Especificaciones Funcionales



**Plataforma Tecnológica de Riego de Precisión Agrícola y de Áreas Verdes**

Documento: Requerimientos / Especificaciones Funcionales

Proyecto: CHIH-2018-C03-194128

Revisión: 2.0

Fecha: Diciembre 2018

**Resumen:** Este documento describe las especificaciones o requerimientos funcionales del sistema propuesto en el proyecto de “Plataforma Tecnológica de Riego de Precisión Agrícola y de Áreas Verdes”. El objetivo del proyecto es diseñar e implementar un prototipo de riego automatizado para grandes extensiones territoriales, con la finalidad de reducir el consumo del agua y mejorar la eficiencia del cultivo.

**Keywords:** Requerimientos, especificación, agricultura, automatización, eficiencia del agua.

El contenido de este documento no se considera oferta, propuesta o acuerdo, sino hasta que sea confirmado en documento por escrito que contenga la firma autógrafa del apoderado legal del ITESM. El contenido de este documento es confidencial y se entiende dirigido y para uso exclusivo del destinatario, por lo que no podrá distribuirse y/o difundirse por ningún medio sin la previa autorización del emisor original. Si usted no es el destinatario, se le prohíbe su utilización total o parcial para cualquier fin.

HISTORIA DE REVISIONES

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Rev. No. | Fecha | Autor | Comentarios |
| 1.0 | Septiembre, 2013 | Camilo Lozoya | Versión original del documento. |
| 1.1 | Diciembre, 2013 | Camilo Lozoya | Revisión previa al primer reporte de avances |
| 1.2 | Junio, 2014 | Camilo Lozoya | Revisión previa al segundo reporte de avances |
| 1.3 | Junio, 2015 | Camilo Lozoya | Reporte final |
| 2.0 | Diciembre, 2018 | Camilo Lozoya | Nueva revisión, proyecto Chihuahua Sustentable |

Contenido

1. Introducción 3

1.1 Alcance 3

1.2 Propósito 3

1.3 Financiamiento del proyecto 3

1.4 Resumen Ejecutivo 3

1.5 Definiciones y acrónimos 4

1.5.1 Definiciones 4

1.5.2 Acrónimos 4

2. Descripción del Sistema 6

2.1 Módulos funcionales 6

2.2 Niveles o capas del sistema 6

3. Especificaciones Generales del Sistema 8

4. Especificaciones funcionales por módulo 9

4.1 Interface del Sistema 9

4.2 Módulo de Comunicación y Datos 11

4.3 Módulo de Control 13

4.4 Módulo de Proceso 16

5. Especificaciones operativas por dispositivo 19

5.1 Nodo Sensor 19

5.2 Nodo Climático 19

5.3 Nodo Actuador 19

5.4 Nodo Repetidor 20

5.5 Nodo Controlador 20

5.6 Servidor de datos 22

5.7 Aplicaciones del Usuario 24

# Introducción

## Alcance

Las especificaciones funcionales del sistema definen las características que el prototipo debe tener con la finalidad de cumplir los objetivos del proyecto. Las especificaciones funcionales toman como base la arquitectura del sistema, y en conjunto con este establecen los lineamientos a seguir en el diseño modular del proyecto “Automatización para el uso eficiente del agua en sistemas de riego agrícola”.

## Software Propósito

Este documento tiene como propósito describir los requerimientos funcionales del sistema. Se entiende por requerimiento funcional a los servicios que debe de ofrecer el sistema desde la perspectiva del usuario.

## Financiamiento del proyecto

Este proyecto es financiado por el Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACyT – Gobierno del Estado de Chihuahua, en conjunto con el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Chihuahua. También se obtuvo financiamiento de Grupo Cementos de Chihuahua a través de su iniciativa “Construyamos un Chihuahua Sustentable”.

