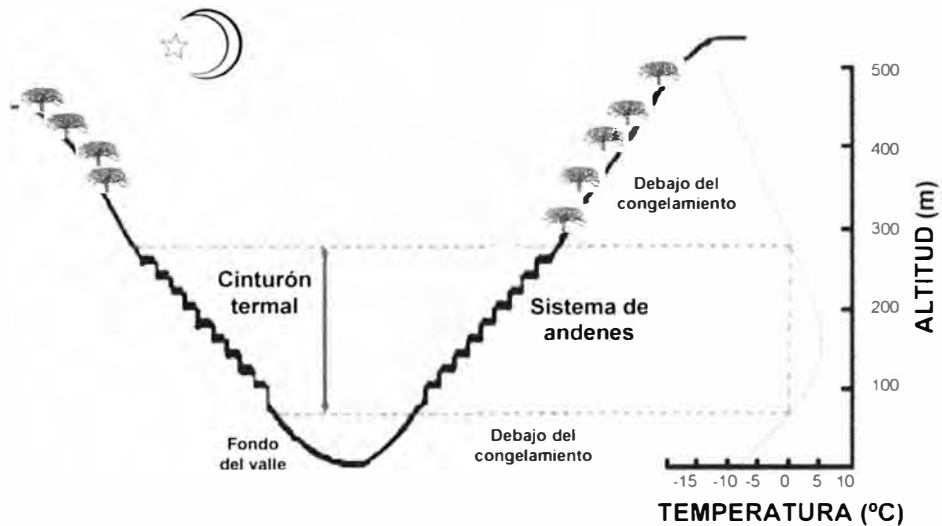


Figura. 2.11 Esquema del enfriamiento radiativo nocturno.
(En las pendientes de colina)

2.2 Definición de términos.

Escorrentía:

Es la lámina de agua que circula en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros de agua de lluvia escurrida y extendida dependiendo la pendiente del terreno. Según la teoría se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo. Esto sólo es aplicable en suelos de zonas áridas y de precipitaciones torrenciales

Riego manual:

Entre los sistemas de control del riego agrícola, el más difundido es el que controla el hombre, que podemos denominar riego manual. El encargado del riego abre y cierra el paso del agua, fijando la frecuencia y el tiempo de riego de acuerdo a criterios surgidos de su experiencia aplicada a ese tipo de suelo y a ese cultivo.

Riego temporizado:

Otro sistema de control muy difundido es el riego temporizado. Un equipo con temporizadores electrónicos permite fijar la frecuencia y el tiempo de riego. El instrumento acciona sobre las válvulas de riego de acuerdo a los tiempos configurados, aplicando siempre la misma secuencia temporal de apertura y cierre de paso del agua. Es un sistema de control a lazo abierto. Por ejemplo, si llueve, el instrumento no se entera y riega lo mismo aunque no sea necesario.

Riego automático:

Con la incorporación de sensores de humedad del suelo se consigue el riego automático. Es un sistema realimentado, cuenta con un algoritmo fijo que contiene una política de riego y actúa en función de la información que el sensor entrega sobre el estado de la humedad del suelo. Por ejemplo, si llueve, el sensor indica que la humedad ha aumentado. Entonces el algoritmo puede decidir que no es necesario regar; también decide el instante de inicio del riego y cuánto tiempo es necesario regar para llevar la humedad del suelo a un valor deseado y mantenerla en ese valor dentro de tolerancias especificadas.

Riego inteligente:

Algunas características que determinan el comportamiento del suelo ante el riego, suelen cambiar con el tiempo. En ese caso, un algoritmo fijo de riego haría un cálculo erróneo del tiempo de riego necesario. El sistema de riego inteligente mide el error que comete el algoritmo en el cálculo del tiempo de riego necesario para alcanzar el valor deseado de humedad del suelo. Si el error en el valor de la humedad alcanzada supera la tolerancia fijada, entonces el sistema de control inteligente modifica los parámetros correspondientes del algoritmo de cálculo para reducir el error en el próximo ciclo de riego y mantenerlo dentro de las tolerancias fijadas, es lo que se conoce como auto-sintonía, lo que hace que el sistema de control mejore gradualmente su comportamiento a lo largo del tiempo.

El sistema de riego inteligente tiene entonces cuatro componentes principales:

- El sensor de humedad del suelo.
- Un modelo matemático que simula el comportamiento dinámico temporal del suelo cuando se lo riega.
- Un algoritmo de control de riego, con autosintonía, que utiliza el modelo matemático.
- El sistema de comunicaciones entre los sensores, la instrumentación de control y los actuadores (las válvulas de riego).

Fertirrigación:

La fertirrigación consiste en la disolución de fertilizantes en el agua de riego, de modo que durante la irrigación, se realiza también la aplicación de nutrientes.

Fertirrigación automática:

Implantación de automatismos y sensores que permiten el control y regulación de los procesos de fertirrigación en la búsqueda de optimizar el uso agrario del agua y de los elementos fertilizantes para obtener un mayor rendimiento de los cultivos con protección del medioambiente. Los sistemas automáticos de fertirrigación permiten disponer al usuario de información de mucha calidad, por ejemplo, proporcionan el consumo y la cantidad de nutrientes que se añaden al cultivo, lo que queda registrado y almacenado en bases de datos permitiendo su disponibilidad en cualquier momento. Por tanto mejorar el conocimiento de las necesidades del cultivo, favorecer el control de la contaminación de aguas y suelos, optimizar la gestión de las condiciones de cultivo, mejorando la planificación y operatividad de las explotaciones agrícolas.

La fertirrigación automática ya se está utilizando en invernaderos, donde resulta más sencillo llevar un control de los requerimientos hídricos de las plantas. Adicionalmente, en la agricultura intensiva también se está probando este método de riego, con el fin de optimizar el uso de los fertilizantes de cara a la reducción de costos de cultivo y a la minimización del problema de la escasez de agua.,

Helada Meteorológica (HM):

Se define como helada meteorológica a la ocurrencia de una temperatura mínima diaria que no supere los 0° C en abrigo meteorológico (medida a 1.5 m del suelo).

Helada Agronómica (HA):

En forma más general, se define la helada agronómica como el descenso de la temperatura del aire a niveles críticos para los cultivos, sin llegar necesariamente a 0° C.

CAPITULO III

BASES TEORICAS DE LA PROPUESTA DE INGENIERIA

Las bases teóricas que sustentan la propuesta están referidas al control automático, las redes de sensores y un acercamiento al dinámico, complejo y a veces difuso mundo de los sistemas de supervisión y control en el ámbito de sus aplicaciones.

Se debe tener claro que alrededor de la idea de un sistema SCADA hasta en su forma más general existe un software, que es utilizado para su configuración, administración o manejo, complementario de un hardware que son los componentes y dispositivos tecnológicos de dichos sistemas.

Las características, prestaciones y requisitos que debe presentar un sistema SCADA así como la configuración, estructura e integración de sus componentes, es decir, la parte lógica y física del sistema permiten el funcionamiento de las distintas partes del proceso donde se aplican como un único sistema funcional.

3.1 Sistemas SCADA.

La idea central es que siendo los sistemas SCADA, aplicaciones para la integración de procesos industriales nos pueda servir para resolver parte de las complejidades que la agricultura peruana tiene, en particular la de la zona rural, donde la tecnología moderna se presenta como parte de la solución para alcanzar un cierto grado de infraestructura en la distribución de aguas para riego que mejore la productividad y rentabilidad de los campos de cultivo localizados allí.

3.1.1 Aproximación teórica a los sistemas SCADA.

El objetivo principal de la automatización de procesos consiste en gobernar la actividad y la evolución de los mismos sin la intervención continua de un operador humano.

En los últimos años, se han estado desarrollando sistemas denominados SCADA, que permiten supervisar y controlar las distintas variables que se encuentran en un proceso o planta determinada. Para ello se deben utilizar distintos periféricos, programas de aplicación, unidades remotas, sistemas de comunicación, etc., los

cuales permiten al operador mediante la visualización en una pantalla de computador, tener un completo acceso al proceso.

3.1.2 Descripción general de un SCADA.

SCADA es un acrónimo por Supervisory Control And Data Acquisition (control y adquisición de datos de supervisión). Los sistemas SCADA utilizan la computadora y tecnologías de comunicación para automatizar el monitoreo y control de procesos industriales. Estos sistemas son partes integrales de la mayoría de los ambientes industriales complejos o muy geográficamente dispersos ya que pueden recoger la información muy rápidamente de una gran cantidad de fuentes y presentarla a un operador en una forma amigable.

Los sistemas SCADA son aplicaciones de software, diseñadas con el fin de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos y mejoran la eficacia de las acciones de su monitoreo y control proporcionando información oportuna para que puedan tomarse las mejores decisiones operacionales. Estos sistemas son de uso común en el control de oleoductos, sistemas de transmisión de energía eléctrica, yacimientos de gas y petróleo, redes de distribución de gas natural, trenes subterráneos, generación energética (convencional y nuclear), etc.

El sistema permite la comunicación de la unidad central con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, sistemas de dosificación, etc.) para controlar el proceso en forma automática desde la pantalla del computador, que previamente configurada, puede ser modificada con facilidad. También proporciona la información que se genera en el proceso productivo a los diferentes usuarios que lo requieran.

No todos los sistemas SCADA están limitados a procesos industriales sino que también se ha extendido su uso a instalaciones experimentales nucleares, sistemas de riego y servicios de información ambiental.

3.1.3 Características de un sistema SCADA

Lo que hace de los sistemas SCADA una herramienta diferenciada es su característica de control supervisado. La parte de control viene definida y supeditada por el proceso a controlar y en última instancia, por el hardware e instrumentos de control (PLC's, controladores lógicos, armarios de control) o los algoritmos lógicos de control aplicados sobre una planta o proceso, los cuales pueden existir previamente a la implantación de un sistema SCADA. Otros

sistemas SCADA podrán aprovechar el hecho de que implantar un nuevo sistema de automatización en la planta requerirá cambiar u optimizar los sistemas de control previos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc.

Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Esto es lo que diferencia a los sistemas SCADA de los sistemas clásicos de automatización, en estas, las variables de control están distribuidas sobre los controladores electrónicos de la planta lo que dificulta el proceso de control, ya que estos sistemas una vez implementados no permiten un control en tiempo real óptimo. Es decir, los sistemas de automatización de interfaz gráfica tipo HMI básicos, ofrecen una gestión de alarmas de formato rudimentario mediante la cual la única opción rápida que le queda al operario es realizar una parada de emergencia, reparar o compensar la anomalía y realizar un reset. En los sistemas SCADA, se utiliza un HMI interactivo el cual permite detectar alarmas y a través de la pantalla solucionar el problema mediante las acciones adecuadas en tiempo real. Esto le otorga a los sistemas SCADA una gran flexibilidad, el modo supervisor del HMI de un sistema SCADA no solo señala los problemas, sino lo más importante, orienta en los procedimientos para solucionarlos.

Todos los sistemas SCADA ofrecen una interfaz gráfica PC-Operario (ver figura 3.1) tipo HMI, pero no todos los sistemas de automatización que tienen HMI son SCADA. La diferencia está en la función de supervisión que realizan estos últimos a través del HMI. Sus principales características y funcionalidades son las siguientes:

- **Adquisición y almacenado de datos**, para recoger, procesar y almacenar la información recibida, en forma continua y confiable.
- **Representación gráfica** y animada de variables de proceso y monitorización de éstas por medio de alarmas
- **Ejecutar acciones de control**, para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas,

menús, etc.) bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.

- **Arquitectura abierta y flexible** con capacidad de ampliación y adaptación, para permitir su crecimiento y expansión, así como deben poder adecuarse a las necesidades futuras del proceso y de la planta.
- **Conectividad** con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de datos internas, externas o de otros niveles.
- **Supervisión**, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- **Transmisión**, de información con dispositivos de campo y otros PC.
- **Base de datos**, gestión de datos con bajos tiempos de acceso. Uso del ODBC (Open Database Connectivity) para acceder datos desde cualquier aplicación.
- **Presentación**, representación gráfica de los datos. Interfaz del Operador o HMI (Human Machine Interface).
- **Explotación** de los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción, gestión administrativa y financiera, o de intercambio dinámico de datos (DDE).
- **Alertar** al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.

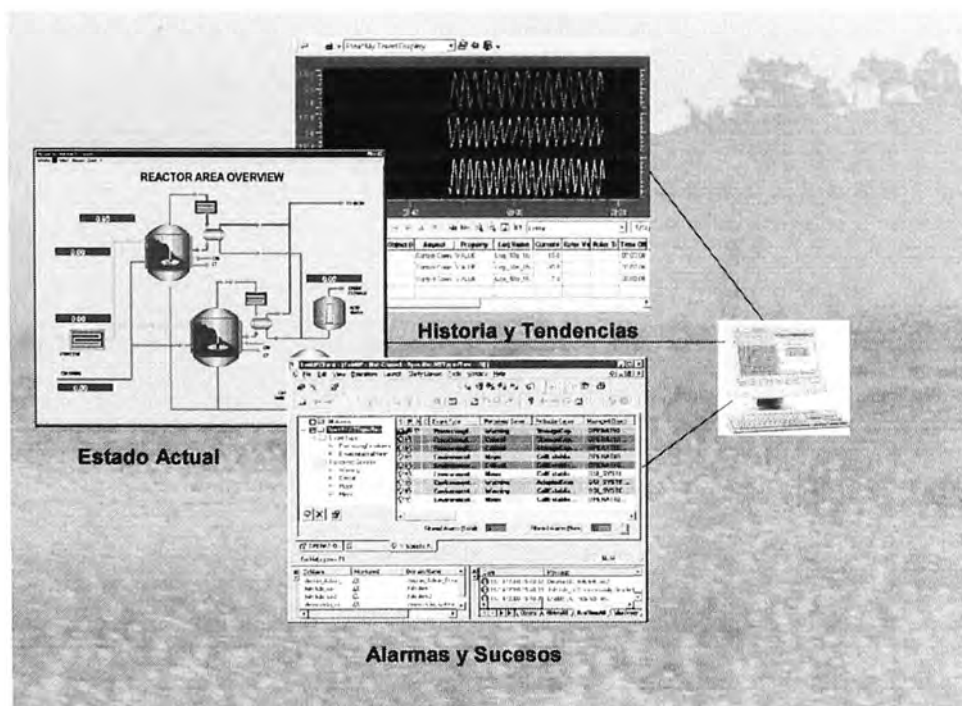


Figura 3.1 Layout de una presentación SCADA en un Computador.

3.1.4 Prestaciones

Las prestaciones que puede ofrecernos un sistema SCADA eran impensables hace una década y son las siguientes:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del computador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Creación de informes, avisos y documentación en general.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso el programa total sobre el autómeta (bajo unas ciertas condiciones).
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del computador y no sobre la de un autómeta, menos especializado, etc.
- Con ellas, se pueden desarrollar aplicaciones basadas en el PC, con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco o impresora, control de actuadores, etc.

3.1.5 Requisitos

Estos son algunos de los requisitos que debe cumplir un sistema SCADA para sacarle el máximo provecho:

- Deben ser sistemas de arquitecturas abiertas, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente para el usuario con los equipos e instrumentos, aún de fabricación y procedencia distinta – Standard IEC 1131.3, de la planta y con el resto de la empresa (acceso a redes locales y de gestión).
- Los programas deberán ser sencillos de instalar, sin excesivas exigencias, y fáciles de utilizar, con interfaces amables con el usuario (sonido, imágenes, pantallas táctiles, etc.)

3.1.6 Componentes de hardware.

Un sistema SCADA, como aplicación de software industrial específica, necesita ciertos componentes inherentes de hardware en su sistema, para poder tratar y gestionar la información captada.

Estos son:

a) Unidad Central Maestra o MTU (Master Terminal Unit)

Se trata del computador principal del sistema el cual supervisa y recoge la información del resto de las subestaciones, bien sean otras computadoras conectadas (en sistemas complejos) a los instrumentos de campo o directamente sobre dichos instrumentos. Este equipo suele ser una Computadora Personal (PC), el cual soporta el HMI (Human Machine Interface), que es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta. Permite la interacción del ser humano con los medios tecnológicos implementados.

Conocido como Unidad Maestra, ejecuta las acciones de mando (programadas) en base a los valores presentes de las variables medidas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.). También se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

De esto se deriva que el sistema SCADA más sencillo, ver figura 3.2, es el compuesto por un único computador el cual es el MTU que supervisa toda la estación.

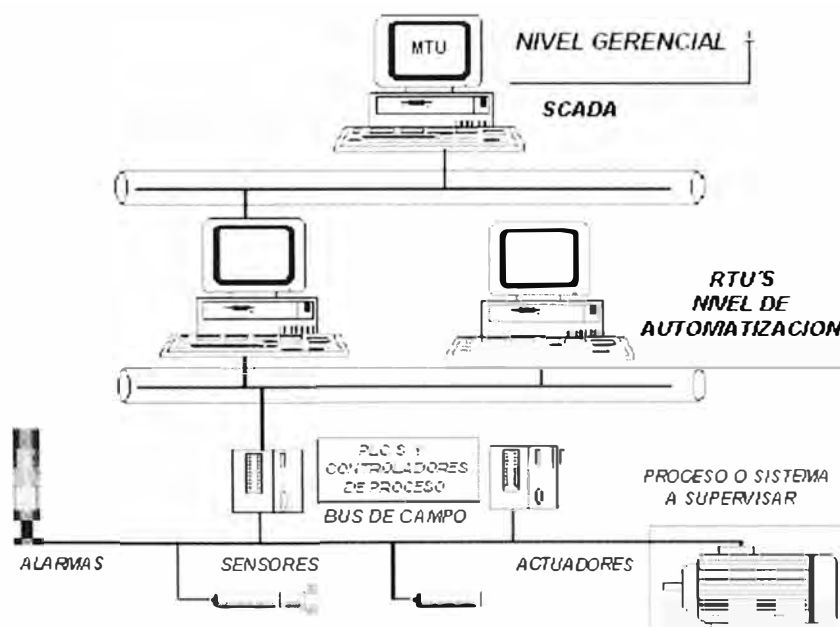


Figura 3.2 Esquema básico de un Sistema de Control SCADA

Las funciones principales de la MTU son:

- Interroga en forma periódica a las RTU's, y les transmite consignas; siguiendo usualmente un esquema maestro-esclavo.

- Actúa como interfase al operador, incluyendo la presentación de información de variables en tiempo real, la administración de alarmas, la recolección y presentación de información histórica.

b) Terminales Remotos o RTU's (Remote Terminal Unit)

Se encarga de la transferencia de la información desde el punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación. Ver figura 3.3.

Estos computadores o equipos están situados en los nodos estratégicos del sistema, gestionando y controlando las subestaciones del sistema. Reciben además las señales de los sensores de campo y comandan los elementos finales de control ejecutando el software de la aplicación SCADA.

Se encuentran en el nivel intermedio o de automatización y a un nivel inferior los distintos instrumentos de campo que son los que ejercen la automatización física del sistema, control y adquisición de datos.

Estas unidades no tienen porque ser PC's, ya que la necesidad de soportar un HMI no es tan grande a este nivel, por lo tanto suelen ser ordenadores industriales tipo armarios de control, aunque en sistemas muy complejos puede haber subestaciones intermedias en formato HMI.



Figura 3.3 Esquema de las funciones básicas de un RTU

Una tendencia actual es el uso de PLC's (en función de las E/S a gestionar) o autómatas con capacidades de RTU's gracias a un mayor nivel de integración y CPU's con mayor potencia de cálculo. Esta solución minimiza costos de sistemas donde las subestaciones no son complejas sustituyendo al computador industrial. Un ejemplo de esto son los PLC's (adaptables a su sistema SCADA) **Experion PKS (Power Knowledge System)** de **Honeywell** o los de **Motorola MOSCAD**, de implementación mucho más genérica.

c) Red de comunicación

Éste es el nivel que gestiona la información que los instrumentos de campo envían a la red de ordenadores desde el sistema. El tipo de BUS utilizado en las comunicaciones puede ser muy variado según las necesidades del sistema y del software escogido para implementar el sistema SCADA, ya que no todos los programas (software) ni los instrumentos de campo como PLCs, pueden trabajar con todos los tipos de BUS.

Hoy en día, gracias a la estandarización de las comunicaciones con los dispositivos de campo, podemos implementar un sistema SCADA sobre prácticamente cualquier tipo de BUS. Podemos encontrar SCADA's sobre formatos estándares como los RS-232, RS-422 y RS-485 a partir de los cuales y mediante un protocolo TCP/IP, podemos conectar el sistema sobre un bus en configuración DMS (Device Management System) ya existente; pasando por todo tipo de buses de campo industriales, hasta formas más modernas de comunicación como el Satelital, Bluetooth, Wi-Fi, WLAN (GSM/GPRS), etc.

A todo esto se agregan unas interfaces de comunicación especiales para la comunicación en un sistema SCADA como pueden ser los módems y los convertidores de medio que soportan los protocolos de comunicación SCADA y facilitan la implementación de la aplicación. Otra característica de las comunicaciones de un sistema SCADA es que la mayoría se implementan sobre sistemas WAN de comunicaciones, es decir, los distintos terminales RTU pueden estar deslocalizados geográficamente.

d) Instrumentos de Campo

Son todos aquellos que permiten realizar tanto la automatización o control del sistema (PLC's, controladores de procesos industriales y actuadores en general) como los que se encargan de la captación de información del sistema como son los **sensores** y **transductores**.

Una característica de los Sistemas SCADA actuales es que sus componentes pueden ser diseñados por distintos proveedores, sin coordinación entre sí. Así, se

tienen diferentes proveedores para las RTU's (incluso es posible que un sistema utilice RTU's de más de un proveedor), modems, radios, minicomputadores, software de supervisión e interfase con el operador, software de detección de pérdidas, etc.

Los primeros SCADA eran simplemente sistemas de telemetría que proporcionaban reportes periódicos de las condiciones de campo vigilando las señales que representaban medidas y/o condiciones de estado en ubicaciones de campo remotas. Estos sistemas ofrecían capacidades muy simples de monitoreo y control, sin proveer funciones de aplicación alguna.

La mayoría de los sistemas SCADA que se instalan hoy se han convertido en parte integral de la estructura gerencial de la información corporativa. Estos sistemas ya no son vistos por la gerencia solo como herramientas operacionales, sino como un recurso importante de información. En este papel continúan sirviendo como centro de responsabilidad operacional, pero también proporcionan datos a los sistemas y usuarios fuera del ambiente del centro de control que dependen de la información oportuna, en la cual basen sus decisiones económicas cotidianas.

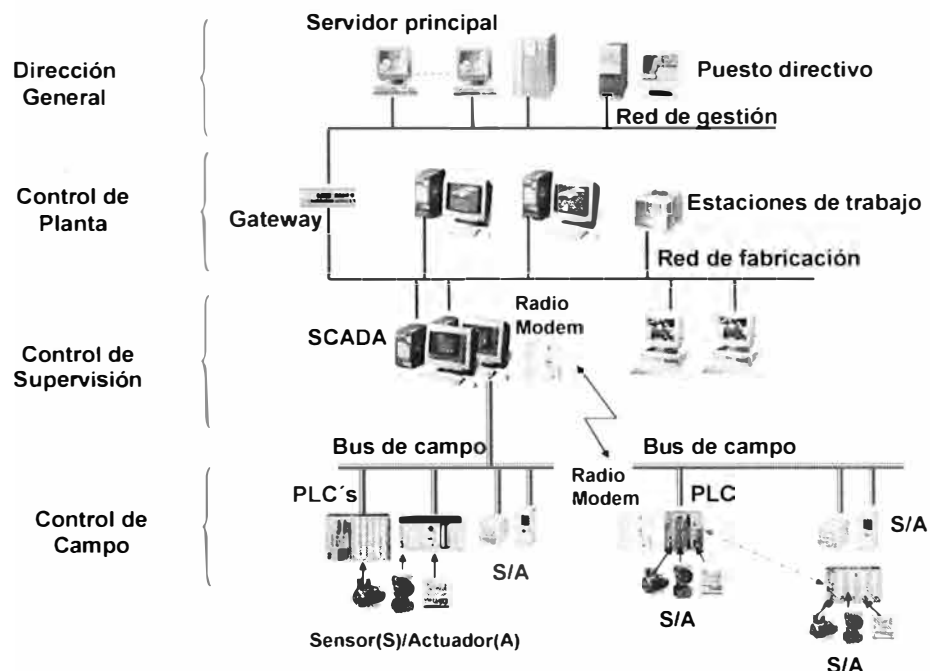


Figura 3.4 Jerarquía de un Sistema de Automatización con SCADA

Para alcanzar un nivel aceptable de tolerancia de fallas con estos sistemas, es común tener sistemas SCADA con redundancia que operen en paralelo en el centro primario del control y un sistema de reserva del mismo situado en un área geográficamente distante. Esta arquitectura proporciona la transferencia automática de la responsabilidad del control de cualquier computador que pueda llegar a ser inasequible por cualquier razón, a una computadora de reserva en línea, sin interrupción significativa de las operaciones.

Como se aprecia en la figura 3.4, el sistema SCADA esta integrado a una Jerarquía de Automatización, adaptable a un proceso agrícola moderno.

3.1.7 Como elegir un sistema SCADA

Para evaluar si se necesita un sistema SCADA para el manejo de una instalación dada, el proceso a controlar debe cumplir las siguientes pautas:

- El número de variables del proceso que se necesita monitorear es alto.
- El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un SCADA para la supervisión y control de un proceso concentrado en una localidad.
- La información del proceso se necesita en el mismo momento en que los cambios se producen, en otras palabras, la información se requiere en tiempo real.

La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas y supervisadas por un operador. En caso contrario, se requerirá del uso de un Sistema de Control Automático basado en algoritmos preestablecidos.

3.1.8 Implementación de un sistema SCADA funcional.

Cuando una empresa o institución decide implementar un sistema SCADA hay 5 fases básicas a tener en cuenta para llevar a cabo este proceso:

Fase 1:

El diseño de la arquitectura del sistema, incluyendo todas las consideraciones sobre el sistema de comunicaciones de la organización (Tipo de Bus de Campo, distancias, número de dispositivos E/S, protocolos del sistema y manejadores de equipos). También se verán involucrados los tipos de dispositivos que no están presentes en la planta o campo pero que serán necesarios para supervisar los parámetros deseados.

Fase 2:

Equipamiento con los RTU's necesarios, medios de comunicación, equipos HMI y hardware en general. Adquisición de un paquete de software SCADA adecuado a la arquitectura y sistemas de la planta o campo.

Fase 3:

Instalación de los equipos de comunicación y el sistema de PC's.

Fase 4:

Programación, tanto del equipamiento de comunicaciones como de los equipos HMI y el software SCADA.

Fase 5:

Testeo del sistema o puesta a punto, durante el cual los problemas de programación en comunicaciones como en el software SCADA son solucionados.

La funcionalidad de un sistema SCADA depende en gran medida de su Software; en la actualidad hay soluciones que incluyen, no solo una solución exclusivamente SCADA sino que incluyen registros y gestión de datos sobre software **MES (Manufacturing Execution System)** para proporcionar una integración efectiva entre los procesos de producción y los sistemas de negocios empresariales, aprovechándose así los datos de fabricación en forma intensiva. Este tipo de integración de software MES en un sistema SCADA es una solución cada vez más demandada por los usuarios.

3.1.9 Estructura y componentes de un software SCADA

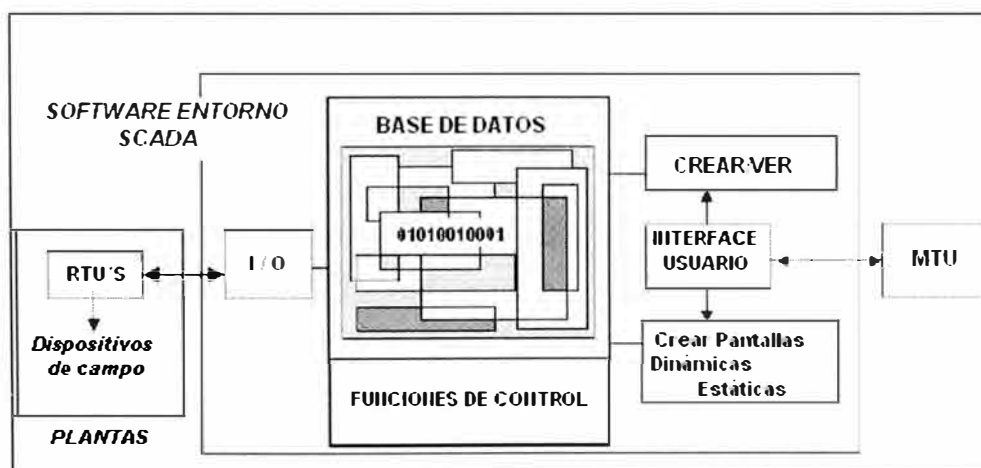


Figura 3.5 Diagrama de bloques de un entorno SCADA.

Los módulos o bloques de software (ver figura 3.5) que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- **Configuración**

Es donde el usuario define el entorno de trabajo de su aplicación según la disposición de pantallas requerida y los niveles de acceso para los distintos usuarios. Se definen las pantallas gráficas o de texto que va a usar, importándolas desde otra aplicación o generándolas desde el propio software SCADA. Para ello, se incorpora un editor gráfico que permite dibujar a nivel de píxel (punto de pantalla) o se usan elementos estándar disponibles, líneas, círculos, textos o figuras, con funciones de edición típicas como copiar, mover, borrar, etc.

También se selecciona, durante este paso, el tipo de comunicación que permitirá el enlace con los elementos de campo y la conectividad en red de estos últimos, así como el puerto de comunicación del PC y los parámetros de la misma, etc.

En algunos sistemas, es en la configuración, donde se indican las variables que se van a visualizar, procesar o controlar, de forma tal que faciliten la programación.

- **Interfase gráfica del operador**

Proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta que se representa mediante sinópticos gráficos en el PC de proceso y que se generan desde el editor incorporado en el SCADA o desde otra aplicación de uso general (Paintbrush, DrawPerfect, AutoCAD, etc.) durante la configuración del paquete. Ver figura 3.6.

Los sinópticos tendrán un fondo fijo y varias zonas activas que cambian dinámicamente a diferentes formas y colores, según los valores leídos en la planta o en respuesta a las acciones del operador.

Pueden darse algunas pautas a la hora de diseñar las pantallas; estas deberían ser de apariencia consistente, tener zonas diferenciadas para mostrar la planta, botoneras y entradas de mando, mensajes emergentes del sistema (estados, alarmas) y ordenadas de izquierda a derecha.

La información se presentará sobre el elemento gráfico que la genera o soporta y las señales de control deberían estar agrupadas por funciones.

Una clasificación por colores ayuda a la comprensión rápida de la información y su uso debe ser consistente en toda la aplicación. Si el color **rojo** significa peligro o alarma y **verde** se percibe como indicación de normalidad, ese será su significado en cualquier parte de la aplicación. Es básico añadir redundancias, sobre todo en los mensajes de alarma y atención los que

pueden ser textos adicionales, símbolos gráficos dinámicos, intermitencias, etc.

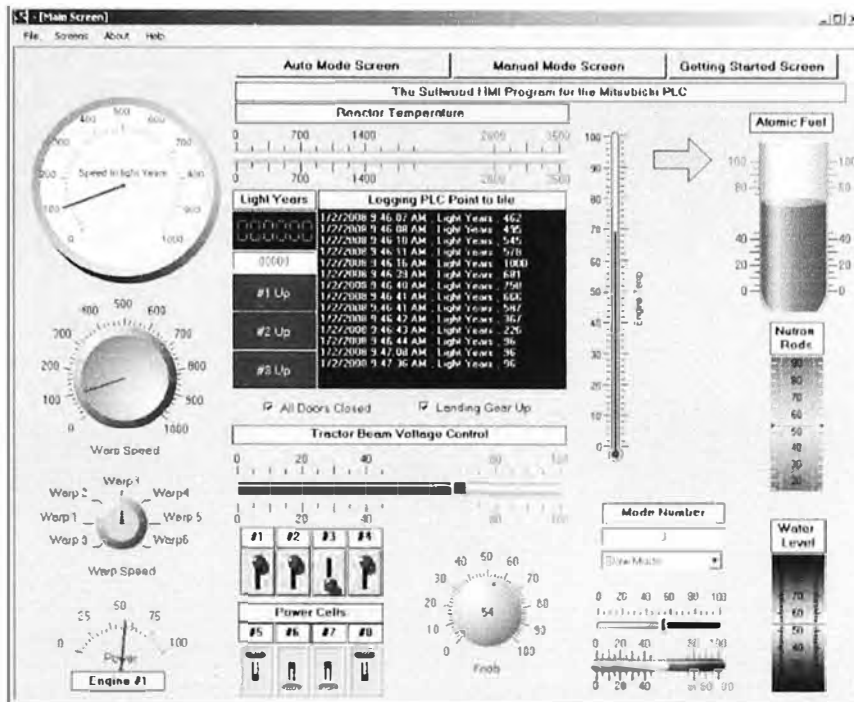


Figura 3.6 Presentación típica de una interfase gráfica del operador.

- **Módulo de proceso**

Ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores presentes de las variables leídas.

Sobre cada pantalla se pueden programar relaciones entre las variables que se controlan o supervisan por el computador o el autómatas en ejecución mientras la pantalla esté activa. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (C, Basic, etc.).

Es muy frecuente que el sistema SCADA asigne a los dispositivos de campo, principalmente autómatas, el trabajo de control directo de la planta, reservándose para sí las operaciones propias de la supervisión, como el control del proceso, análisis de tendencias, generación de históricos, etc.

Las relaciones entre las variables, que son parte del programa de mando que el SCADA ejecuta de forma automática, pueden ser las siguientes:

- a) Acciones de mando automáticas preprogramadas en función de los valores de las señales de entrada, salida o combinaciones de éstas.
- b) Maniobras o secuencias de acciones de mando.
- c) Animación de figuras y dibujos, asociando su forma, color, tamaño, etc., al valor presente de las variables.

d) Gestión de menús, que modifican los parámetros de producción (de tiempo, conteo, estados de variables, etc.) de forma preprogramada en el tiempo o dinámicamente según la evolución de planta.

- **Gestión y archivo de datos**

Se encarga del almacenamiento y procesamiento ordenado de los datos, según formatos compatibles para periféricos hardware (impresoras, registradores) o software (bases de datos, hojas de cálculo) del sistema, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos. Se seleccionan los datos de planta para ser capturados y almacenados a intervalos periódicos como un registro histórico de actividad, o para ser procesados en el momento por alguna aplicación software de estadística, calidad o mantenimiento. Ver figura 3.7

Esto último se consigue con el intercambio dinámico de datos entre el SCADA y el resto de aplicaciones que corren bajo el mismo sistema operativo.

Por ejemplo, el protocolo DDE de Windows permite el intercambio de datos en tiempo real. Para ello, el SCADA actúa como un servidor DDE que carga variables de planta y las deja en memoria para su uso por otras aplicaciones Windows, o las lee en memoria para su propio uso después de haber sido escritas a través de otras aplicaciones.

Una vez procesados, los datos se presentan en forma de gráficos analógicos, histogramas, representaciones tridimensionales, etc., que permitirán analizar la evolución global del proceso.

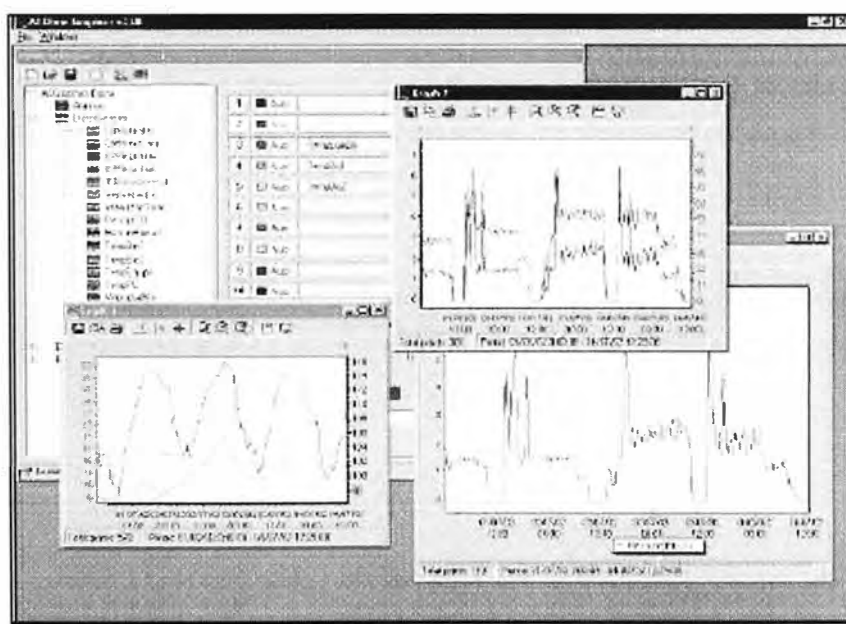


Figura 3.7 Ejemplo de presentación de datos en SCADA

3.1.10 Interfase de comunicación.

Es la que permite al PC MTU acceder a los distintos dispositivos de campo, en algunos casos, a través de los RTU. La interfase de comunicación enlazará el MTU con los distintos RTU's del sistema a través del Bus de Campo.

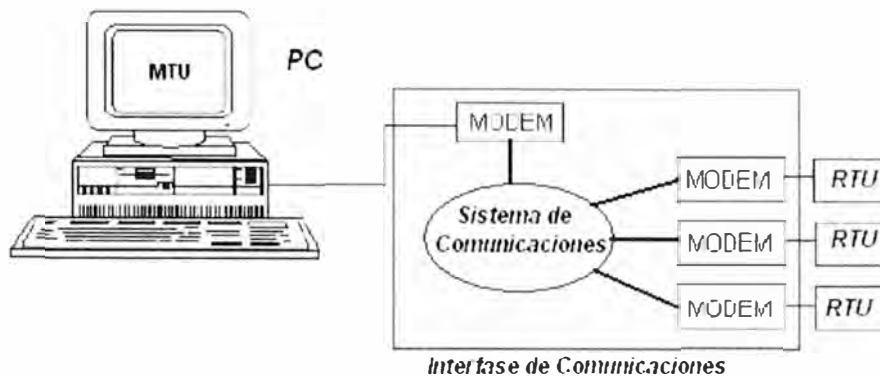


Figura 3.8 Esquema de la interfase de comunicaciones para SCADA

La interfase de comunicaciones, ver figura 3.8, consta de varios elementos:

- El Bus de Campo: Es la base del sistema de comunicación y el que transporta la información y las ordenes de control. Será definido en función del tamaño del sistema SCADA (número de E/S del sistema), distancias entre RTU's y/o disponibilidad del servicio público de comunicación (para sistemas SCADA de tipo red WAN en interconexión entre distintas plantas).
- Los Modems: Que conectan físicamente los RTU's y el MTU al Bus.
- El Módulo de Comunicaciones: Que contiene los drivers de conexión con el resto de elementos digitales conectados, entendiendo el driver como un programa (software) que se encarga de la iniciación del enlace, aplicación de los formatos, ordenación de las transferencias, etc., esto es, la gestión del protocolo de comunicaciones. Estos protocolos pueden ser abiertos (Mod Bus, Field Bus, Map, etc.), o propios de fabricante (propietarios).

Estos drivers, propios del software SCADA, deben comunicarse con otros paquetes de software por medio de módulos DDE (Dynamic Data Exchange) y DLL (Dynamic Link Libraries) como canales de comunicación, implementados por el sistema operativo, que permite que diversos paquetes de software envíen y reciban datos comunes. Por ejemplo se puede relacionar una celda de una hoja de cálculo con una variable del sistema y así variar puntos de consignas del proceso, o bien comunicación directa con los drivers de I/O de los dispositivos de campo.

Adicionalmente y en los SCADA distribuidos en arquitecturas cliente-servidor, los módulos de comunicaciones son también los responsables del enlace entre los diferentes ordenadores de proceso que soportan la aplicación, enlaces probablemente establecidos sobre una red local DECnet, TCP/IP, IPX/SOX, NETBIOS, MAP/TOP, Novell, etc.

3.1.11 Evolución del software SCADA

En los últimos años se ha producido una evolución del software de supervisión y control para PC (SCADA) orientada a ampliar su campo de aplicación. De una supervisión y control iniciales a nivel de máquina o de proceso se ha pasado a una supervisión y control a nivel de planta. De una adquisición y registro de datos orientada a un control de proceso o de línea se ha ampliado su utilidad a proveer información en tiempo real del estado de la planta o de la fábrica. El software orientado inicialmente a supervisión y control de proceso (máquina, proceso y línea) fue aprovechado para ampliar su utilidad a la supervisión y control de la producción. La adopción de forma generalizada de los estándares COM/DCOM, Active X, OPC y ODBC, entre otros, por parte de la gran mayoría de proveedores facilitaba que los datos adquiridos mediante la aplicación SCADA estuvieran disponibles para otras aplicaciones como la gestión de almacenes de datos (Data Warehouse), ERP, etc.

Una de las demandas más generalizadas y al mismo tiempo, una de las más críticas, es la capacidad de efectuar consultas trabajando con datos procedentes de diferentes fuentes, aplicaciones (SCADA, ERP, etc.) o de bases de datos distintas y ubicadas en diferentes puntos del sistema.

Disponer del conjunto de drivers necesario para intercomunicar los diversos componentes de la solución completa, configurarlos y activarlos de forma transparente, es un elemento esencial para disponer de una integración efectiva.

Actualmente, diversos proveedores ofrecen módulos específicos orientados al almacenamiento de grandes cantidades de datos, así como servidores de datos capaces de atender consultas de grandes cantidades de datos y que implican tanto a datos recogidos de proceso como a datos almacenados en otras bases de datos, y aptos para servir a múltiples usuarios, conectados a una red para la gestión y el control de la fábrica.

Por su naturaleza, estos módulos pueden llegar a constituir aplicaciones aptas para trabajar con SCADA's de otros fabricantes, servidores de datos históricos y

servidores de datos integrados (procedentes de diferentes bases de datos o aplicaciones pero interrelacionados). Entre estos productos podemos citar:

Industrial SQL Server de Wonderware, RSSql de Rockwell Software, Historian de GE Fanuc-Intellution, etc.

Esta ampliación del entorno de aplicación ha sido el resultado de la necesidad de disponer de herramientas cómodas, simples y potentes para la generación de interfaces de usuario que les daría acceso a la información de su interés. Dado que el entorno físico donde se ubican estos usuarios también se amplía, el medio generalizado de comunicación es Internet y la aplicación más común es cualquiera de los navegadores más difundidos.

Por otra parte, es conveniente disponer de herramientas que ofrezcan a cualquier usuario la posibilidad de diseñar y configurar una web específica que les permita dialogar con el sistema de información y obtener los datos necesarios. Un ejemplo de este tipo de aplicación es el infoAgent de GE Fanuc- Intellution, un software de edición, configuración y activación de portales de Internet que proporciona un servidor y admite múltiples clientes.

Tendencias:

La madurez de los productos software para la adquisición y registro de datos en tiempo real y la supervisión y control de procesos ofrecen una evolución en los siguientes ámbitos:

1. Su integración en entornos completos para la gestión del negocio disponiendo de información de planta en tiempo real, control, tratamiento de datos, supervisión y gestión global de la empresa. La existencia de aplicaciones MES, los servidores de datos y los servidores de web son una prueba de ello.
2. En el tratamiento de los datos adquiridos en planta por parte de sistemas expertos que ofrecen funcionalidades de detección y diagnóstico de fallos. Son evidentes las ventajas que supone disponer de un sistema experto que, a partir de los datos adquiridos de planta tanto en proceso continuo como discontinuo, pueda aplicar un conjunto de reglas que ayude al personal de operación en planta a detectar los fallos o situaciones delicadas y a tener una diagnosis de las causas que lo provocan, así como conocer cuál es la correcta actuación a seguir.
3. La mejora de las interfaces con el usuario con el empleo de entornos gráficos de alta calidad, la incorporación de elementos multimedia de audio y vídeo, la mejora de los sistemas operativos para incrementar las velocidades de respuesta, el empleo de software orientado a objeto, con diálogos

conversacionales de programador y usuario, etc., todo ello soportado por un hardware cada vez más compacto, fiable, potente, de mayor ancho de bus y más rápido.

3.2 Sistemas de control.

3.2.1 El Sistema de control.

Un sistema dinámico puede definirse conceptualmente como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida.

Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular y las perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control. La figura 3.9 ilustra de un modo conceptual el funcionamiento de un sistema.

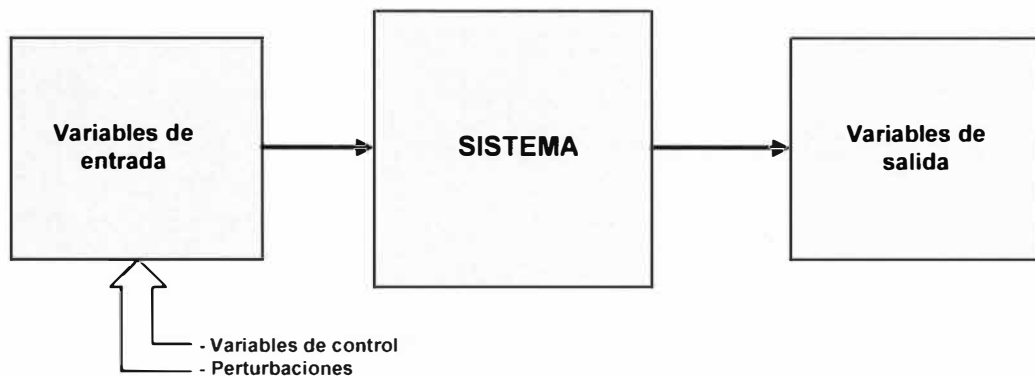


Figura 3.9 Esquema general de un sistema

Dentro de los sistemas se encuentra el concepto de sistema de control. **Un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema.** La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, el dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados o de set-point.