## Resumen Ejecutivo

En el estado de Chihuahua se registra una precipitación promedio anual muy baja (inferior a 420 mm), lo que lo ubica entre las primeras cuatro entidades federativas que registran las precipitaciones más bajas a nivel nacional. Debido a esto, la cantidad de agua disponible es generalmente insuficiente para cubrir las necesidades de uso cotidiano, e impacta seriamente en la recarga de cuerpos de agua y acuíferos subterráneos. Adicionalmente Chihuahua ha sido afectado por eventos de sequía, ocasionando pérdidas considerables principalmente en el sector agropecuario y forestal. Algunos de los factores que hacen que cada día crezca la vulnerabilidad a la sequía, son: los procesos de urbanización, el crecimiento poblacional, el desarrollo de la agricultura, ganadería e industria, el mayor consumo de energía, los mayores requerimientos de agua para consumo humano, y la reducción en la disponibilidad de agua de la calidad requerida para ciertos usos.

El concepto de “uso eficiente de agua” incluye cualquier medida que reduzca la cantidad que se utiliza por unidad de cualquier actividad, y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad del agua. Específicamente el sector agrícola representa el mayor consumidor de agua en Chihuahua, ya que se estima que requiere alrededor del 85% del agua disponible. Deficiencias en la extracción, conducción y uso del agua, son las mayores causantes del desperdicio de este vital líquido y de la insuficiencia de humedad en el suelo que reduce o nulifica el desarrollo vegetativo.

Actualmente, los sistemas de irrigación automáticos ofrecidos por el mercado al sector agrícola, se basan en la definición de períodos de tiempo para el uso de agua de riego, sin embargo no se consideran otros factores como humedad de la tierra, salinidad del suelo, intensidad de la luz solar, temperatura ambiente, necesidad de agua por parte del cultivo, entre otros. Por la tanto la eficiencia lograda por estos sistemas puede ser mejorada al considerar todos los elementos críticos que conforman un proceso de irrigación. Se estima que el promedio mundial de eficiencia en el uso del agua, aún con estos sistemas, es de entre un 40% a un 50%. Es decir, entre el 60% a 50% del agua de riego se desperdicia.

Los principales beneficios que se obtendrán a partir de la implementación del proyecto son:

* Incrementar la eficiencia en el uso de agua en comparación con los sistemas actuales de riego agrícola.
* Reducir el consumo de energía eléctrica utilizado en los sistemas de riego actuales.
* Detectar oportunamente fugas de agua y fallas en general del sistema de riego, mediante un sistema de monitoreo y supervisión.

La realización de este proyecto requiere un enfoque multidisciplinario, por lo que se formarán tres equipos de trabajo: (1) equipo de procesos de riego y uso de suelos de cultivo, (2) equipo de control y adquisición de datos, y (3) equipo de sistemas de información y comunicación de datos. Como resultado final del proyecto se implementará un prototipo funcional de un sistema de riego automático con información de tiempo real capaz de proveer sus servicios en al menos una hectárea de suelo agrícola. El prototipo debe ser capaz de demostrar en campo los beneficios que ofrece el proyecto.

## Definiciones y acrónimos

### Definiciones

|  |  |
| --- | --- |
| Término | Definición |
| Evapotranspiración | Representa el agua perdida causada por la evaporación en la superficie de la tierra y por la transpiración del cultivo.  Represents the water lost caused by soil surface evaporation and crop transpiration |
| Humedad de suelo | Se refiere a la cantidad de agua en la tierra, la cual se describe como el contenido volumétrico de agua. |
|  |  |
|  |  |

### Acrónimos

|  |  |
| --- | --- |
| Acrónimo | Descripción |
| VWC | Contenido volumétrico de agua |
| ETo | Evapotranspiración de referencia. |
| MPC | Modelo de control predictivo |
| GSM | Estandard de comunicación para teléfonos celulares (Global System for Mobile Communication) |
|  |  |

# Descripción del Sistema

## Módulos funcionales

La arquitectura del sistema se basa en la dinámica del proceso descrita y en el diseño del controlador propuesto, ambos descritos en la sección anterior. El objetivo del proyecto es definir, desarrollar e instalar un prototipo de un sistema de riego automático que sea capaz de incrementar la eficiencia del agua, reducir el consumo de energía eléctrica, mejorar la productividad del cultivo y detectar fallas en el sistema. En el diseño se considera la instalación y validación del prototipo en al menos una hectárea de cultivo.