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

1. Garantizar la estabilidad y particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.

2. Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.
3. Ser fácilmente realizable y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

Sensores: Permiten conocer los valores de las variables medidas por el sistema controlador, con los valores adquiridos por los sensores y el set-point impuesto se calcula la acción para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.

Actuadores: Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control. La figura 3.10 muestra el funcionamiento de un sistema de control genérico.

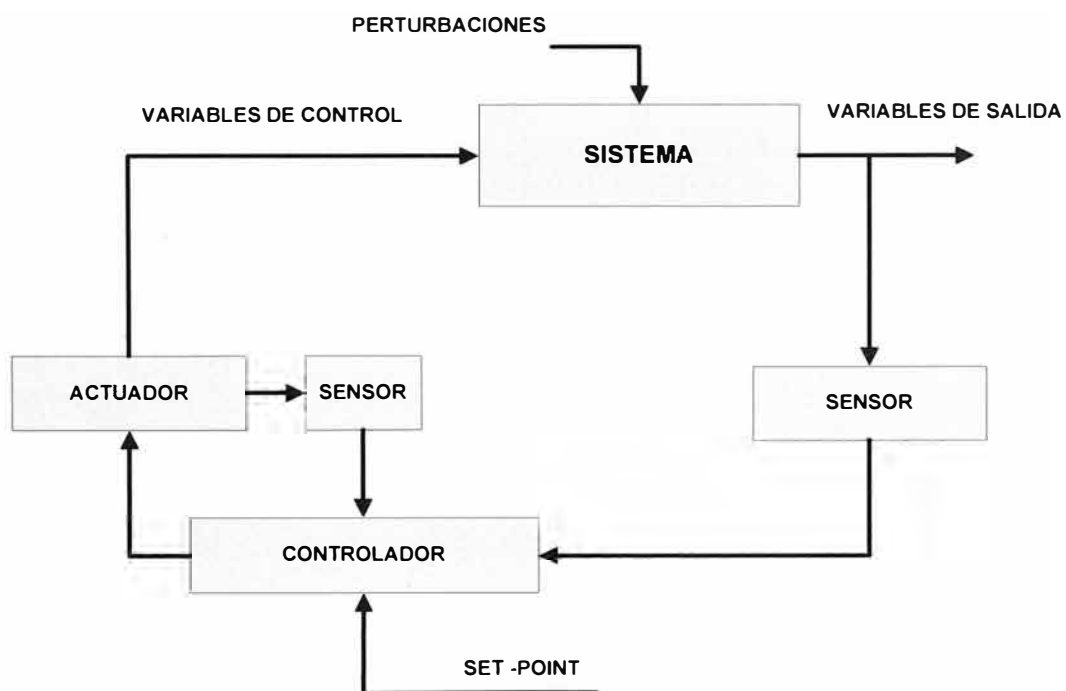


Figura 3.10 Esquema general de un sistema de control

3.2.2 Tipos de sistemas de control en canales de regadío.

Existen múltiples criterios para clasificar los distintos tipos de sistemas de control utilizados en la gestión de canales de regadío. Según Georges y Litrico (2002), los cuatro criterios esenciales son:

- Las variables consideradas.
- La estrategia de control.
- Los métodos de diseño.
- La implementación en obra.

Las variables consideradas.

Se consideran cuatro grupos: Las perturbaciones, las variables controladas, las variables de control y las variables medidas. Las perturbaciones son generalmente desconocidas, las más importantes son las aportaciones extras debidas a las lluvias y las extracciones ilegales.

Normalmente, estas perturbaciones no se pueden medir, pero sus efectos sobre las variables medidas permiten detectar su presencia. La utilización de un sistema de lazo cerrado permite corregir los problemas derivados de la presencia de perturbaciones en el sistema.

Las variables controladas son aquellas sobre las que se aplican los valores de set-point. En el caso de un canal, estas variables controladas son principalmente de dos tipos: caudales y calados.

Las variables de control más habituales son las aberturas de compuertas, los incrementos de abertura de compuerta, los caudales o los incrementos de caudal. Las variables medidas son generalmente calados, aunque en ciertos casos pueden ser caudales, medidos mediante equipos especiales (molinetes, ultrasonidos, etc.) o mediante relaciones numéricas (curvas de gasto), o volúmenes, evaluados mediante balances caudal de entrada-caudal de salida o mediante los valores de diversos calados a lo largo del tramo de canal.

La estrategia de control.

La estrategia de control hace referencia a la naturaleza y la dirección de los lazos existentes entre las variables medidas y/o controladas y las variables de control.

Se distinguen dos tipos de estrategias en función de la naturaleza de la información utilizada para calcular la acción de control del sistema, lazo abierto y lazo cerrado. Ver figura 3.11.

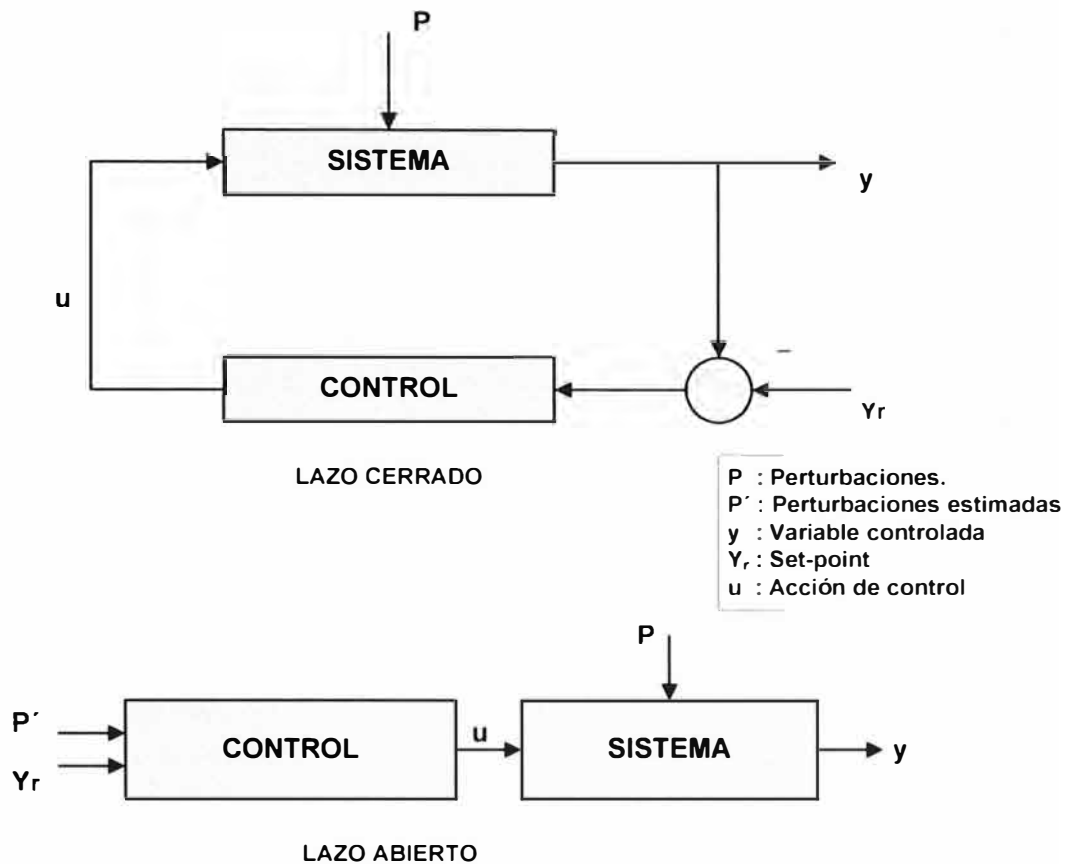


Figura 3.11 Control de lazo cerrado vs. Control de lazo abierto

Según la dirección de la estrategia de control podemos distinguir tres casos, control aguas abajo, control aguas arriba y control mixto.

En el control aguas abajo, la acción de control consiste en variar el caudal aguas arriba del tramo, la compuerta situada aguas arriba es la que realiza dicha acción.

En el control aguas arriba la acción consiste en variar el nivel aguas abajo, en este caso, la compuerta que actúa es la situada aguas abajo del tramo. Una compuerta realiza un control aguas abajo cuando el nivel que está controlando es el del tramo ubicado aguas debajo de la misma. En cambio, una compuerta realiza un control aguas arriba cuando el nivel controlado es el del tramo situado aguas arriba. Ver figura 3.12.

El control aguas abajo genera indirectamente un control en lazo cerrado de caudales, ya que se obtiene mediante una modificación del caudal aguas arriba.

En cambio, el control aguas arriba no genera un control de caudal de lazo cerrado, ya que se obtiene mediante una simple modificación del caudal aguas arriba de la compuerta, lo cual es insuficiente.

El control mixto es una estrategia de control que combina estrategias de control aguas arriba y aguas abajo. Este tipo de control también genera indirectamente un lazo cerrado de caudales.

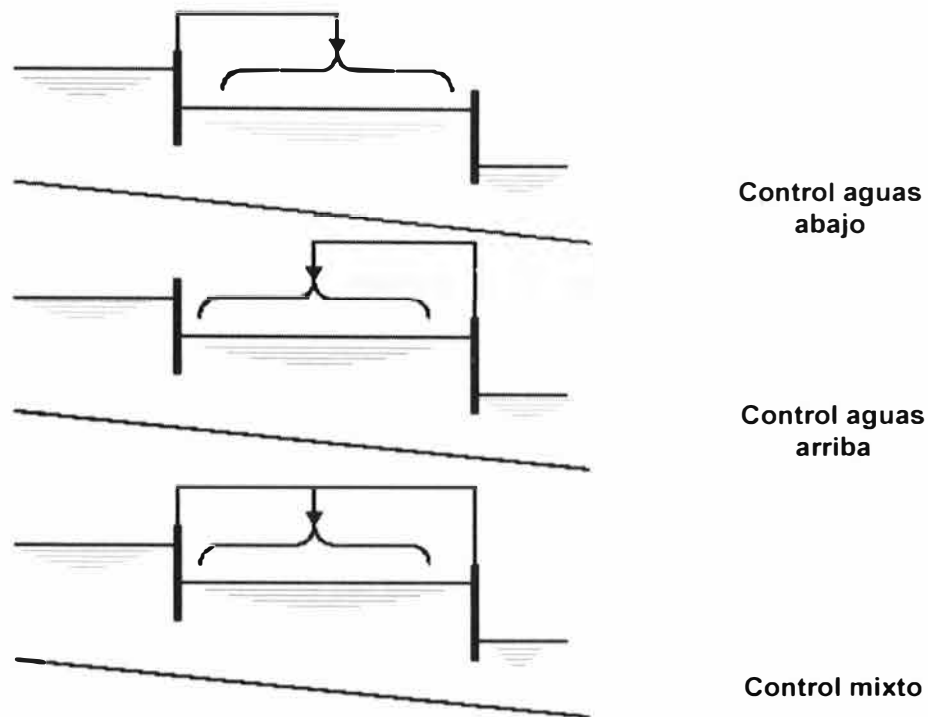


Figura 3.12 Esquemas de control según la dirección de control

Los métodos de diseño.

Los métodos de análisis de sistemas y de diseño de los controladores han evolucionado del mismo modo que la mayoría de las herramientas utilizadas en ingeniería. La evolución en los sistemas informáticos ha permitido que actualmente estén disponibles entornos en los que se pueden realizar simulaciones dinámicas (por ejemplo Matlab). Es por ello que en los últimos años, estos progresos han permitido que las investigaciones y aplicaciones en la teoría de control automático hayan pasado de utilizar una implementación analógica y monovariable a una implementación digital y multivariable.

Las variables medidas en el sistema mediante los sensores llegan al controlador en forma analógica, de modo que en el caso de un controlador digital es necesario utilizar dos convertidores de señal, uno analógico-digital, que permite discretizar la señal para que el controlador pueda realizar los cálculos necesarios, y uno digital-analógico para poder convertir las órdenes de control calculadas por el controlador en señales continuas, de modo que los actuadores puedan ejecutar los cambios precisos.

Un controlador monovariable trabaja con una única variable de entrada y una única variable de salida, es decir con variables escalares. En cambio, un controlador multivariable trabaja con más de una variable de entrada y más de una variable de salida. Las variables de entrada y salida son vectoriales.

La mayoría de los métodos desarrollados para la regulación de canales se basan en controladores lineales monovariantes en lazo cerrado de tipo PID (proporcional, integral, diferencial). Los métodos monovariantes requieren dividir el sistema en varios subsistemas, sin tener en cuenta la interacción entre ellos. Debido a que un canal es un sistema multivariable que presenta grandes interacciones entre sus subsistemas, una posible solución consiste en considerar el proceso global multivariable como una serie de procesos monovariantes independientes actuando en paralelo.

La implementación en obra del canal.

Dentro de la implementación en obra de un método de regulación es posible distinguir diversos aspectos como son la configuración (centralizado o descentralizado), los mecanismos (compuertas manuales o automáticas), la instrumentación (sensores de nivel, aparatos para medir el caudal, etc.), sistemas de comunicación (telefonía fija, telefonía móvil, radiotelefonía, etc.), procedimientos de cálculo (empíricos, principios hidrodinámicos, mediante ordenadores, etc.). El aspecto más importante para entender las distintas características de los métodos de regulación es la configuración. La configuración del sistema tiene relación con la ubicación del controlador respecto de los mecanismos y las variables controladas y con la jerarquía entre los controladores. Los controladores son de tipo: local, local a distancia, semilocal, centralizado y jerárquico.

En un control local (figura 3.13), cada mecanismo es accionado por un controlador independiente, que solo usa información local.

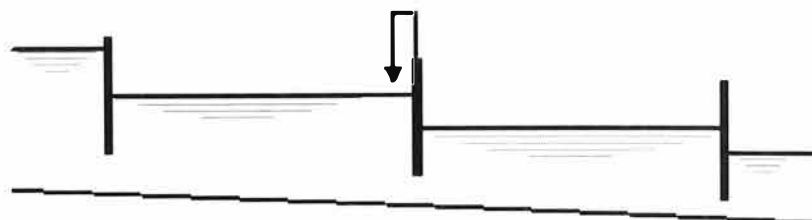


Figura 3.13 Control local

Un control local a distancia (Figura 3.14) difiere del anterior en que las variables utilizadas son medidas en una zona alejada del mecanismo.

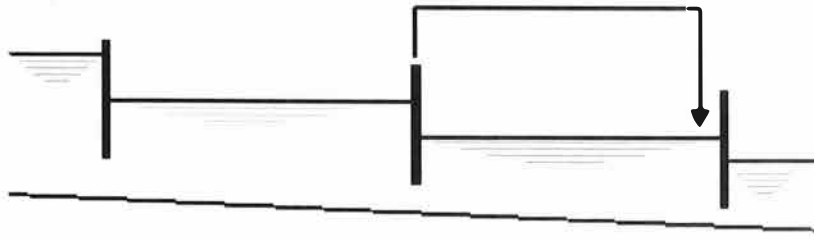


Figura 3.14 Control local a distancia

En un control semilocal (Figura 3.15), no se realiza un control global del sistema, pero los controladores no solo utilizan su propia información, sino que también utilizan información generada por los controladores adyacentes.

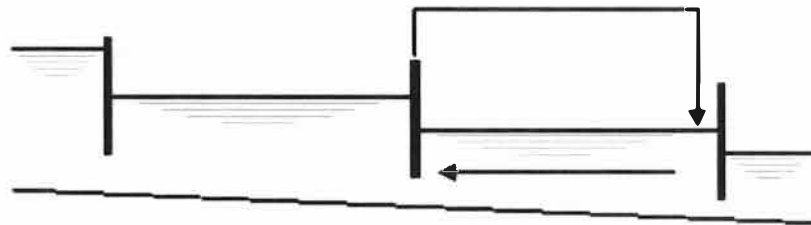


Figura 3.15 Control semilocal

En un control centralizado (Figura 3.16), existe un único controlador que utilizando toda la información global del sistema genera las acciones de control para cada uno de los mecanismos.

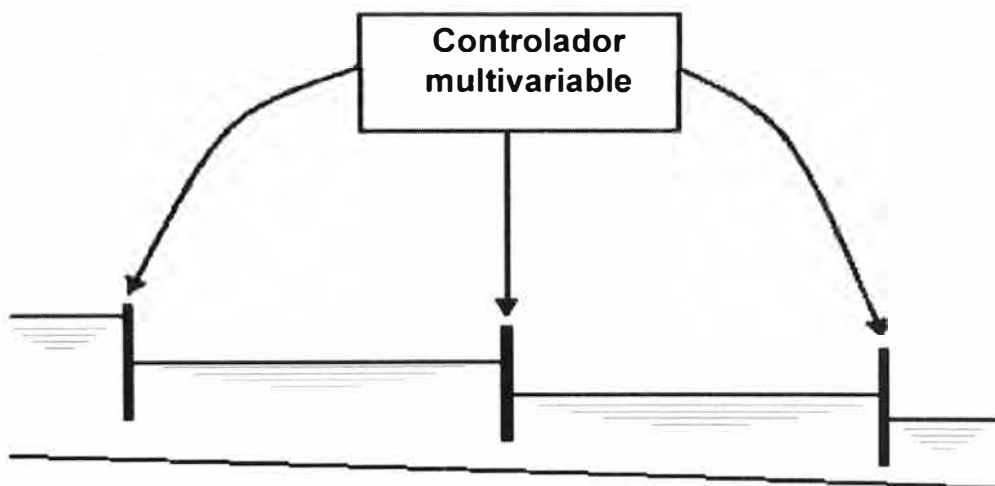


Figura 3.16 Control centralizado

En un control jerárquico (Figura 3.17), existe una jerarquía de control. La acción de control se toma en función de las decisiones tomadas a distintos niveles. Por

ejemplo, en un control centralizado jerárquico existe un controlador que comunica a distancia un cambio de consigna a un controlador local presente en cada mecanismo.

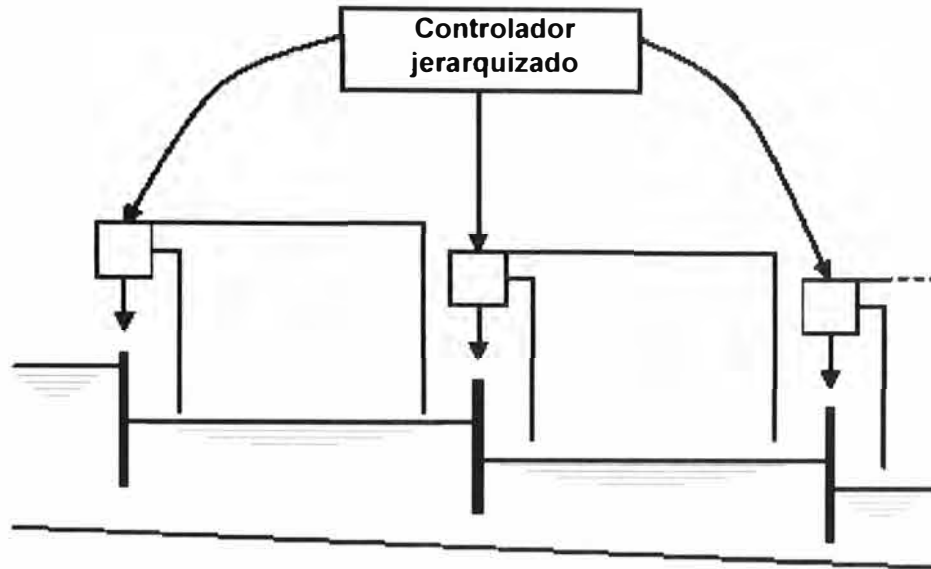


Figura 3.17 Control jerárquico

3.3 Redes de sensores.

Esta tecnología pertenece a la generación de nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial, supervisión y control de activos.

Un sistema WSN (Wireless Sensor Network) de sensores inalámbricos es una red con numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan sensores para controlar diversas condiciones en distintos puntos, entre ellas la temperatura, el sonido, la vibración, la presión, humedad o los contaminantes. Los dispositivos son unidades autónomas que constan de un microprocesador, una fuente de energía (casi siempre es una batería), un radiotransceptor y un elemento sensor. Debido a las limitaciones de la vida de la batería, los nodos se construyen teniendo presente la conservación de energía, y generalmente pasan mucho tiempo en modo 'durmiente' (sleep) de bajo consumo de potencia. Los nodos auto-organizan sus redes una forma ad-hoc, en lugar de tener una topología de red previamente programada y tiene capacidad de auto-restauración, si se avería un nodo, la red encontrará nuevas vías para encaminar datos. Los requerimientos de estos sistemas están en su mayoría encaminados a situaciones donde no es necesario un gran ancho de banda.

3.3.1 WSN y la tecnología IEEE 802.15.4

Las aplicaciones que nos interesan en el campo del WSN están bajo la tecnología IEEE 802.15.4 que se orientan hacia el desarrollo de redes de baja velocidad, bajo costo y bajo consumo de potencia. Este estándar está orientado a aplicaciones donde la velocidad de transferencia no es muy alta, pero permite que los nodos de la red puedan ser alimentados mediante baterías y puedan funcionar sin ser recargados durante años. Es por lo tanto el estándar que mejor se adapta a los requisitos impuestos para el desarrollo de redes de sensores en campos agrícolas.

3.3.2 Ventajas de WSN

La comunicación inalámbrica en aplicaciones de campo tiene ventajas. Además de una mayor fiabilidad, la ventaja más reconocida es el bajo costo de instalación. Los emplazamientos industriales suelen ser entornos severos, con requisitos muy exigentes en cuanto al tipo y calidad del cableado. Prescindir de los cables significa que las instalaciones son más baratas, sobre todo cuando se trata de modernizar o actualizar instalaciones. Aunque la definición formal no sea aplicable directamente en marcos industriales, WSN introduce nuevas técnicas de interconexión que ayudan reducir aún más el costo de instalación de los sensores inalámbricos. La naturaleza ad-hoc de WSN hace sencillo el ajuste y configuración, tarea que no debe subestimarse cuando la red es de considerable tamaño. Para apoyar la cobertura de sensores inalámbricos a nivel de campo se ha de minimizar el trabajo manual de configuración de la red. Además, la configuración de tipo 'plug and produce' (enchufar y producir) de la red permite desplegar redes temporales de sensores para garantizar el mantenimiento o la localización y corrección de fallos.

3.3.3 Aplicaciones y requisitos

Los requisitos de cualquier solución WSN siempre dependerán estrechamente de la aplicación concreta. A continuación se consideran dos casos específicos de uso: fabricación discreta y monitorización de activos. Estos dos casos implican requisitos bajos de potencia, aunque la fuente de energía real puede variar (almacenamiento de energía en baterías, obtención de energía desde fuentes ambientales, transferencia inalámbrica energía como, por ejemplo, por acoplamiento inductivo, etc.). En ambos casos, la unidad no puede disipar más que unos pocos milivatios (mW) como máximo de potencia media. En la

fabricación discreta, el tiempo latencia del sistema es vital. Existe un límite estricto del tiempo máximo de latencia, por encima del cual el sistema funcionará mal. Con frecuencia se proporciona el protocolo de comunicación con objeto de utilizar los recursos disponibles dentro de los límites especificados y que ningún elemento esté energizado, si no es imprescindible. El trabajo se reduce a activar y desactivar unidades, como el sensor, la CPU y el transceptor, con apropiada. El protocolo de comunicación tiene una gran influencia sobre el consumo final de energía del sistema, por ejemplo la especificación ZigBee, recientemente desarrollada con el protocolo IEEE 802.15.4, de tipo más general, resulta ideal para aplicaciones de monitorización de activos, suponiendo que los nodos routers están conectados por cable a la red eléctrica. Los diferentes métodos de hardware y software influyen directamente en el consumo de energía de los dispositivos. La norma ZigBee, que es una especificación inalámbrica de bajo consumo de potencia, bajo costo y baja velocidad de transferencia de datos, está orientada a electrodomésticos, juguetes, aplicaciones agrícolas e industriales y otras similares. ZigBee Alliance trabaja desde no hace mucho tiempo en un perfil específico para la monitorización de plantas industriales.

3.3.4 Esquema de nodos

Un circuito típico de un nodo o MOTA se divide en 4 módulos:

1. **Módulo de control:** Conformado por un microcontrolador encargado de controlar todas las funciones del nodo.
2. **Módulo de comunicaciones:** Formado por un Transceiver RF que realiza las emisiones y recibe la información.
3. **Módulo de potencia:** Formado por un regulador de alimentación continua de 3.3 – 1.8 Vdc.
4. **Módulo de sensores:** Donde se conectan los sensores que serán manejados por la aplicación a través de los puertos del microcontrolador, tienen incorporados conversores Análogo-Digitales (ADC)

Un esquema de solución WSN nodal tipo MESH es que se muestra en la figura 3.18 y presenta los siguientes beneficios: Bajo costo de despliegue y mantenimiento, ideal para supervisión y control de riego, robusto ante la meteorología, ahorra infraestructura y salva obstáculos físicos y no estorba la actividad habitual de los usuarios.

Los esquemas de comunicación y sus partes en la versión ZigBee se pueden apreciar en el Anexo A.2.

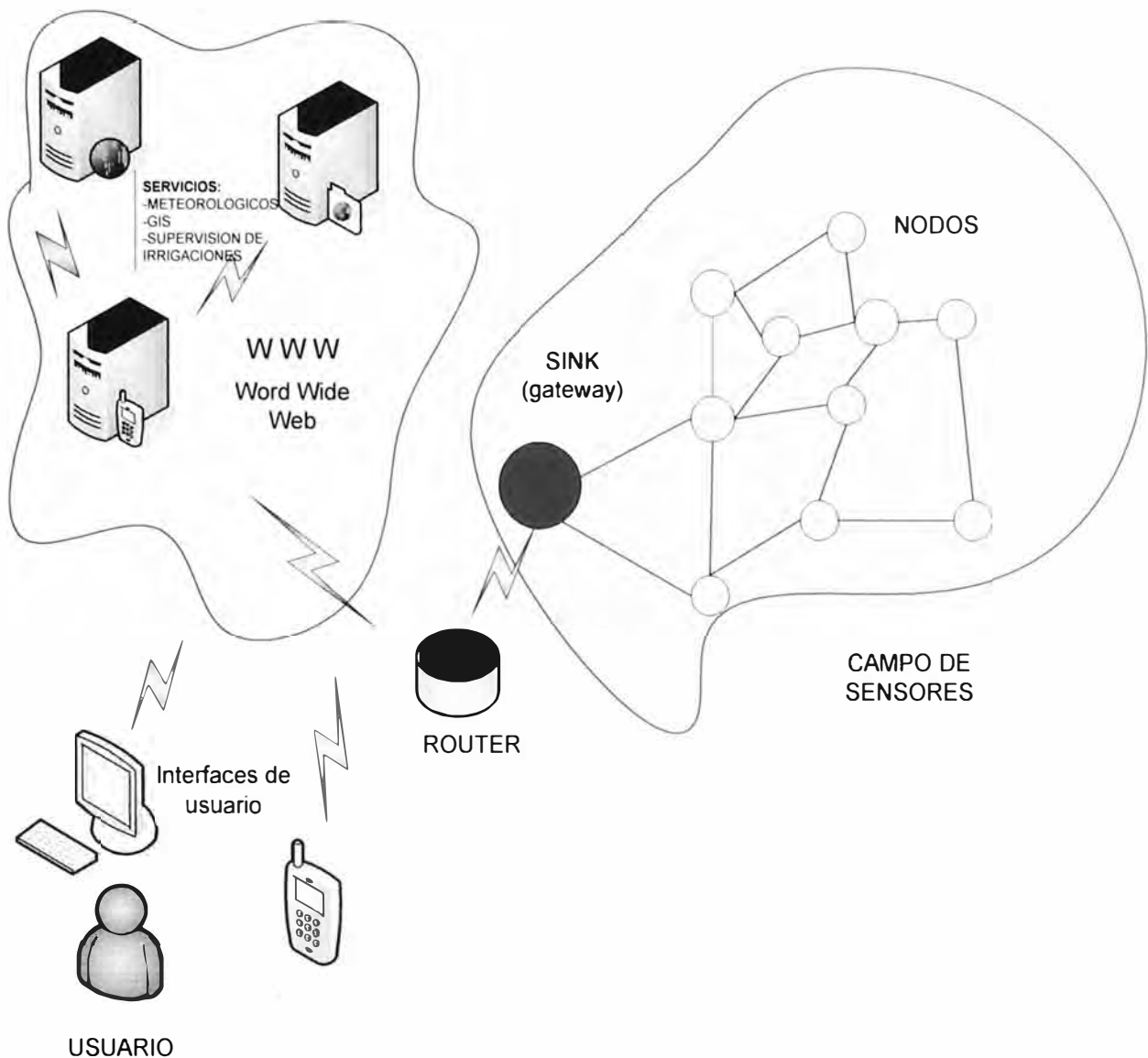


Figura 3.18 Esquema de una solución WSN (nodos)

3.4 Definición de términos.

Lazo abierto:

La acción de control se calcula conociendo la dinámica del sistema, las consignas y estimando las perturbaciones. Esta estrategia de control puede compensar los retrasos inherentes del sistema anticipándose a las necesidades del usuario.

Lazo cerrado:

La acción de control se calcula en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada. Las perturbaciones, aunque sean desconocidas son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre las variables de salida.

Caudal:

Es la cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo. Las necesidades hídricas de los usuarios de un canal de riego se pueden definir en términos de caudales y pueden tomarse como variable controlada.

Calados:

Diferencia de nivel entre la superficie del agua y el punto más bajo del cauce. Los calados son fácilmente mensurables.

Monitorización:

Observar mediante aparatos especiales el curso de uno o varios parámetros biológicos o ambientales para detectar posibles anomalías.

Transductores:

Son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa). Su calibración es muy importante para que no haya problema con la confusión de valores de los datos.

Sensores:

Son de distinta naturaleza y tecnología, toman del medio la información ambiental y las convierten a señales eléctricas.

Nodo sensor:

O procesadores de radio, toman los datos del sensor a través de sus puertas de datos, y envían la información a la estación base.

Gateway:

Una Gateway o pasarela es un dispositivo, con frecuencia un ordenador, que realiza la conversión de protocolos entre diferentes tipos de redes o aplicaciones. Es el elemento para la interconexión entre la red de sensores y una red TCP/IP.

Estación base:

Recolector de datos basado en un ordenador común o sistema embebido.

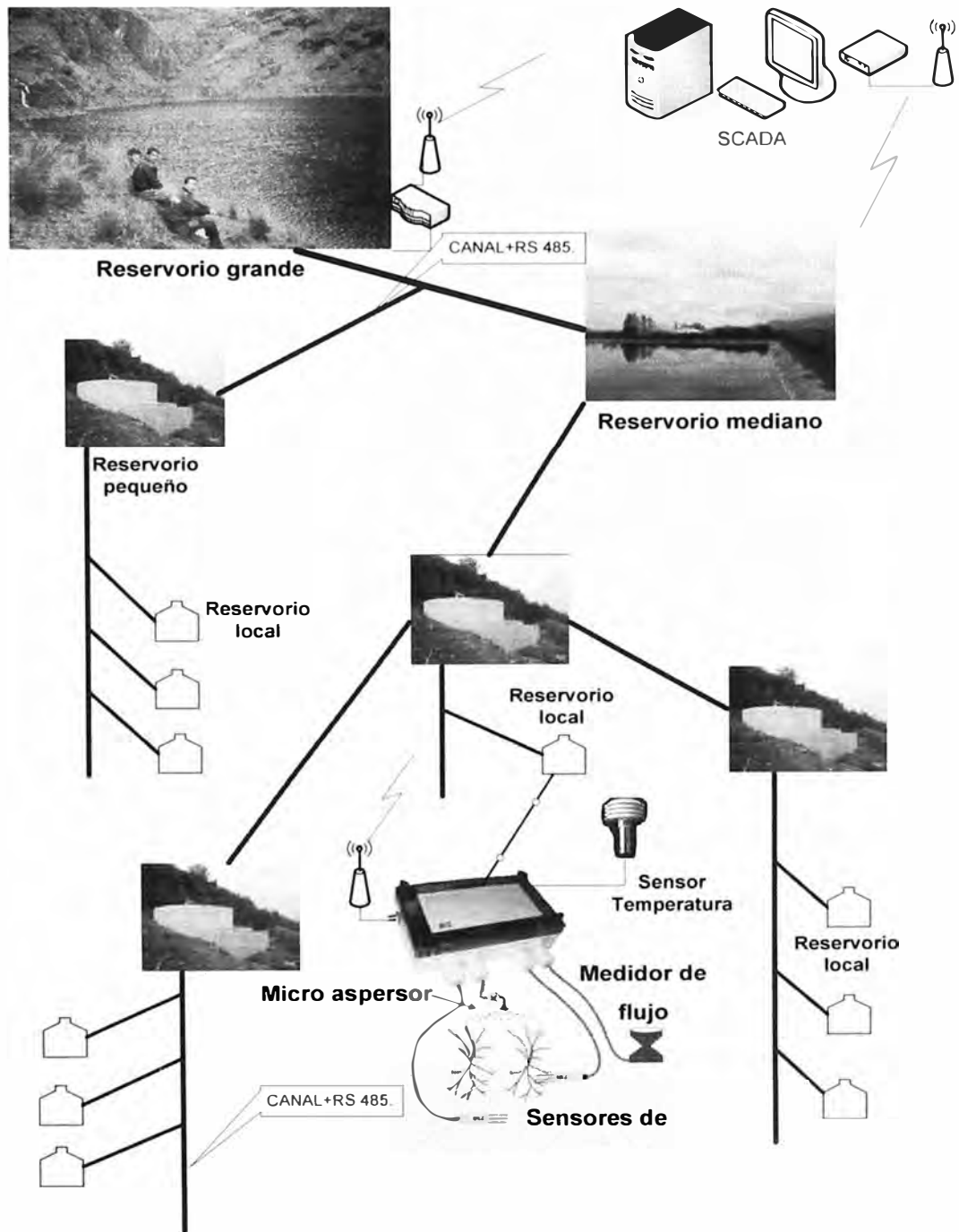
También se le conoce como SINK de comunicaciones y forma parte de una disposición típica en una red de sensores inalámbricos.

Red de sensores inalámbrica:

Es un concepto relativamente nuevo en adquisición y tratamiento de datos con múltiples aplicaciones en distintos campos tales como entornos industriales, domótica, entornos militares, detección ambiental, agricultura de precisión. Esta basada en el estándar 802.15.4 adoptado por *ZigBee*, nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo,

CAPITULO IV

ESTADO DEL ARTE DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA



4.1 Alternativas de solución.

Lo básico de estas alternativas pasa por asumir que se tiene una infraestructura de canales y reservorios mínimo para la implementación de las soluciones. Se trata de la selección de una estrategia tecnológica que factible y económica para el planteamiento de la problemática expuesta. Estas son:

1. De tipo alambrado: De uso más apropiado en invernaderos, centros de investigación y viveros automatizados, se usa comunicación serial basado en buses de campo y ethernet.
2. Inalámbrica o sin cables: Solución sofisticada en la que puede usarse medios satelitales y aéreos, probablemente muy oneroso y complejo para el problema planteado.
3. Mixta: Es una solución que combina ambas tecnologías en sus opciones más económicas e incluyen niveles de redundancia. Esta alternativa es una de las más factibles de implementar en nuestro medio.

4.2 Selección de la Alternativa.

En el presente informe se considera que la estrategia tecnológica seleccionada debe tener características mixtas ya que podrían adaptarse mejor a la topografía de los valles de la sierra. Una aproximación de ello puede verse en la figura 4.1.

En los últimos 27 años se han desarrollado varios algoritmos de control, como el proporcional-integral-derivativo PID, ubicación de polos, localización de raíces, control predictivo, regulador cuadrático lineal (LQR) o heurístico, para mejorar la operación de los canales de riego. Se concluyó que la aplicación de estos algoritmos en las zonas de riego requiere de la instrumentación de las estructuras de control, medios modernos para transmitir la información obtenida y de mucha información sobre las variables. La mejoría es significativa empleando un esquema de regulación por tramos de canal de riego (Ver fig. 4.4), supervisado por un SCADA que evalúa y ejecuta algoritmos en base al procesamiento de los datos adquiridos desde los sensores para accionar el sistema de actuadores.

El control del sistema de canales de riego significa actuar compuertas, válvulas, dispositivos de presión y algunos sensores, lo más adecuado es emplear la tecnología del Bus de Campo, aprovechando la infraestructura de los sistemas de riego que llegan a las cercanías de los campos de cultivo objetivo. De acuerdo al diagrama conceptual de la figura 4.1, el Bus de Campo llegaría inicialmente hasta el nivel que se indica como "Reservorio pequeño" y luego hasta lo indicado como "Reservorio local" en el que el agricultor o "cliente" define su propio perfil de riego.

En el sub-sistema de Riego Localizado y de prevención de "Heladas" la propuesta es utilizar redes de sensores inalámbricas (WSN) en configuración fija. Estos adquieren los datos ambientales (humedad, temperatura, etc.) para su proceso en el nodo central (MTU) o en el subsistema de riego localizado de lazo cerrado, que mediante los RTU's o la "inteligencia del subsistema" accionan el sistema de actuadores (válvulas) que controlan el riego localizado o los pilotes con los aspersores de agua que nos ayudarán a prevenir el efecto del fenómeno de la "Helada". Ver figura 4.2.

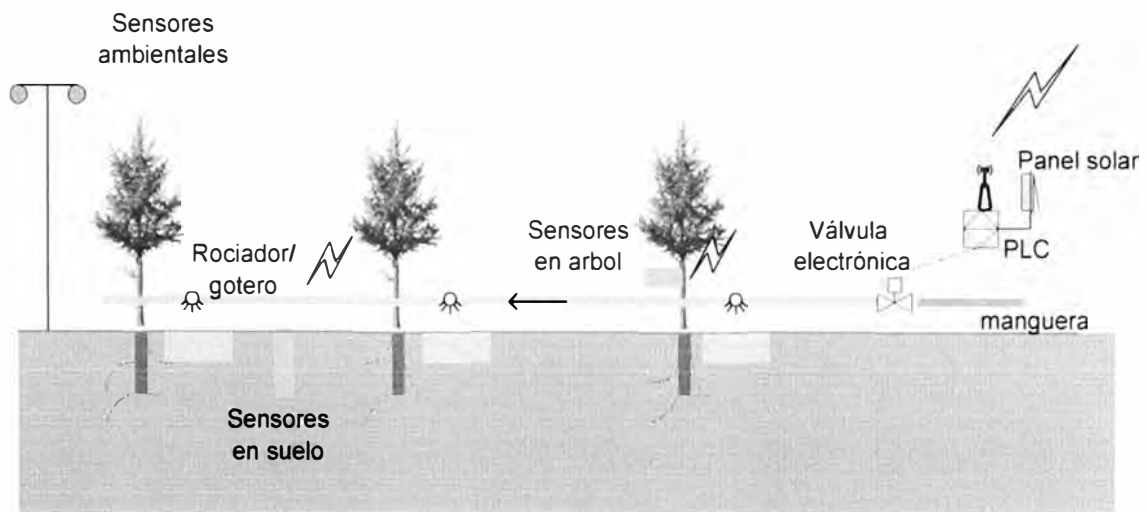


Figura 4.2 Esquema de control de riego localizado de lazo cerrado.

4.3 Descripción de la propuesta de solución.

La propuesta para solucionar algunas de las vulnerabilidades de los campos de cultivo de las zonas yunga-quechua de los valles de la sierra se componen de tres partes o módulos que están relacionadas y son adaptables a una Jerarquía de Automatización para la Agricultura. Ver figura 4.3.

Estas partes o módulos son:

- 1. Un Sistema SCADA mínimo para Supervisión, Control y Administración de Aguas para control de regadíos, riego localizado de lazo cerrado y prevención del efecto "Helada".**
- 2. Un Subsistema o red de canales de riego con estructuras de control instrumentados y conectados mediante Bus de Campo con comunicación RS 485 y/o radioeléctrico.**
- 3. Un Subsistema para Riego Localizado de Lazo Cerrado y de Detección Temprana de Heladas empleando una red de sensores wireless (WSN) y/o Sistemas de Comunicación Radioeléctrico..**

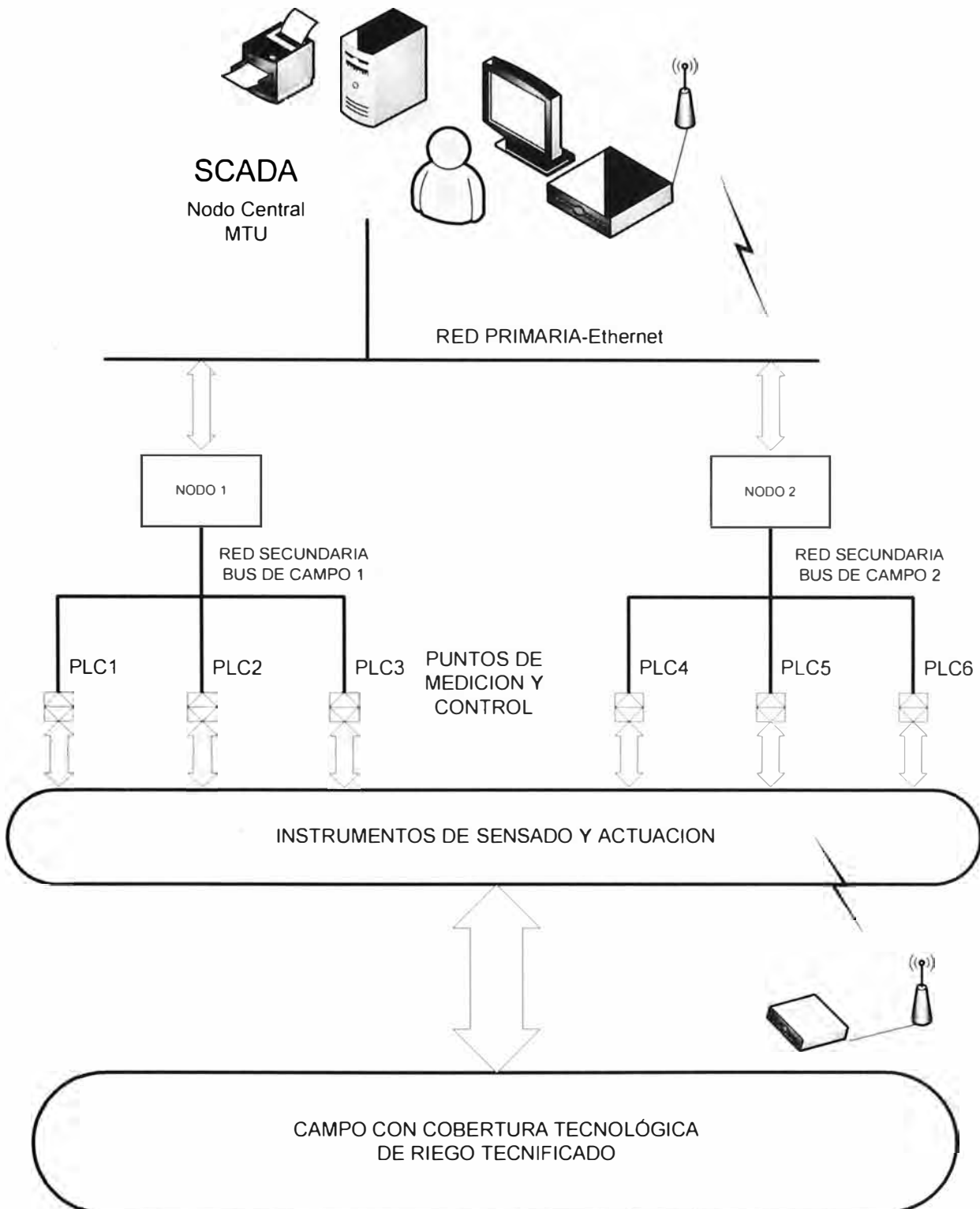


Figura 4.3 Esquema general de un sistema de control de riego tecnificado.

Para la adquisición de los equipos de la infraestructura de comunicaciones, la instrumentación electrónica para válvulas, sensores y/o actuadores inteligentes,

pilotes para aspersión de agua, mangueras para riego por exudación sub-superficial, bombas, filtros y equipos de fertirrigación, así como el diseño de la ubicación de los actuadores, los sensores o la red de sensores, se tendrán en cuenta la topografía de campo de cultivo, la selección de la característica y sistema de riego localizado más apropiado para el cultivo seleccionado y las dimensiones del área con cobertura tecnológica.