El proyecto se divide en 3 módulos funcionales. La integración de los 3 módulos conforma el prototipo completo:

Módulo de proceso: este módulo incluye la identificación de sensores para mediciones en campo, la implementación de dispositivos de adquisición de datos. También se incluye el control de elementos actuadores como válvulas y bombas de agua. Las características de la red hidráulica, de la dinámica del proceso de riego forman parte de este módulo. Este módulo incluye la red de comunicación inalámbrica (red de corto alcance) entre sensores.

Módulo de control: este módulo se define las características del sistema de control, como variables de entrada, variables de salida y variables de estado. También se incluye la definición del algoritmo de control óptimo, así como el modelo matemático del sistema.

Módulo de comunicación y datos: este módulo define las características de la red de comunicación de datos de largo alcance. Se define la ubicación, potencia y confiabilidad de la transmisión-recepción de datos en forma inalámbrica. También se incluye la definición de una base de datos para almacenar información, así como las aplicaciones requeridas para interactuar con el sistema.

## Niveles o capas del sistema

Desde una perspectiva física la arquitectura del sistema considera el desarrollo de tres capas o niveles físicos. Cada nivel está compuesto por un conjunto de dispositivos, cuya funcionalidad puede abarcar más de un módulo funcional. Así la capa física incluye los nodos sensores, nodos actuadores y nodos controladores del sistema, la capa de datos incluye los controladores, la base de datos y el servidor de datos, finalmente la capa de usuario se conforma principalmente por las aplicaciones que interactúan con los diferentes usuarios que puede tener el sistema (supervisor de riego, administrador del cultivo, investigador agrícola).

Capa Física: La capa física representa todos los elementos que se encuentran en contacto directo con el proceso. Estos elementos son un grupo de nodos distribuidos sobre la superficie de riego, en donde cada nodo tiene una función en específico. Los nodos se comunican entre sí, por medio de una red de sensores inalámbrica implementada por el protocolo Zigbee. Los nodos se clasifican en: controladores, sensores, actuadores, climáticos y repetidores.

Capa de Datos: La capa de datos se conforma de un servidor de cómputo con una base de datos. Esta capa interactúa con los nodos controladores del sistema de riego mediante una red de comunicación de largo alcance basada en el protocolo GSM/GPRS.

Capa de Usuario: La capa de usuarios se conforma de tres grupos de aplicaciones para que el usuario interactúe con el sistema automático de riego. La información que proveen las aplicaciones puede ser actual o histórica. El término usuario es utilizado en forma genérica para identificar a las personas o grupos de personas que pueden requerir información del proceso y del sistema de control. Los usuarios potenciales del sistema son: supervisores de riego, agricultores, administradores del negocio, investigadores agrícolas. Los tres tipos de aplicaciones disponibles en la capa del usuario son: (1) captura de datos, (2) monitoreo y supervisión, y (3) desempeño.



Figura 1: Arquitectura del sistema dividida en tres capas físicas.