4.3 Justificación de la solución.

La característica topográfica de la sierra peruana, en particular la zona Yunga-Quechua obliga proponer soluciones flexibles, económicas y tecnológicamente convergentes y compatibles con las actividades que van desde la investigación y desarrollo de tecnología electrónica, las comunicaciones y el desarrollo social sostenible. Este vínculo que a veces no es visible, "aterriza" una solución que esta disponible y justificada por el impacto económico y social que tendría en la agricultura rural para resolver parte de su problemática.

En estas zonas de la sierra es donde la escasez de agua para riego presente y futura es una preocupación. La gestión moderna de los canales de regadío, las tecnologías de riego, la mejora de la competitividad y la capacitación de los agricultores de estos lugares, facilitarán su desarrollo social y económico, elevando su autoestima y calidad de vida.

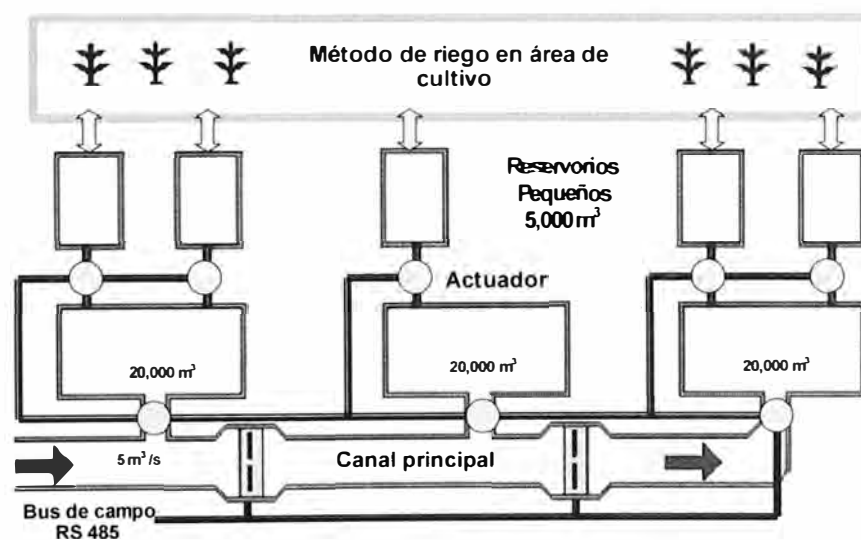


Figura 4.4 Esquema básico del sistema de riego tecnificado

Las aplicaciones que encontramos alrededor de los sistemas de control de riego tecnificado, motivo del presente informe (ver figura 4.4), se facilitarían con el uso de la tecnología SCADA, que además de organizar el regadío y mejorar la productividad de las áreas bajo riego, servirán para interactuar los datos del proceso dentro de una Jerarquía de Automatización Agraria. Externamente se interactuará con los Sistemas de Información Agrícola y Ambiental así como con los canales de distribución de productos y servicios existentes.

Por el lado de la investigación, la información obtenida y procesada puede generar perfiles o patrones de humedad, desde la superficie hasta la profundidad requerida, de un sembrío específico, los que adecuadamente almacenados en Data Warehouses pueden servir para la información estadística, el conocimiento científico, la caracterización de los productos, la proyección de tendencias y una mejor toma de decisiones de producción.

Implementar este tipo de soluciones se justifica además, debido a los siguientes beneficios:

- **Económicos:** Por que permite alargar las campañas agrícolas, el aumento de la productividad, la competitividad, la rentabilidad y el fomento de otros cultivos.
- **Sociales:** Por que favorece el desarrollo rural sostenible y la organización agraria rural del territorio.

Lo que tiene que aportar la ingeniería electrónica aplicada en la agricultura de estas zonas, no solo es un tema meramente técnico o de tecnología, sino que incluye otras dimensiones de la actividad humana siendo el reto principal superar aquellas barreras asociadas no solo a su geografía sino a su socioeconomía.

Los avances tecnológicos, el cambio climático, la realidad topográfica, la escasez proyectada del agua y las nuevas opciones de mercado para una variedad de cultivos, hacen que sea básico para la competitividad de los agricultores de estas zonas, obtener información de calidad sobre el agua para riego, el campo de cultivo y el tipo de riego que necesita. La aparición de nuevas tecnologías de comunicaciones, cada vez más convergentes, ampliara la oferta de medios de comunicación con costos cada vez menores y flexibles lo que facilitará la consolidación de las nuevas tendencias de tecnología aplicada y dirigida hacia la agricultura inteligente y de precisión. Ver figura 4.5 y la propuesta de **MOTTECH – Water Control Solutions** en el anexo A.3.

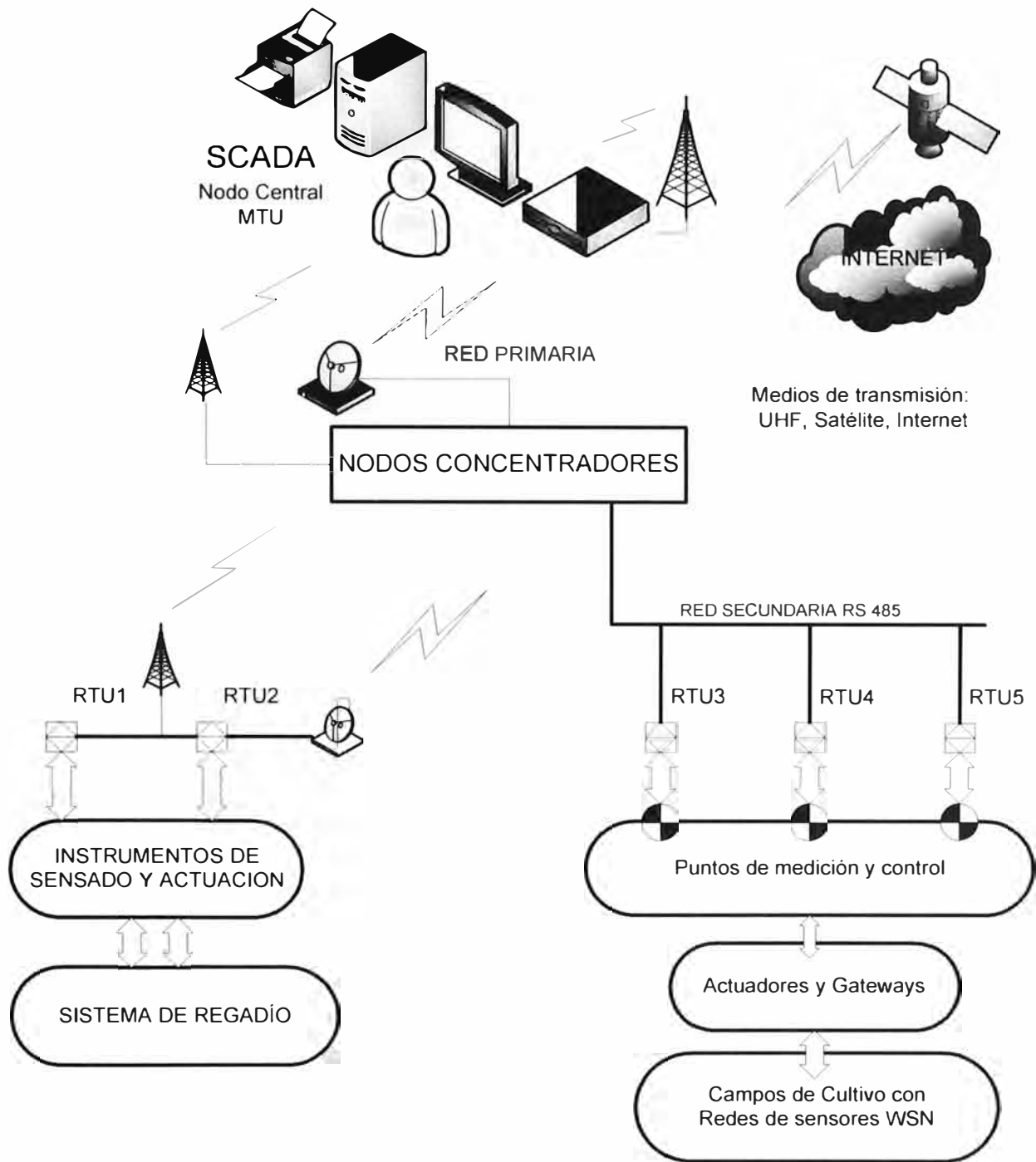


Figura 4.5 Sistema general de comunicaciones de la solución

CONCLUSIONES

A lo largo de la investigación para la elaboración de este informe, queda claro que el interés sobre nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura esta incrementándose, el mundo cambiante, las nuevas demandas de los países emergentes por alimentos pone sobre el tapete el tema de la productividad agrícola, su diversificación, la ampliación de su frontera, la calidad de los productos, etc., lo que para los países con ventajas comparativas como el Perú es una gran oportunidad que no debería dejarse pasar. La Agricultura Moderna, las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones tienen en la Tecnología Electrónica su plataforma de convergencia para poder hacer uso de sensores, actuadores, información digitalizada, software especializado y Sistemas de Información Agrícola y Ambiental, para recoger, almacenar, procesar, administrar y utilizar la información obtenida con la finalidad de reducir los riesgos, mejorando la eficiencia y eficacia de la toma de decisiones. Se facilitan también, la implementación, el control y evaluación de las estrategias de gestión del negocio agrícola. En la Era del Conocimiento, la disponibilidad de información fiable y oportuna sobre un cultivo, un producto o un proceso industrial agrícola, ha de considerarse un insumo más que es necesario gestionar.

CONCLUSIONES:

Sobre los objetivos del Informe:

1. Para nuestro país, hasta hace un par de décadas o tal vez menos tiempo, la suerte parecía echada en lo referente a ciencia y tecnología. Y aún es evidente que estamos rezagados en la materia. Sin embargo una primera conclusión es que una “quema de etapas” es posible si se implementara una agresiva campaña de sensibilización respecto al tema de la gestión de aguas para riego. Su importancia de cara a la realidad presente y futura de nuestro país necesita que, desde la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, se lideren planes piloto o proyectos factibles que sobre la base de las nuevas tecnologías para la agricultura puedan

realizarse en alianza estratégica con otras facultades o instituciones que puedan complementar las soluciones buscadas y que son afines a la Ingeniería Hidráulica, Civil, Industrial, Agrónoma, Mecánica, etc., fortaleciendo la preparación de los profesionales en las tecnologías para automatizar procesos químicos, industriales, campos de cultivo agrícola, vigilancia medioambiental, etc.

2. El tema seleccionado para el presente informe tiene en la actualidad una singular importancia, los agentes económicos han incorporado al factor medioambiental como un parámetro de intercambio, los mercados con consumidores de alta renta exigen nuevos patrones en la producción agrícola, la certificación orgánica de los campos de cultivo (frutas y hortaliza orgánica), etc. Esta exigencia, mas la escasez de agua, obligan incorporar al proceso un cierto nivel de automatización para ser competitivos.
3. En la Era del Conocimiento, tener información disponible, fiable y oportuna sobre un cultivo, un producto o un proceso agroindustrial, debe considerarse como un factor crítico para una gestión eficaz. En este sentido, las nuevas tecnologías se presentan como una herramienta imprescindible para favorecer la difusión de la información relativa al agro. Toda información que se considere necesaria para poder diseñar políticas y estrategias destinadas a optimizar los beneficios que las actividades relacionadas al agro producen, deben adecuarse a los modos de producción y trabajo del siglo XXI. Esta estrategia favorecerá el desarrollo rural de las poblaciones más aisladas, acercándolas a la Sociedad de la Conocimiento y la Información evitando su despoblación y aislamiento.
4. El principal problema que se encuentra en los auditorios de interés, es decir comunidades rurales y campesinas, es la aceptación de estas nuevas tecnologías en el campo agrícola; la desconfianza y el temor al cambio de los agricultores son barreras primarias que hay que superar. La mayoría de los agricultores tiene buen nivel de conocimientos y habilidades vinculadas a prácticas agrícolas adecuadas pero no tienen la información y el financiamiento suficiente para adoptar otros sistemas de riego, nuevas técnicas de cultivo o sistemas de comunicación e información que están disponibles para el mundo agrario lo que evita las potenciales ventajas que estas tecnologías pueden aportar a sus cultivos. Los programas de capacitación, entrenamiento y crédito agrario son fundamentales para promoverlos.
5. La falta de de infraestructura de canales de regadío y de comunicaciones es otra limitación básica que debe superarse. El acceso a Internet permitirá al agricultor acceder a información actualizada en forma rápida y desde cualquier lugar.

6. Los dispositivos móviles que se necesitan deben adaptarse a los agricultores y a las características de trabajo de las zonas rurales. El manejo de estos dispositivos no debe suponer una barrera.
7. Por último, es importante considerar, que con el fin de aprender de otras experiencias y compartir técnicas y métodos respetuosos con el medioambiente, deberá buscarse la cooperación internacional. Es necesario realizar un esfuerzo para armonizar el modelo agrícola con el desarrollo social sostenible y las exigencias socioeconómicas de estas zonas de menor desarrollo.
8. Finalmente, no se ha llamado suficientemente la atención sobre la aplicación de la tecnología electrónica en el medio agrícola rural.

Sobre la Tecnología:

1. La información que hemos podido consultar, nos refiere que se esta iniciando una nueva generación de dispositivos electrónicos llamados de "inteligencia ambiental" como el de las "redes de sensores wireless" cuyas primeras aplicaciones fiables y de bajo costo se encuentran en la DOMOTICA y LA AGRICULTURA DE PRECISION (uso intensivo de sensores y actuadores inteligentes). Las características más avanzadas de estos dispositivos o nodos inteligentes es su bajo consumo de energía y su autonomía computacional que incluso puede resolver situaciones sin el auxilio de un núcleo central de inteligencia (MTU). Esta nueva tecnología bajo SCADA ha iniciado una nueva perspectiva hacia el futuro de la cosecha agrícola.
2. El uso de herramientas de tecnología como SCADA en la agricultura por el tipo de parámetros que se manejan, pueden ser de bajo costo. El empleo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para la implementación de este sistema en la agricultura favorecen el desarrollo rural de aquellas poblaciones más aisladas, acercándolas a la Sociedad de la Información y el Conocimiento.
3. Una vez mas el desarrollo del Hardware ha sido más veloz que el desarrollo del Software pues el enrutamiento y los protocolos para las redes de sensores wireless aún no están maduras. La solución de Zig Bee™ con el protocolo IEEE 802.15.4 y el TinyOS™ por ahora son algunas de las respuestas mas indicadas para aplicaciones para esta tecnología en agricultura.
4. Que la aparición de estas nuevas tecnologías (redes de sensores wireless) nos pueden dar la oportunidad de encontrar soluciones inteligentes y de bajo costo a un sinnúmero de aplicaciones

5. La tecnología de redes de sensores por su costo y concepto pueden permitirnos “sentir” y “tocar” un área precisa, inaugurando de este modo LA AGRICULTURA DE PRECISION (AP) con el apoyo de sistemas GPRS, equipos de posicionamiento Global GPS y básicamente tecnologías de comunicaciones, micro-computación, sensores y actuadores para GAP.
6. La información respecto a los sistemas de riego tecnificado es poco accesible y escasa en el medio local, sin embargo hay tópicos en el que es satisfactorio observar que países como México y Argentina tienen comprendido el problema y realizan grandes esfuerzos desde su comunidad Universitaria para superar las limitaciones que la Ciencia y Tecnología de sus países les impone.
7. Parte del problema es la ausencia de la Universidad allí donde tendría que cumplir su rol de proyección social. La implementación de campos de prueba, programas de capacitación e información de Tecnologías Modernas aplicables a la agricultura es básica para garantizar nuestra inserción en el mundo globalizado.

COMENTARIOS FINALES.

Siempre será complicado aceptar innovaciones o desarrollar nuevas tecnologías y adaptarlas para nuestro medio, es la razón por la que creemos que para el riego localizado y la prevención de “Heladas” una tecnología como la de redes de sensores inalámbricos o WSN es una opción no solo de investigación sino también implementable; la información existente prueba que este tipo de soluciones de última generación están al alcance. Hay que tener en cuenta que los requerimientos para su ensamble en soluciones con parámetros agrícolas no necesita un gran ancho de banda, de allí que el protocolo de comunicaciones que mejor se adapta para la aplicación que proponemos, es el estándar IEEE 802.15.4 de uso casi general en el desarrollo de redes inalámbricas de baja velocidad, bajo costo y bajo consumo de energía. Su característica de ahorro de energía permite que los nodos de la red puedan permanecer activos mediante baterías y funcionar sin ser recargadas o cambiadas durante varios años. El monitoreo de parámetros como la humedad y la temperatura en extensiones de un campo de cultivo así como la activación de los actuadores se puede facilitar por el uso de estas tecnologías. Las redes de sensores y actuadores se han hecho realidad al converger la tecnología de los sistemas micro-electrónicos, electro-mecánicos, las comunicaciones y la electrónica digital.

La modernización o automatización de un sistema de riegos en general de áreas rurales de la zona yunga-quechua, por la información encontrada, es actualmente de muy difícil

implementación sin la participación de la inversión pública o privada, ya que el marco de su desarrollo es de una visión de mediano plazo y es económicamente inviable para los agricultores de esas zonas. En la sección de anexos de este informe hay información sobre el Programa de Riego Tecnificado que ha implementado el Ministerio de Agricultura, que podría ser una gran oportunidad para las iniciativas innovadoras; el momento en que la tecnología del hardware es económicamente accesible, sofisticada y abierta, mientras que el software (sistemas abiertos como LINUX) ya no es un factor crítico, pueden ser bien aprovechadas por investigadores locales o del medio universitario a través de sus Centros de Investigación y Desarrollo especializados en alianza estratégica con otras especialidades.

La referencia histórica agraria que tenemos es rica y diversa, nuestros antepasados, no solo tuvieron respeto por nuestra geografía, sino que emplearon tecnología propia en la construcción de sus canales de regadío, en el acondicionamiento de terrenos de cultivo (andenes), la implementación de campos experimentales de investigación agrícola (andenes circulares de Moray - Cuzco) y otras infraestructuras que demuestran la importancia y su preocupación por el tema agrícola de la época.

El principal comentario que se puede hacer es respecto a poner en valor esa referencia histórica promoviendo la modernización de las actividades agrarias e incentivar el uso de las nuevas tecnologías, como es el caso de la automatización de la infraestructura de canales de regadío y las redes de sensores en la agricultura.

Con el marco de la descentralización política, pueden proponerse a los gobiernos regionales o municipales (con presupuestos) proyectos de inversión en el tema de riego con algún nivel de automatización, como es la propuesta en este informe, que inicie el mejoramiento de la socioeconomía de la zona Yunga-Quechua.

Durante el desarrollo de este informe, conseguimos información sectorial del Ministerio de Agricultura y hallamos que hay legislación fundamental y promocional para la implementación del riego tecnificado consecuencia de la política de estado **“Política y Estrategia Nacional de Riego en el Perú” del año 2003, que ha impulsado la Ley que crea el Programa de Riego Tecnificado - LEY Nº 28585 - del año 2005 y su reglamento del año 2007.** Esta legislación es de fundamental importancia para impulsar nuevas tecnologías para el uso agrario del agua por lo que se recomendaría aprovechar esta valiosa oportunidad en alianza con los grupos de interés agrícola (comunidades, asociaciones de regantes, particulares etc.) que debería ser recogida por el Centro de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería para iniciar una nueva dimensión en la actividad universitaria.

BIBLIOGRAFIA

Internet Sites

1. http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/home.htm
2. <http://www.ceditec.etsit.upm.es>
3. http://iaci.unq.edu.ar/materias/Inst_avanz/web/Apuntes.html
4. <http://www.ambiental.net/>
5. <http://www.datasense.com.ar/>
6. <http://www.cartif.es/mantenimiento/automatas.html>
7. http://www.control.com/control_com
8. <http://www.dicat.csic.es/rdcsic/rdcsicesp.htm>
9. <http://www.directindustry.com/>
10. <http://www.zigbee.org>
11. <http://www.efalcom.com/scada.html>
12. <http://www.eie.ucr.ac.cr/html/pd/alfaro/monografias.htm>
13. <http://www.intellicontrols.com/Prod03-x102.htm>
14. <http://www.inti.gov.ar/citei/cyted/index.htm>
15. <http://www.isa.uniovi.es/~felipe/infindII%20documentacion.htm>

Títulos y Autores

1. **Viabilidad del riego por aspersión en la sierra del Perú.**
Programa Intercambio de experiencias de riego por aspersión en zonas de sierra del Perú.
Instituto de Promoción para la Gestión del Agua (IPROGA), publicación - Marzo 2001.
2. **Los sistemas de riego.**
Megh R. Goyal PhD, Kenneth H. Solomon, Hernán Ruiz Giraldo y Miguel A. Lugo López - Universidad de Puerto Rico.
3. **Principios y aplicaciones del riego.**
Israelson, O. W. y V. E. Hansen, 1965- Editorial Reverte, S.A. Barcelona-Madrid.

- 4. Selección del sistema de irrigación.**
Solomón, K. H., 1988. Publ. Núm. 880702 – Instituto de Tecnología Agrícola de California, Fresno-CA. Páginas 1-11.
- 5. Atlas de Heladas**
Convenio de cooperación técnica interinstitucional Senamhi- Minag
Dirección General de información agraria. Lima- Perú, 2005.
- 6. Evaluación experimental de algoritmos de control de canales de riego. Agro-ciencia, julio-agosto 2003**
México-Víctor Ruiz Carmona/Adolfo Exebio García/Enrique Mejía Sáenz.
- 7. Automatización Medioambiental.** Aplicación de la automatización industrial y el control de procesos, en la protección y conservación del medioambiente.
Henry Antonio Mendiburu Díaz, Perú-Mayo 2003.
- 8. Automatización del grupo de bombeo en una instalación de riego por aspersión.**
Carrión, P., Sánchez, C., Ortega, J. F., Molina, E. y Montero, J.
XVI Congreso Nacional de Riegos, Palma de Mallorca - España, Junio 1998.
- 9. Automatización del bombeo en una instalación de riego por goteo.**
Carrión P., Sánchez C., Ortega J., Calvo M. A., Montero J. y Tarajuelo J. M.
Simposio II “El agua y sus usos agrarios”, Albacete – España, Setiembre 1998.
- 10. Tecnologías de la información y de comunicaciones en la agricultura.**
Ana B. Bermejo Nieto y Juan M. Meneses Chaus.
Centro de Difusión de Tecnologías, Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
Con la colaboración de José R. Casar Corredera, José M. Durán Altisent y Pedro Urbano Terrón de la Universidad Politécnica de Madrid.
- 11. Sistemas SCADA.**
Ramagosa J., Gallego D., Pacheco R.
Universidad Politécnica de Cataluña - Automatización industrial (AUTI) 2004.
- 12. Sistema de control distribuido con supervisión centralizada para el sistema de riego de Güira de Melena.**
Sergio Pérez P.
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE).
Departamento de Automática y Computación, La Habana - Cuba, Febrero 2000.
- 13. Red de sensores inalámbricos para monitorización de terrenos mediante tecnología IEEE 802.15.4.**
Abraham Menéndez, Juan Pérez, José Pelegri.
Universidad Politécnica de Valencia - España 2006.
- 14. Redes de sensores inalámbricos**
Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial.
Niels Aakvaag, Jan-Erik Frey, ABB Corporate Research, Noruega./ABB Automation Technologies, Sweden.
- 15. Proyecto de tesis doctoral: Protocolo de enrutamiento para WSN.**
Erica Cecilia Ruiz Ibarra, CICASE Ensenada B. C. – México, Agosto 2006.

ANEXOS

ANEXO A
TÓPICOS CON INFORMACION COMPLEMENTARIA

ANEXO A.1

HELADAS

ANEXO A.2

STANDARD ZIGBEE

ANEXO A.3

WATER DISTRIBUTION - CONTROL SYSTEMS

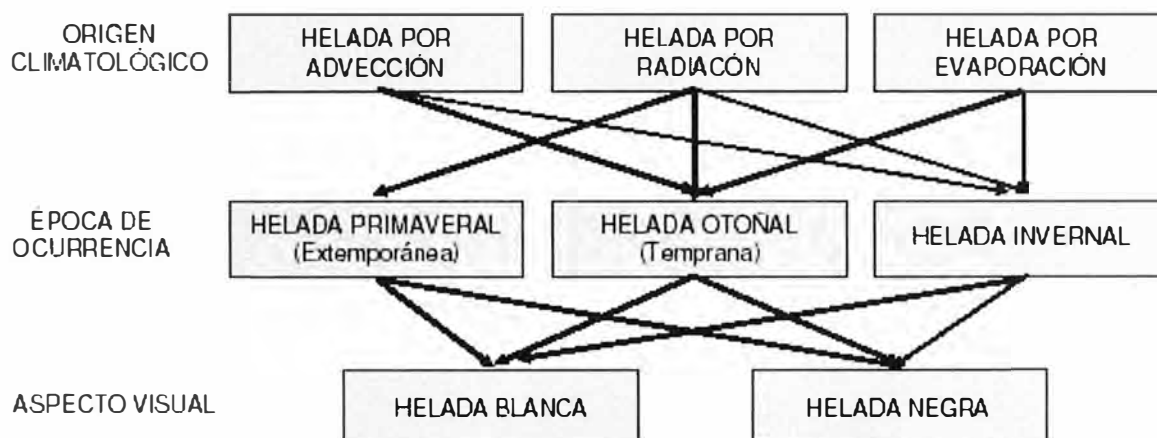
ANEXO A.1

HELADAS

Clasificación de las Heladas

Según Camargo, 1993, citado por Pereyra et. al. (2002) y Matías Ramírez et. al. 2001), las heladas se pueden agrupar desde los puntos de vista de origen climatológico, época de ocurrencia o aspecto visual. Algunas de las categorías se relacionan entre sí, por ejemplo una helada por radiación puede ocurrir en la estación primaveral, otoñal o invernal, etc. (Ver Fig. A.1).

Figura A.1 Tipos de heladas (Matías Ramírez, 2001)



Por su Génesis.

Helada de Advección de Viento Frío:

Son aquellas provocadas por la ocurrencia de vientos fuertes, constantes, con temperaturas muy bajas por muchas horas seguidas. El aire frío reseca el follaje causando su muerte. Por lo tanto, los vientos son los causantes de los daños a las plantas. La helada de advección se puede presentar en cualquier hora del día, con independencia del estado del cielo. Tiene su origen en una invasión de aire frío, con una temperatura inferior al punto de congelación. Suelen afectar a amplias zonas y por sus características los métodos de lucha contra este tipo de helada acostumbran a ser ineficaces (Eliás Castillo, 2001).

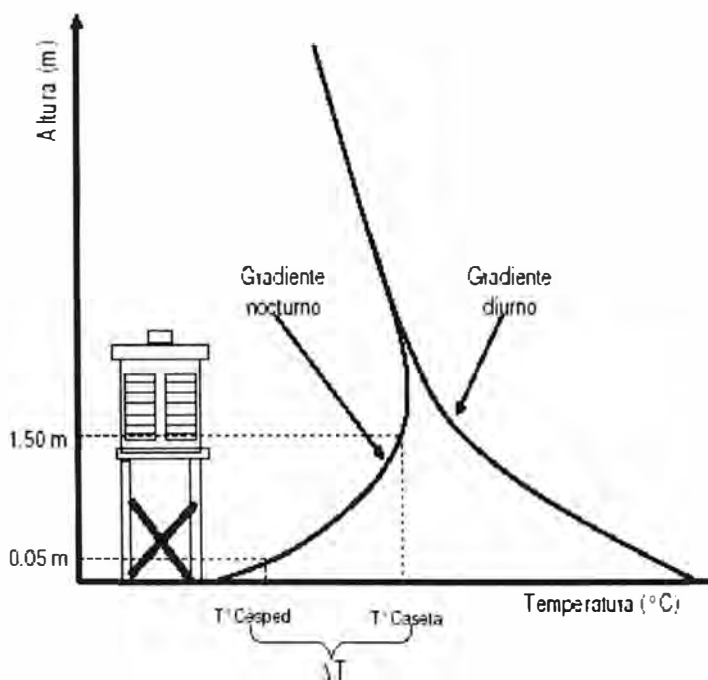
Helada de Radiación:

Ocurre cuando hay enfriamiento intenso de la superficie, que pierde energía durante las noches con cielo despejado, sin viento, y con dominio de un anticiclón estacionario de

alta presión (masa polar de aire frío), con baja concentración de vapor de agua (seca). Una pérdida radiativa de la superficie hace que el aire adyacente a ella también se enfríe. Luego, el agente causador es la pérdida radiativa intensa.

Esa situación ocurre frecuentemente en regiones de clima árido, en que la falta de vapor de agua atmosférico reduce el efecto de estufa local. Durante el día, la temperatura en la superficie se mantiene encima del punto de congelamiento. Por eso, y por el suelo, durante la noche, la pérdida de energía de la superficie por emisión de radiación de onda larga (ley de Stefan-Boltzmann) se acentúa, provocando una caída rápida de la temperatura del aire próximo a la superficie, resultando en lo que se denomina inversión térmica (Fig. A.2), o sea, la temperatura aumenta con la altura, en los primeros metros, en lugar de disminuir (situación normal).

Figura A.2 Gradiente térmico diurno y nocturno en noche de helada, indicando inversión térmica, temperatura en caseta meteorológica (T° caseta), temperatura en el césped (T° césped), y diferencia de temperatura entre ambas (ΔT).



Helada de Evaporación

Se produce al evaporarse el agua depositada sobre las plantas, con el consiguiente enfriamiento al ser absorbido del aire el calor latente necesario para la evaporación. Si después de una precipitación descende la humedad relativa del aire, lo que es frecuente después del paso de un frente frío, el agua que recubre los vegetales se evapora rápidamente. La intensidad de estas heladas depende de la cantidad de agua que se evapora, de la temperatura del aire y de la humedad relativa (Elías Castillo, 2001). Los términos heladas de "radiación" y "advección" resultan ser algo arbitrario.

El aire fresco, claro, seco, transportado por el viento a una región, fija la etapa para la radiación de calor sin obstáculo desde el suelo y la planta. Los procesos radiativos contribuyen al intercambio de calor durante una helada de advección. La pérdida considerable de calor es debido a la conducción de la energía hacia el aire frío y su transporte subsiguiente (Rosemberg, 1962).

Por la época que ocurren.

De acuerdo con la estación del año en que se presentan, se tienen tres clases de heladas (Matías Ramírez, 2001):

Heladas Primaverales:

Este tipo de helada afecta principalmente a los cultivos de ciclo anual (como el maíz) cuando se encuentran en la etapa de brotación de ramas o con pocos días de crecimiento. Se presentan cuando en el ambiente se genera un descenso de temperatura.

Heladas Otoñales:

También llamadas heladas tempranas, son perjudiciales para los cultivos porque pueden interrumpir bruscamente el proceso de formación de botones de las flores y la maduración de frutos. A estas heladas se le atribuye la reducción de la producción agrícola de una región.

Se forman por la llegada de las primeras masas de aire frío de origen polar sobre el país durante los meses de marzo y abril.

Heladas Invernales:

Se forman durante el invierno si la temperatura ambiente disminuye notablemente. Estas heladas afectan principalmente a los árboles perennes con frutos y especies forestales, especialmente cuando se hace más intenso el frío. Ellas ocurren cuando las plantas se encuentran en periodo de reposo, lapso en el que las plantas disponen de mayores posibilidades de soportar bajas temperaturas.

Por su Aspecto Visual.

Atendiendo a la apariencia de los cultivos expuestos a las bajas temperaturas del aire se tienen dos tipos de heladas: la blanca y la negra. El contenido de humedad en las masas de aire determina estos tipos de heladas.

Helada Negra

Ocurre cuando una atmósfera tiene baja concentración de vapor de agua y una pérdida radiativa intensa, causando enfriamiento acentuado de la vegetación, llegando a la

temperatura letal. En función de baja lectura de humedad de aire, no hay deposición de hielo por falta de agua. Este tipo de helada es el más severo, pues una baja humedad del aire permite la ocurrencia de temperaturas bastante menores.

Helada Blanca

Ocurre cuando un intenso enfriamiento nocturno produce condensación de vapor de agua y su congelamiento sobre las plantas. En ese caso, una concentración de vapor de agua en la atmósfera adyacente a la superficie es más elevada que una helada negra. Cuando se tiene más humedad en el aire, primero ocurre una condensación con liberación de calor latente, hecho que ayuda a reducir la caída de la temperatura.

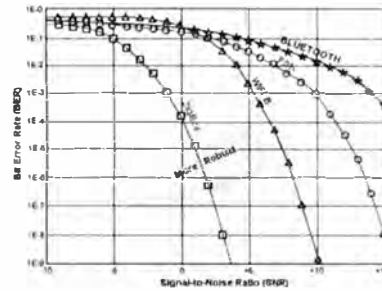
Por lo tanto, una helada blanca es menos severa que una negra.

ANEXO A.2



ZIGBEE 802.15.4

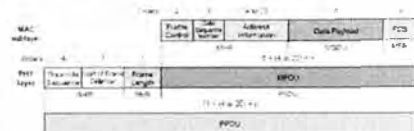
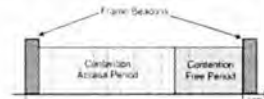
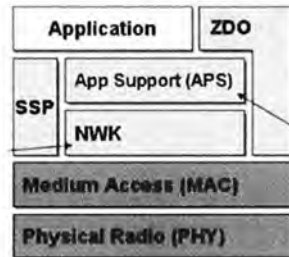
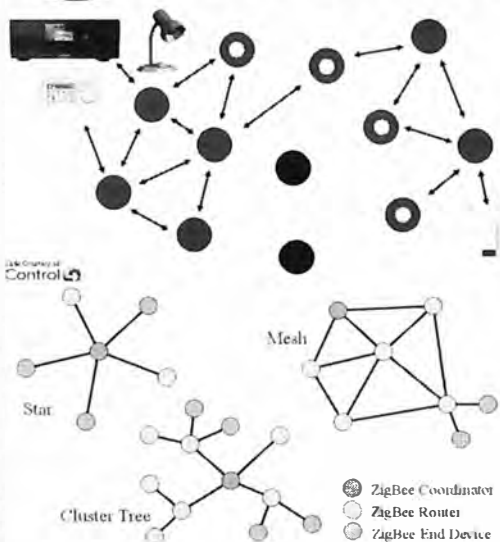
Características	Bluetooth	Zigbee
Precio	\$ 6	\$4 a \$2
No. Nodos	7	65535
Coertura	< 10m	< 70m
Seguridad	64 bit, 128 bit	AES de 128 bit y definidas por el usuario a nivel de aplicación
Bateria	días	años
Complejidad	complejo	simple
Velocidad	1 a 2Mbps	250Kbps
Datos	Audio, Video, Texto	texto pequeño



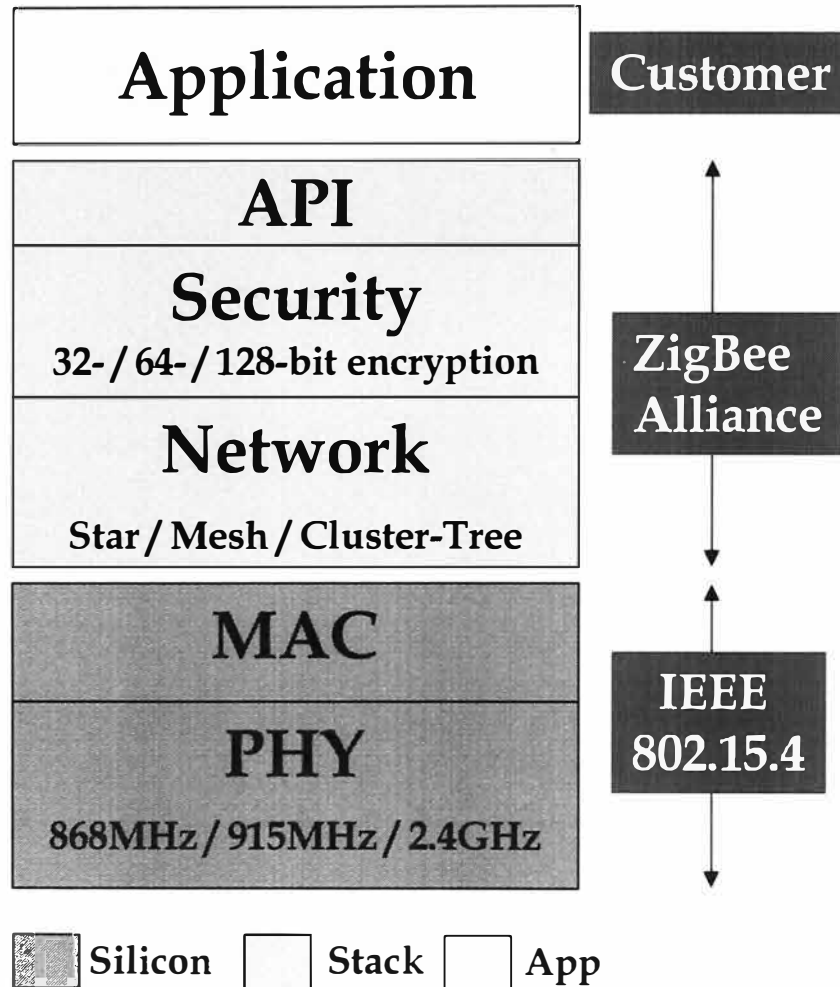
Frequency Band	License Required?	Geographic Region	Data Rate	Channel Number(s)
868.3 MHz	No	Europe	20kbps	0
902-928 MHz	No	Americas	40kbps	1-10
2405-2480 MHz	No	Worldwide	250kbps	11-26



ZIGBEE 802.15.4



IEEE 802.15.4 & ZigBee In Context



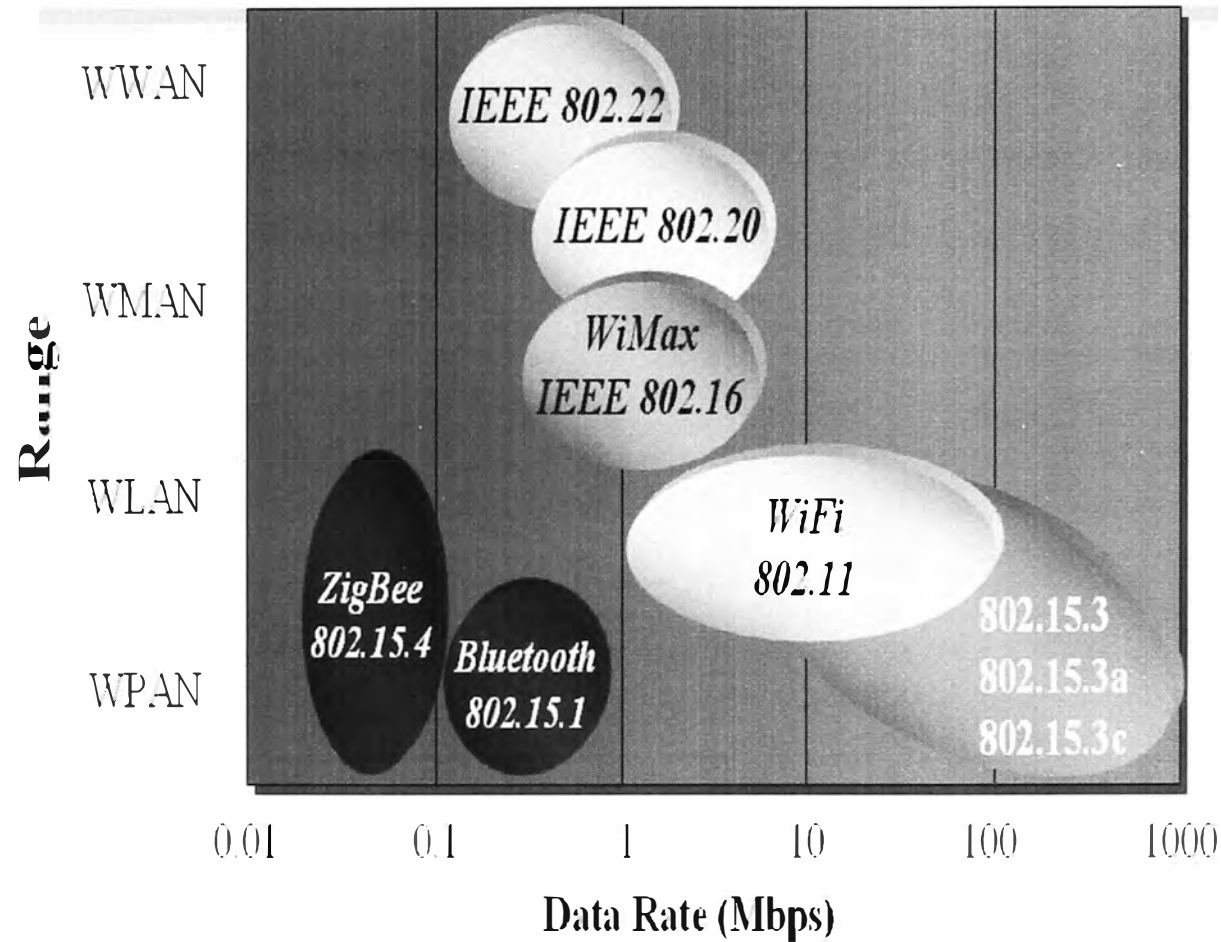
ZigBee Alliance

- Network, Security & Application layers
- Brand management

IEEE 802.15.4

- “the hardware”
- Physical & Media Access Control layers

The 802 Wireless Space



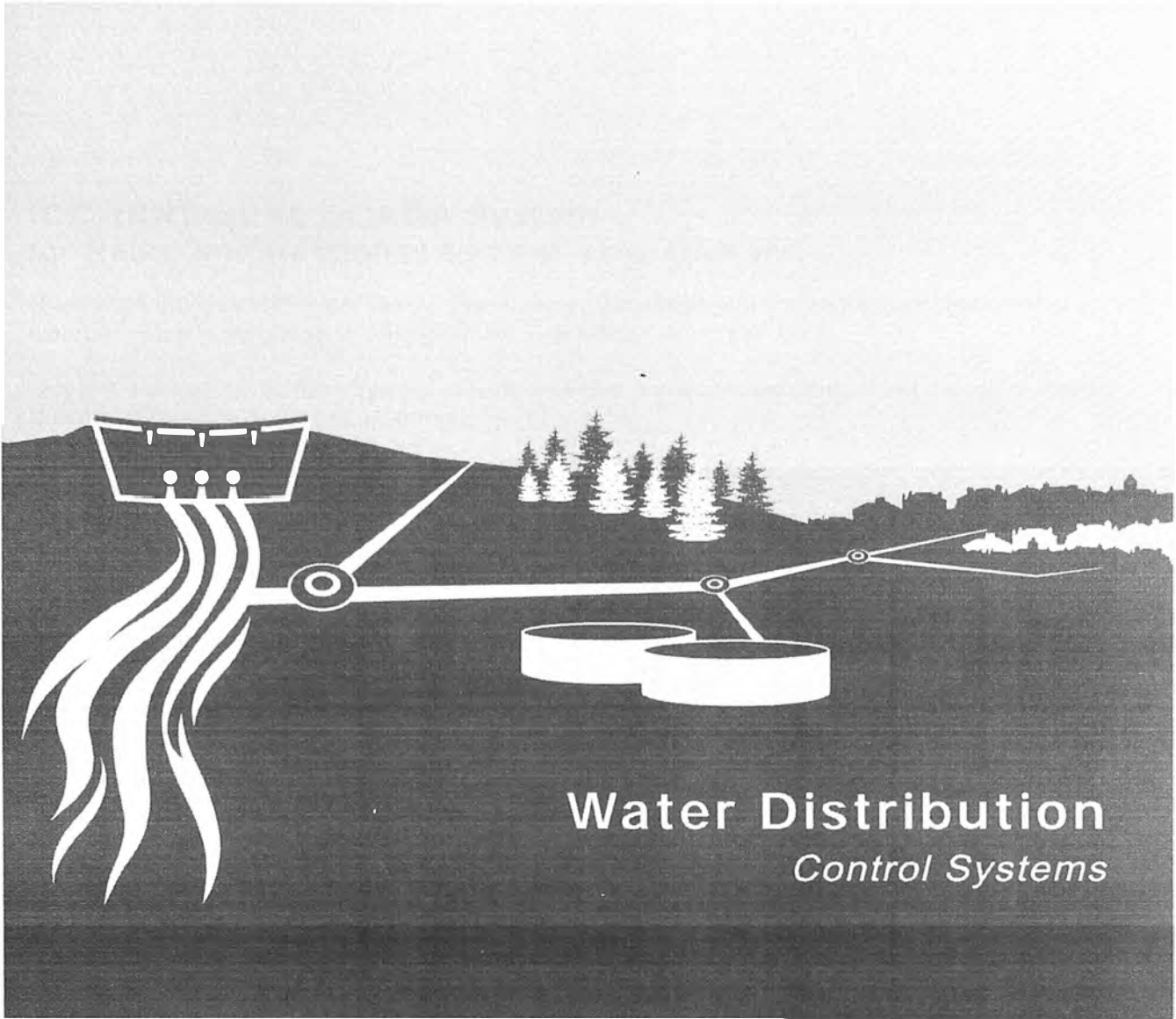
Source: <http://www.zigbee.org/en/resources/>

ZigBee and Other Wireless Technologies

Market Name	ZigBee™	---	Wi-Fi™	Bluetooth™
Standard	802.15.4	GSM/GPRS CDMA/1xRTT	802.11b	802.15.1
Application Focus	Monitoring & Control	Wide Area Voice & Data	Web, Email, Video	Cable Replacement
System Resources	4KB - 32KB	16MB+	1MB+	250KB+
Battery Life (days)	100 - 1,000+	1-7	.5 - 5	1 - 7
Network Size	Unlimited (2 ⁶⁴)	1	32	7
Bandwidth (KB/s)	20 - 250	64 - 128+	11,000+	720
Transmission Range (meters)	1 - 100+	1,000+	1 - 100	1 - 10+
Success Metrics	Reliability, Power, Cost	Reach, Quality	Speed, Flexibility	Cost, Convenience

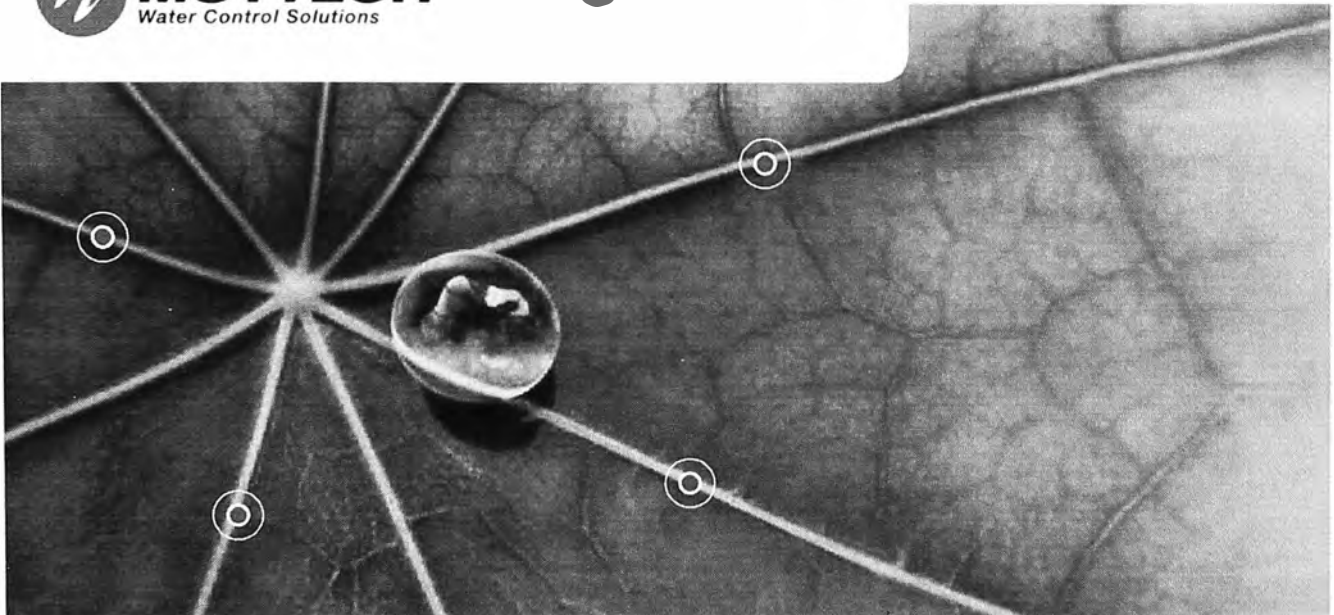
Source: <http://www.zigbee.org/en/about/faq.asp>

ANEXO A.3



Water Distribution

Control Systems



ICC-IRRInet XL SCADA System for Real-Time Response to Real-Time Demand

Now municipalities and water corporations can automatically control and synchronize multiple water sources in response to changing water demands — in real-time!

The ICC-IRRInet XL SCADA System provides reliable constant flow control and instant response to water demands, leakages, or bursts.

The ICC-IRRInet XL Control Center, based on Motorola's Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) System, offers the best value for money, and a total system solution for rural water distribution projects. The enhanced ICC-IRRInet XL SCADA system enables municipalities and water distribution corporations to remotely and automatically monitor and control comprehensive rural water distribution systems, from small schemes to large scale schemes.

The SCADA system is comprised of Motorola ICC software as a water distribution platform, office and field controllers, field units, and a reliable two-way radio communication system.

Now Constant Flow Control Is Just One Click Away!

The ICC-IRRInet XL SCADA system is an advanced, computerized water distribution control system that enables centralized, professional management of water distribution lines, data and analysis, and multiple in-depth report generation.



The ICC-IRRInet XL Monitoring and Control System enables you to —

- Provide a constant flow of water to reservoirs and buffer pools
- Obtain accurate, reliable, and relevant data from multiple remote sites and field equipment at a main control center
- Automatically control the water production process and water distribution schemes according to changing demands
- Maintain fixed pressure in the distribution pipelines regardless of flow rates
- Obtain up-to-date accumulated reports at the main control center
- Send immediate alarms and alerts when irregularities in water quality or flow rates occur, and in the event of electro-mechanical or hydraulic failures / leakages

In addition, the ICC-IRRInet XL SCADA System — **Improves** —

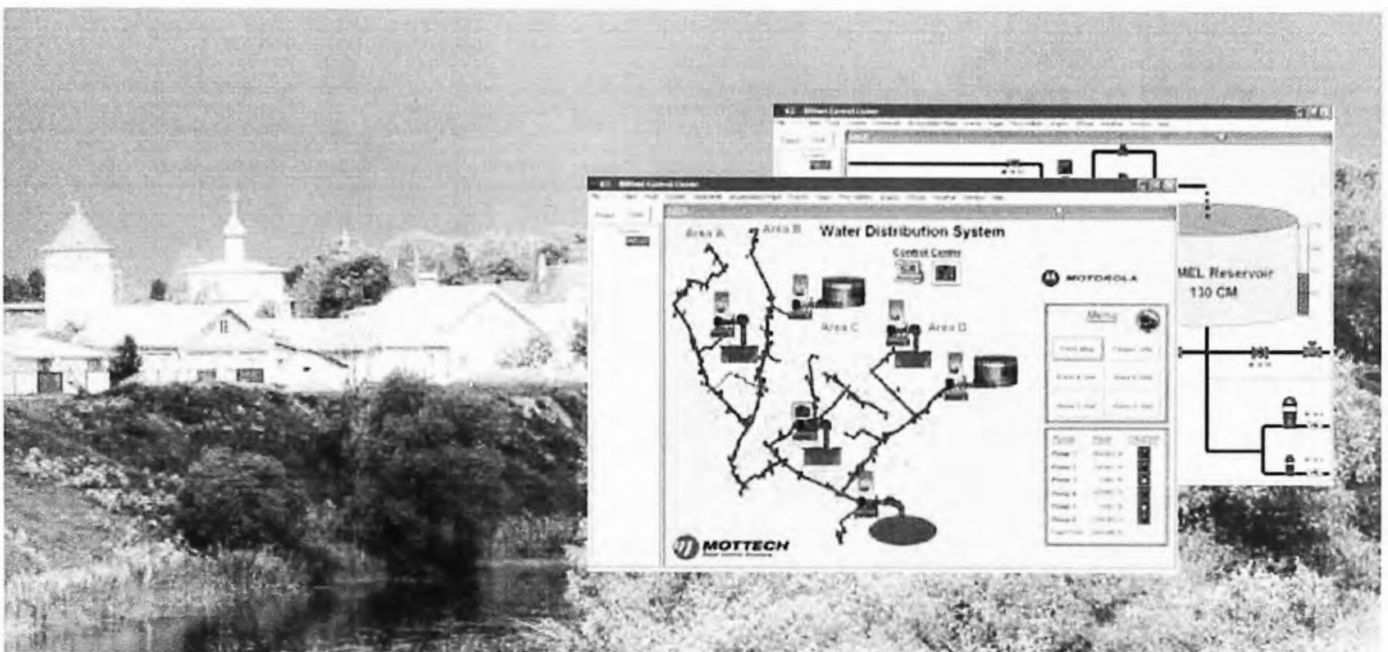
- Managerial and operational decisions
- Quality of service to consumers
- Efficient maintenance
- Water management capabilities

Reduces —

- Response time to water leaks and system faults
- Water loss
- Energy consumption
- Pressure in the main pipes
- Maintenance and labor costs
- Communication infrastructure costs to zero through reliable two-way wireless communication
- Operating costs

ICC SCADA Software Complete System Control and Monitoring at Your Fingertips

ICC software provides reliable, centralized remote monitoring and control of all the data in the rural water distribution system, with rapid detection of water leakages and equipment failures. The cellular communication system enables monitoring and control of the system's key features via mobile phone, PDA, or remote PC.



Efficient — Provide real-time alerts via SMS and system alarms to control center

- Pump, booster, and power supply failures
- Pressure changes
- High and low flow rates
- Water level and water quality (PH, EC, etc)
- Remote diagnostics of system components, remote terminal units, and radio signals

Professional — Complete control over the water distribution system

- Unlimited automatic scheduling ahead of time — enables complex planning of water programs according to preset conditions
- Monitor high and low flow — enables rapid reaction to changes in demand
- Fully compatible with the two-way Cellular Alert and Control System (ABW)

Planning — Instant access to information

- Detailed analysis of historical trends and reports — enables accurate forecasting and planning
- Tracks accumulated water supply, pressure, flow rate, level, quality; proper operation of pumps and valves; and overall power consumption per pump
- Access via remote terminals such as handheld devices and mobile phones

Delivers Savings — Efficient budget and resource management

- The Tariff / Time (TATI) system automatically fills reservoirs when the energy cost per hour is lowest
- Automatic system operates without constant human intervention
- Remote equipment diagnosis and online status reporting enables field attention to malfunctioning elements

IRRInet XL Solution

IRRInet XL automatically monitors and controls comprehensive water distribution systems: Effectively monitoring water meters, flow gauges and pressure gauges for dynamic water pressure, level of reservoirs, flow in pipes and canals, water quality, air temperature, and humidity.

Reliable, Smart, Accurate, and Automated Monitoring and Control

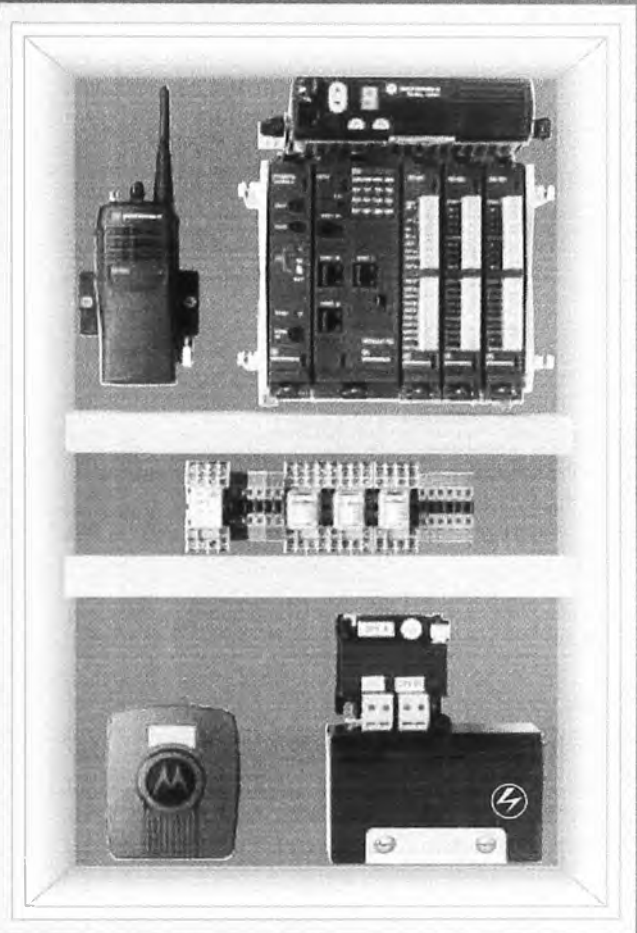
Monitors

- Water flow
- Water level
- Water pressure
- Water quality
- Wind and air temperature
- Industrial PLCs

Controls

- Water sources, wells, reservoirs, and main hydraulic valves
- Pumps and boosters
- Hydraulic valves
- Filter
- Water flow and pressure
- Industrial PLCs

IRRInet XL ensures flexible deployment and programmability of all field remote terminal units (RTUs). In case of temporary communication failure, IRRInet XL automatically continues to locally monitor and control its end terminals, thereby ensuring a constant and reliable flow of water.

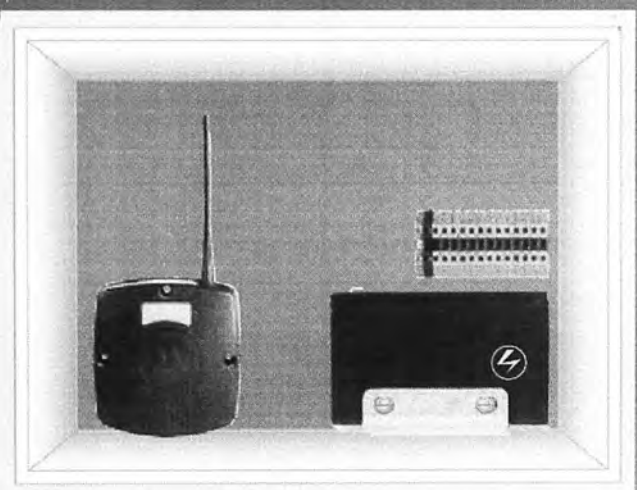


Piccolo XR Solution

The Piccolo XR Remote Terminal Unit (RTU) is uniquely designed and manufactured to deal with the tough conditions of field units.

Piccolo XR receives data from water meters, hydraulic valves, pumps, filters, sensors, and more, and transmits the data to the IRRInet XL via a dedicated Piccolo Interface Unit (PIU) radio.

- Two-way communication — enables constant flow of data
- Engineered for outdoor use — withstands prolonged exposure to sun, dust, and heavy rain
- Designed for low power consumption applications



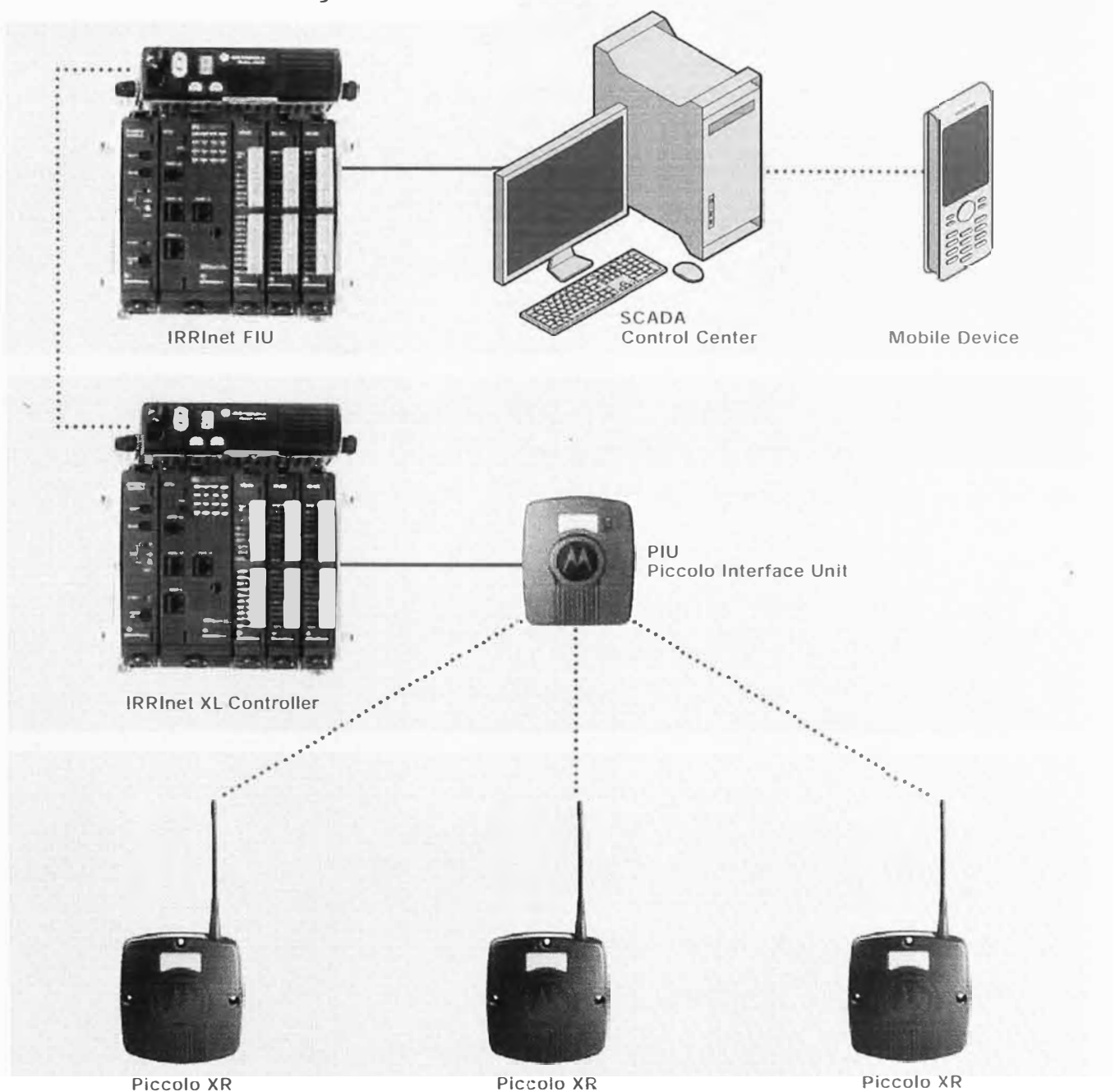
IRRInet XL and Piccolo XR are supplied as fully assembled, comprehensive solutions, including all basic components: Power supply, radios, extension modules, and more. The systems are housed inside tamper-proof compartments, specially designed for long life under harsh environmental conditions. Both the IRRInet XL and Piccolo XR also act as a Store and Forward (S&F) repeater, extending the geographical coverage of the system at minimal cost. Cables and wiring are not shown in this illustration.

The ICC-IRRInet XL system consists of a main PC work station and control center with ICC software, office and field controllers, field terminal units, and a communication system.

Reliable two-way communication between all the system components can be undertaken via a variety of communications options including private radio communication, wireless, landline, cellular, satellite, fiber optic, or the Internet.

The easy to use, modular, and flexible system can expand according to growing needs, enabling monitoring and control over an unlimited number of field RTUs.

The IRRInet XL System



Motorola Israel has an international reputation and more than 30 years of experience in developing, manufacturing, and installing computerized water and irrigation control systems worldwide. In order to maintain its global leadership in the control and communication markets, Motorola constantly develops new products based on a forward-looking strategy coupled with total compatibility with all previous generations. The next generation IRRInet product line, including IRRInet M and IRRInet ACE, will be available during 2008.

Motorola operates to the highest standards including quality (ISO9001:2000), health and safety (OHSAS 18001), and environmental management (ISO 14001:2004) standards. Motorola has received numerous awards including the Malcolm Baldrige National Quality and Israeli Telecommunication Awards in 2002 and the US National Medal of Technology in 2005.

General Technical Specifications

IRRInet XL

Hardware — Modules

Up to 3 modules per unit
 AC module – 2 Inputs, 14 outputs
 DC module – 8 inputs, 8 outputs (latch)
 AI module – 6 inputs (analog)
 Mixed module – 24 inputs, 8 outputs
 DI module – 16 dry contacts / voltage inputs
 SC module – up to 63 Piccolo RTU's (wire)

Software — Features and Capacity

500 inputs (water meters, sensors, etc)
 500 outputs (valves, pumps, etc)
 250 main water distribution lines
 400 programs
 100 dosing pumps
 100 filter back flush operation
 100 analog inputs
 100 analog outputs

Power Options

External 117/230V AC, 12V DC

Communication Methods

Two-way radio UHF / VHF
 GSM GPRS – cellular
 IP communication
 Landlines
 Dial-up

Communication Ports

RS232 and RS485
 MODBUS protocol

Ambient Temperature

-30°C to + 60°C (-22°F to + 140°F)

Supports Store & Forward (S&F) communication and data repeater

IRRInet XL is also ideally suited for standalone automation.

Piccolo XR

I/O Options

1 input, 1 output
 2 inputs, 2 outputs
 4 inputs, 4 outputs
 7 inputs, 1 output

Communication methods

Two-way radio UHF / VHF

Supports Store & Forward (S&F) communication and data repeater (D&R)

Power

External 6V DC battery

Ambient Temperature

-30°C to + 60°C (-22°F to + 140° F)

Mottech Water Management LTD.

Kibbutz Yakum 60972 Israel

Tel: +972-9-9505597

Fax: +972-9-9505598

Email: mottech@mottech.com

www.mottech.com



are trademarks of Mottech and Motorola Inc.

All company names, logos, trademarks, and registered trademarks are the property of their respective owners.

© 2004 by Motorola Inc.

ANEXO B
MARCO NORMATIVO DEL ESTADO

ANEXO B.1

LEY N° 20585

“LEY QUE CREA EL PROGRAMA DE RIEGO TECNIFICADO”

REGLAMENTO DE LA LEY N° 28585

ANEXO B.1

Ley que crea el programa de riego tecnificado

LEY N° 28585

CONCORDANCIAS. D.S. N° 004-2006-AG (REGLAMENTO)

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

El Congreso de la República

Ha dado la Ley siguiente:

EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

Ha dado la Ley siguiente:

LEY QUE CREA EL PROGRAMA DE RIEGO TECNIFICADO

Artículo 1.- Objeto de la Ley

Declárase de necesidad y utilidad pública la creación del Programa de Riego Tecnificado que promocióne el reemplazo progresivo de los sistemas de riego tradicionales en el sector agrícola en general.

Artículo 2.- Organismos responsables

Los Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales son responsables de planificar y promover la ejecución del Programa de Riego Tecnificado en su jurisdicción, coordinando con las organizaciones agrarias de riego y otras.

Los Gobiernos Regionales y Locales gestionarán los recursos provenientes del financiamiento externo, interno y otros para atender la aplicación del Programa de Riego Tecnificado. La Agencia Peruana de Cooperación Internacional priorizará este tipo de proyectos orientados a captar la cooperación de agentes internacionales.

El Gobierno Nacional avala las operaciones de financiamiento externo o interno que gestionen los Gobiernos Regionales para la implementación y ejecución de lo dispuesto en la presente Ley, conforme lo establecido en el artículo 74 de la Ley N° 27867, Ley Orgánica de Gobiernos Regionales, y demás normas vigentes.

Artículo 3.- Apoyo técnico

Para la implementación de la presente Ley, a solicitud de los Gobiernos Regionales y Locales, el Ministerio de Agricultura proporcionará el apoyo técnico necesario.

Artículo 4.- Normatividad y aplicación de la Ley

El Gobierno Nacional normará por intermedio del Ministerio de Agricultura lo dispuesto en la presente Ley.

Los Gobiernos Regionales dictarán las medidas necesarias para su aplicación en sus jurisdicciones.

DISPOSICIÓN TRANSITORIA ÚNICA.- Autorización para la ejecución del Crédito FAD Español

Autorízase la ejecución del Crédito “Fondo de Ayuda al Desarrollo (FAD - Español) para implementar lo dispuesto en el artículo 1 de la presente Ley otorgándole facultades al Poder Ejecutivo para concertar dicho crédito y ejecutar las acciones en aplicación de la presente Ley.

Comuníquese al señor Presidente de la República para su promulgación.

En Lima, a los veintisiete días del mes de junio de dos mil cinco.

ÁNTERO FLORES-ARAOZ E.
Presidente del Congreso de la República

NATALE AMPRIMO PLÁ
Primer Vicepresidente del Congreso de la República

AL SEÑOR PRESIDENTE CONSTITUCIONAL DE LA REPÚBLICA

POR TANTO:

Mando se publique y cumpla.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los diecinueve días del mes de julio del año dos mil cinco.

ALEJANDRO TOLEDO
Presidente Constitucional de la República

CARLOS FERRERO
Presidente del Consejo de Ministros

**REGLAMENTO DE LA LEY N° 28585
LEY QUE CREA EL PROGRAMA DE RIEGO TECNIFICADO**

**TÍTULO PRIMERO
GENERALIDADES**

Artículo 1°.- Objeto

El presente reglamento tiene por objeto normar las iniciativas del sector público en materia de riego tecnificado; así como la creación y funcionamiento del Programa de Riego Tecnificado.

Artículo 2°.- Alcances

El alcance del presente reglamento es para toda iniciativa del sector público en materia de riego tecnificado, en sus diferentes niveles tanto nacional, regional y local, incluido el Programa de Riego Tecnificado.

Artículo 3°.- Glosario.

Para efectos del presente reglamento, se considerarán las siguientes definiciones:

- a) Aporte: parte del financiamiento del proyecto que se encuentra a cargo de los beneficiarios.
- b) Beneficiario: Productor agrario u organización agraria seleccionados bajo los alcances del presente reglamento.
- c) Concurso: procedimiento público que permite la selección competitiva por calificación clara y transparente, de propuestas para la ejecución de proyectos de riego tecnificado, presentados por los productores u organizaciones agrarias.
- d) Crédito: línea de crédito denominada producto financiero estandarizado que opera el COFIDE.
- e) Ente Rector: Órgano o entidad del sector público agrario que posee competencia nacional y se constituye en la máxima autoridad funcional en materia de Tecnificación de Riego.
- f) Incentivo de Riego Tecnificado: prestación de carácter económica y gratuita a cargo del Estado sujeta a modo o cargo, para la ejecución de proyectos de riego tecnificado.
- g) Ley: Ley N° 28585, Ley que crea el Programa de Riego Tecnificado.
- h) Organización Agraria: Todo ente asociativo de productores agrarios sin carácter societario.
- i) Política de Riego: documento "*Políticas y Estrategia Nacional de Riego en el Perú*", aprobado mediante Resolución Ministerial N° 0498-2003-AG
- j) Programa: Programa de Riego Tecnificado.
- k) Proyecto: estudio de preinversión, elaborado por los productores u organizaciones agrarias para participar en los concursos.
- l) UIT: Unidad Impositiva Tributaria.
- m) SNIP: Sistema Nacional de Inversión Pública.
- n) Tecnificación de Riego: tecnologías aplicadas para el riego de cultivos que permiten optimizar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos.

TÍTULO SEGUNDO DE LAS INICIATIVAS DEL SECTOR PÚBLICO EN MATERIA DE RIEGO TECNIFICADO

CAPÍTULO I LINEAMIENTOS GENERALES

Artículo 4º.- Principios

En la formulación de las iniciativas del sector público en materia de riego tecnificado, se considerarán los siguientes principios:

- a) Instalación de sistemas de riego que permitan el uso racional y eficiente del agua para incrementar la productividad agrícola.
- b) Uso de procedimientos públicos, transparentes y competitivos para la asignación de recursos públicos.
- c) Otorgar incentivos de riego tecnificado a cargo del Estado.
- d) Fomentar la difusión y adopción de cambios tecnológicos sostenibles para incrementar la eficiencia del aprovechamiento del agua de riego y uso de los suelos.
- e) Promover el fortalecimiento institucional, asistencia técnica y financiera, concertados por las organizaciones locales y la inversión privada, para lograr la gestión eficiente del agua de riego.
- f) Asegurar la ejecución de proyectos de tecnificación de riego, que tengan viabilidad económica, social y ambiental, de acuerdo al SNIP y la Política de Riego.
- g) Asignación de incentivos de riego tecnificado mediante concursos públicos.
- h) Promover la ejecución de proyectos de riego tecnificado, mediante la aplicación de incentivos de riego tecnificado económicos y líneas de créditos especiales que ofrezca el Estado.
- i) Promover la competitividad.

Artículo 5º.- Estrategia de Intervención.

La estrategia de intervención en las iniciativas del sector público en materia de riego tecnificado, se basa en los siguientes ejes de acción:

- a) Incentivos de riego tecnificado que se otorgan a través de concursos.
- b) Créditos a través de Fondos Especiales o Fideicomisos (dirigido a la mediana y gran agricultura).
- c) Operaciones de financiamiento externo o interno, efectuadas de acuerdo a las normas vigentes y para proyectos que cumplan con lo establecido en el presente reglamento.
- d) Promoción de la conformación de cadenas productivas y planes de negocio entre los productores, asociados a la tecnificación del riego, a la productividad y la agro-exportación.
- e) Acciones de capacitación y asistencia técnica.
- f) Coberturas de Financiamiento, a través de fondos en fideicomiso para el financiamiento del aporte complementario a los incentivos de riego tecnificado.

CAPÍTULO III DE LOS BENEFICIARIOS

Artículo 8°.- Requisitos.

Para ser beneficiario, se debe cumplir obligatoriamente con los siguientes requisitos:

- a) Ser propietario del predio.
- b) Tener regularizado su situación de tenencia de la tierra y derecho de agua.
- c) No haber recibido incentivos de riego tecnificado anteriores para proyectos de riego tecnificado.
- d) No tener aportes o participación del Estado, en el caso de organizaciones agrarias.
- e) Otros que se establezcan en las bases del concurso o por el Ente Rector.

Artículo 9°.- Obligaciones.

Cada beneficiario está obligado a:

- a) Realizar su aporte económico de acuerdo al proyecto respectivo.
- b) Cumplir con los objetivos y compromisos establecidos en el proyecto, así como con las especificaciones técnicas y diseño contemplados en el expediente técnico aprobado.
- c) Permitir las labores de supervisión durante la ejecución del proyecto y por un período no menor de 5 años, durante la operación del mismo, por parte del Ente Rector, el Gobierno Regional o Local o las entidades públicas respectivas, según sea el caso, o de terceros, debidamente autorizados por éstos.
- d) Responsabilizarse de los daños propios o de terceros, robos o pérdidas, que ocurran en su sistema de riego tecnificado y reparar o reponer las partes a la mayor brevedad y asumir el pago de indemnizaciones que correspondan.
- e) Realizar el mantenimiento de los equipos y componentes del sistema de riego, según lo recomendado por el fabricante o proveedor.
- f) Otras que sean establecidas por el Ente Rector o en las bases de los concursos.
- g) Cumplir con las obligaciones asumidas con el sistema financiero correspondiente al financiamiento, cubierto por el Programa de Riego Tecnificado, del aporte del beneficiario.

CAPITULO IV DE LOS PROYECTOS

Artículo 10°.- Área de un Proyecto

Los proyectos que se presenten a concursos públicos para el otorgamiento de incentivos de riego tecnificado, deberán contar con una extensión mayor a las 5 hectáreas y no poseer la condición de tierras eriazas.

Artículo 11°.- Elaboración de proyectos

Los proyectos deberán ser elaborados de acuerdo a las normas y parámetros del SNIP y conforme a las bases de los concursos.

CAPÍTULO III DE LOS BENEFICIARIOS

Artículo 8°.- Requisitos.

Para ser beneficiario, se debe cumplir obligatoriamente con los siguientes requisitos:

- a) Ser propietario del predio.
- b) Tener regularizado su situación de tenencia de la tierra y derecho de agua.
- c) No haber recibido incentivos de riego tecnificado anteriores para proyectos de riego tecnificado.
- d) No tener aportes o participación del Estado, en el caso de organizaciones agrarias.
- e) Otros que se establezcan en las bases del concurso o por el Ente Rector.

Artículo 9°.- Obligaciones.

Cada beneficiario está obligado a:

- a) Realizar su aporte económico de acuerdo al proyecto respectivo.
- b) Cumplir con los objetivos y compromisos establecidos en el proyecto, así como con las especificaciones técnicas y diseño contemplados en el expediente técnico aprobado.
- c) Permitir las labores de supervisión durante la ejecución del proyecto y por un período no menor de 5 años, durante la operación del mismo, por parte del Ente Rector, el Gobierno Regional o Local o las entidades públicas respectivas, según sea el caso, o de terceros, debidamente autorizados por éstos.
- d) Responsabilizarse de los daños propios o de terceros, robos o pérdidas, que ocurran en su sistema de riego tecnificado y reparar o reponer las partes a la mayor brevedad y asumir el pago de indemnizaciones que correspondan.
- e) Realizar el mantenimiento de los equipos y componentes del sistema de riego, según lo recomendado por el fabricante o proveedor.
- f) Otras que sean establecidas por el Ente Rector o en las bases de los concursos.
- g) Cumplir con las obligaciones asumidas con el sistema financiero correspondiente al financiamiento, cubierto por el Programa de Riego Tecnificado, del aporte del beneficiario.

CAPITULO IV DE LOS PROYECTOS

Artículo 10°.- Área de un Proyecto

Los proyectos que se presenten a concursos públicos para el otorgamiento de incentivos de riego tecnificado, deberán contar con una extensión mayor a las 5 hectáreas y no poseer la condición de tierras eriazas.

Artículo 11°.- Elaboración de proyectos

Los proyectos deberán ser elaborados de acuerdo a las normas y parámetros del SNIP y conforme a las bases de los concursos.

Artículo 12°.- Criterios de exclusión de proyectos

No se considerarán aquellos proyectos:

- a) Cuyo costo de inversión en riego tecnificado exceda a las Doscientos Cincuenta (250) UIT (Unidad Impositiva Tributaria).
- b) Cuyo costo unitario de inversión por hectárea, exceda a: (i) Tres (3) UIT (Unidad Impositiva Tributaria) en los casos de sistemas de riego presurizado y (ii) Uno Punto Cinco (1.5) UIT (Unidad Impositiva Tributaria) en los casos de sistemas de riego tecnificado por gravedad.
- c) Cuyo estudio de preinversión no esté acompañado de su respectivo "Plan de Negocios Concertado".

El Ente Rector podrá modificar estos parámetros mediante Resolución Ministerial respectiva.

Artículo 13°.- Criterios de calificación de proyectos

Los proyectos serán priorizados bajo los siguientes criterios de calificación:

- a) Número de Beneficiarios: preferencia por grupos de agricultores respecto de agricultores individuales.
- b) Aporte: mayor aporte de los beneficiarios en los costos de inversión.
- c) Costo unitario: menor inversión por hectárea.
- d) Rentabilidad: mayor Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN).

Artículo 14°.- Ponderación

La ponderación de cada criterio de calificación se efectúa de la siguiente manera:

Criterio	Ponderación
Número de Beneficiarios	15
Aporte'	40
Costo Unitario	30
Rentabilidad	15

Artículo 15°.- Procedimiento de evaluación y selección de proyectos con financiamiento del ente rector.

El Ente Rector financiará los proyectos sujetándose al siguiente procedimiento:

- a) Aprobará las Bases del concurso nacional y convocará al mismo;
- b) Los Gobiernos Locales y Regionales implementarán, en sus ámbitos territoriales, el concurso nacional.
- c) Los Gobiernos Regionales y Locales, harán una precalificación de los proyectos participantes en sus ámbitos y los someterán al Ente Rector.
- d) El Ente Rector establecerá un orden de méritos de los proyectos precalificados por los Gobiernos Regionales y Locales.

- e) El financiamiento será otorgado hasta donde los recursos establecidos para el concurso alcancen, según el orden de prelación que cada proyecto haya obtenido en el orden de méritos.

Artículo 16°.- Procedimiento de evaluación y selección de proyectos con financiamiento regional o local u otras entidades públicas.

Los Gobiernos Regionales o Locales financiarán los proyectos de acuerdo al siguiente procedimiento:

- a) Convocarán, implementarán y ejecutarán en su respectivo ámbito territorial el concurso, aprobando las bases del mismo, con sujeción a lo establecido en el presente reglamento.
- b) Realizarán la evaluación y selección, estableciendo el orden de méritos de los proyectos presentados en el concurso.
- c) El financiamiento será otorgado hasta donde los recursos establecidos para el concurso alcancen, según el orden de prelación que cada proyecto haya obtenido en el orden de méritos.

Artículo 17°.- Del aporte del beneficiario

El aporte del beneficiario podrá ser con recursos propios o con recursos producto de un financiamiento a través de los Productos Financieros Estandarizados (PFE) que administra COFIDE.

En caso el beneficiario opte por el financiamiento a través del PFE, este financiamiento estará cubierto con recursos del Programa de Riego Tecnificado.

Artículo 18°.- Ejecución

Los proyectos se ejecutarán teniendo en cuenta las siguientes premisas de carácter obligatorio:

- a) Los proyectos serán ejecutados por proveedores/contratistas, según lo establecido en los respectivos expedientes técnicos aprobados.
- b) La selección y contratación del proveedor/contratista para la ejecución de los proyectos estará a cargo de los beneficiarios y de acuerdo al procedimiento establecido en las bases del concurso.
- c) Los contratos de ejecución de las obras de riego tecnificado deben incluir la capacitación y asesoramiento técnico, del proveedor/contratista, en la operación y mantenimiento del sistema, por parte del proveedor/contratista.

**CAPÍTULO V
DE LA ASIGNACIÓN DE LOS INCENTIVOS DE RIEGO TECNIFICADO**

Artículo 19°.- Límites

Los incentivos tendrán los siguientes límites:

CATEGORÍA	TIPO	INCENTIVO MÁXIMO
Por región natural	Costa	50% de la inversión referida a la instalación del riego tecnificado
	Sierra y Selva	80% de la inversión referida a la instalación del riego tecnificado

Artículo 20°.- Monto de Inversión

El monto mínimo de inversión por beneficiario para riego presurizado será de Quince (15) UIT (Unidad Impositiva Tributaria) y para riego por gravedad de Siete Punto Cinco (7.5) UIT (Unidad Impositiva Tributaria). Sobre estos montos se aplicarán los incentivos según región natural.

Artículo 21°.- Financiamiento de los Incentivos de riego tecnificado

Los incentivos son financiados por cada entidad con cargo a los siguientes recursos:

- a) Los provenientes de las fuentes de financiamiento Recursos Ordinarios y Recursos Directamente Recaudados.
- b) Las donaciones y aportes sin contraprestación provenientes de entidades públicas y privadas.
- c) Los obtenidos a través de Operaciones de Endeudamiento Externo. En este caso, será necesario informe favorable del Ente Rector y el Ministerio de Economía y Finanzas.
- d) Cualquier otro recurso que le sea transferido.

Artículo 22°.- Entrega del Incentivo de riego tecnificado

El incentivo económico se hará efectivo al proveedor/contratista a la conformidad y recepción de las obras.

CAPÍTULO VI DE LOS PROYECTOS A SER FINANCIADOS

Artículo 23°.- Los proyectos a ser financiados por el Incentivo de Riego Tecnificado

Los proyectos que podrán recibir el Incentivo de Riego Tecnificado, deberán estar referidos a:

- a) **Equipos de riego presurizado.** Conformado por elementos mecánicos integrados entre sí, los que presurizan y conducen las aguas superficiales o subterráneas, distribuyéndolas y aplicándolas al predio a través de emisores, mediante métodos de alta eficiencia, tales como:
 - Sistema de Riego por Aspersión.
 - Sistema de Riego por Micro-aspersión.
 - Sistema de Riego por Goteo.
 - Otros sistemas.

- b) **Elementos de riego presurizado.** Conformado por las partes que integran un equipo de riego presurizado, tales como:
- Unidad de Bombeo: Bombas de pozo profundo, bombas sumergibles, electrobombas, motobombas, bombas monoblock acopladas a motores diesel ó motores eléctricos.
 - Tuberías y Accesorios de Conducción y distribución: Tuberías y accesorios de conexión de PVC, aluminio y polietileno.
 - Cabezal de Control principal y de campo: Unidades de Filtrado, válvulas de paso, regulación, control y protección, medidor de caudal, manómetros, dosificador de fertilizantes, accesorios de protección, y otros.
 - Emisores: Aspersores, micro aspersores, Mangueras de goteo, cintas de riego, hidrantes de riego y otros.
 - Sistemas de Comando: Sistemas de automatización del sistema, válvulas hidráulicas, electro válvulas, unidades remotas, sistemas de mando hidráulico, sistemas de mando eléctrico, y otros.
- c) **Equipos de riego tecnificado por gravedad.** Conformado por elementos mecánicos integrados entre sí que conducen el agua desde la fuente hasta la cabecera de los campos, tales como:
- Tuberías de conducción.
 - Sistema de riego por tuberías multicompuertas.
 - Sistema de riego intermitente.
 - Sistema de riego californiano.
 - Otros sistemas.
- d) **Equipos para la obtención de energía.** Líneas eléctricas de baja tensión, postes, bipostes, aisladores, transformadores, medidores, accesorios, tableros de arranque y otras fuentes de energía destinadas a la impulsión de las aguas de riego.
- e) **Obras civiles.** Nivelación de tierras, inversiones en estructuras que se destinen a obtener mejoras en la eficiencia de almacenamiento, distribución y aplicación del agua para riego en sistemas de riego tecnificado: construcción de reservorios, revestimiento de canales de conducción, obras de regulación y control, separadores de sólidos, desarenadores, aliviaderos, perforación de pozos, pozas de bombeo, casetas de bombeo, lozas de concreto, cámaras de distribución y carga, canaletas de aforo, dados de anclaje, excavación y tapado de zanjas, cajas de protección para válvulas de campo, entre otras obras civiles menores.

Artículo 24º.- Rubros que no pueden ser financiados el Incentivo de Riego Tecnificado

No podrán formar parte de los proyectos a ser atendidos por el Programa, los siguientes rubros:

- a) Adquisición de maquinaria e implementos necesarios para construir o instalar las obras de riego, entendiéndose por tales aquellas que se utilizan exclusivamente

durante el período de instalación de dichas obras y que no quedan integrados a ellas, tales como: bulldozers, tractores, traillas, retroexcavadoras, compresoras, grúas, herramientas manuales y otras de las mismas características.

- b) Equipos y elementos que intervienen en el funcionamiento y mantenimiento de un sistema de riego, tales como combustibles, lubricantes, tarifas, cuotas, sueldos, jornales, leyes sociales, viáticos y otros.
- c) Mantenimiento, reparación ó reposición de maquinarias, vehículos, galpones, bodegas, casetas, repuestos de equipos, pinturas, aceites, engrases y otros.
- d) Perforación de pozos cuando se trate de implementar áreas nuevas o eriazas.

TITULO TERCERO DEL PROGRAMA DE RIEGO TECNIFICADO

Artículo 25°.- Objetivo

El objetivo del Programa es promover a nivel nacional la tecnificación del riego en reemplazo de los sistemas de riego tradicionales a nivel nacional.

Artículo 26°.- Principios

El Programa tiene como principios:

- a) Instalación de sistemas de riego que permitan el uso racional y eficiente del agua para incrementar la productividad agrícola.
- b) Uso de procedimientos públicos, transparentes y competitivos para la asignación de recursos públicos.
- c) Otorgar incentivos de riego tecnificado a cargo del Estado.
- d) Fomentar la difusión y adopción de cambios tecnológicos sostenibles para incrementar la eficiencia del aprovechamiento del agua de riego y uso de los suelos.
- e) Promover el fortalecimiento institucional, asistencia técnica y financiera, concertados por las organizaciones locales y la inversión privada, para lograr la gestión eficiente del agua de riego.
- f) Asegurar la ejecución de proyectos de tecnificación de riego, que tengan viabilidad económica, social y ambiental, de acuerdo al SNIP y la Política de Riego.
- g) Asignación de incentivos de riego tecnificado mediante concursos públicos.
- h) Promover la ejecución de proyectos de riego tecnificado, mediante la aplicación de incentivos de riego tecnificado y líneas de créditos especiales que ofrezca el Estado.
- i) Promover la competitividad.

Artículo 27°.- Ejecución

El Proyecto Sub-sectorial de Irrigación-PSI, será el ejecutor del Programa de Riego Tecnificado, quién continuará realizando sus actividades y ejercerá las funciones de ente rector en materia de riego tecnificado.

TITULO CUARTO DE LA LINEA DE CREDITO

Artículo 28°.- Otorgamiento

Los agricultores de los proyectos ganadores de los concursos, podrán acceder al crédito, el cual estará dirigido a las inversiones no cubiertas por el incentivo de riego tecnificado. Para tal efecto, se tendrán que ajustar a las normas respectivas y posibilidades que dispone COFIDE.

Artículo 29°.- Administración del Fondo de Cobertura

El fondo de cobertura estará administrado por COFIDE a través de un fideicomiso. El destino de este fondo será garantizar parcial o totalmente los desembolsos que cualquier institución del sistema financiero peruano realice a un beneficiario del Programa para la instalación de un Sistema de Riego Tecnificado.

Los beneficiarios de la cobertura serán los mismos beneficiarios elegidos para recibir la asignación de los incentivos de riego tecnificado.

Artículo 30°.- De los recursos del fondo de cobertura

El fondo de cobertura será formado con cargo a los siguientes recursos:

- a) Los provenientes de las fuentes de financiamiento Recursos Ordinarios y Recursos Directamente Recaudados;
- b) Las donaciones y aportes sin contraprestación provenientes de entidades públicas y privadas;
- c) Los obtenidos a través de Operaciones de Endeudamiento Externo. En este caso, será necesario informe favorable del Ente Rector y el Ministerio de Economía y Finanzas.
- d) Cualquier otro recurso que le sea transferido.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA

Primera: El Ministerio de Agricultura, mediante Resolución Ministerial, podrá dictar las normas específicas y complementarias para la mejor aplicación del presente Reglamento.

DISPOSICIÓN TRANSITORIA

Primera: Aquellas iniciativas del sector público, que tengan que ver con los programas de reconversión de la agricultura con miras al Tratado de Libre Comercio-TLC con los Estados Unidos de América, quedarán exoneradas del presente reglamento.