# Especificaciones Generales del Sistema

|  |  |
| --- | --- |
| R.SIS.01 | El usuario puede seleccionar los tres modos de operación del sistema: manual, temporizado y automático. |
| R.SIS.02 | Se utiliza la red de internet para comunicar las aplicaciones del usuario con el servidor de datos. |
| R.SIS.03 | El esquema de comunicación entre las aplicaciones del usuario y el servidor de datos es de tipo cliente servidor. |
| R.SIS.04 | El servidor de datos se encuentra físicamente en un cuarto de cómputo con todas las facilidades necesarias (control de temperatura, respaldos, redundancia, acceso a internet, etc.) |
| R.SIS.05 | La base de datos se encuentra instalada en el servidor de datos. |
| R.SIS.06 | Existe un nodo controlador por cada área de riego. |
| R.SIS.07 | El sistema de riego está compuesto por una o varias áreas de riego. |
| R.SIS.08 | Para cada área de riego existe un cultivo en específico. Cada área de riego puede tener un cultivo diferente. |
| R.SIS.09 | La comunicación entre el controlador y servidor de datos se lleva a cabo por una red de largo alcance (red móvil GSM/GPRS) |
| R.SIS.10 | La comunicación entre el controlador y el servidor de datos es bidireccional y punto a punto. |
| R.SIS.11 | El esquema de comunicación del controlador al servidor de datos es de tipo periódico |
| R.SIS.12 | El esquema de comunicación del servidor de datos al controlador es de tipo esporádico. |
| R.SIS.13 | El controlador se comunica con los nodos sensores, actuadores, climáticos y repetidores por medio de una red de corto alcance (Zigbee). |
| R.SIS.14 | El esquema de comunicación entre el controlador y los nodos sensores, actuadores, climáticos y repetidores es del tipo maestro-esclavo y es peródico. |
| R.SIS.15 | Los nodos sensores, actuadores, climáticos y repetidores se encuentran alimentados eléctricamente por medio de energía fotovoltaica (celdas solares). |
| R.SIS.16 | Si el servidor de datos no está disponible el sistema de riego sigue funcionando, solamente no se reportan los datos, ni se puede cambiar el modo de operación. |
| R.SIS.17 | Los nodos mínimos necesarios para el funcionamiento del sistema son: nodo controlador, nodo sensor y nodo actuador. |

# Especificaciones funcionales por módulo

Las especificaciones funcionales se describen mediante los casos de uso. Un caso de uso es una descripción de los pasos o las actividades que deberán realizarse para llevar a cabo algún proceso. Los personajes o entidades que participarán en un caso de uso se denominan actores. En el contexto de ingeniería de software, un caso de uso es una secuencia de interacciones que se desarrollarán entre un sistema y sus actores en respuesta a un evento que inicia un actor principal sobre el propio sistema.

Los diagramas de casos de uso sirven para especificar la comunicación y el comportamiento de un sistema mediante su interacción con los usuarios y/u otros sistemas. O lo que es igual, un diagrama que muestra la relación entre los actores y los casos de uso en un sistema. Una relación es una conexión entre los elementos del modelo, por ejemplo la especialización y la generalización son relaciones. Los diagramas de casos de uso se utilizan para ilustrar los requerimientos del sistema al mostrar cómo reacciona a eventos que se producen en su ámbito o en él mismo.

## Interface del Sistema



|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_USE\_01** |
| **Nombre:** | **Configuración del Sistema** |
| **Descripción:** | El usuario selecciona el modo de operación del sistema. Los modos de operación válidos son: Manual, Temporizado y Automático |
| **Actor Primario:** | Usuario del Sistema |
| **Precondiciones:** | El usuario ejecuta la aplicación de “Configuración del Sistema” |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. El usuario selecciona modo manual de operación    1. Selecciona el área de riego    2. Selecciona activación o desactivación de riego    3. Confirma selección 2. El usuario selecciona modo temporizado de operación    1. Selecciona área de riego    2. Programa, modifica o cancela calendario de riego    3. Confirma selección 3. El usuario selecciona modo automático de riego    1. Selecciona área de riego    2. Define nivel máximo de humedad de suelo (referencia)    3. Define nivel mínimo de humedad de suelo (referencia)    4. Programa, modifica o cancela restricciones de riego    5. Confirma selección |
| **Excepciones:** | Error de comunicación |
| **Supuestos:** | Se asume que el área de riego es válida  Se asume que el usuario conoce el tipo de cultivo en el área específica |
| **Postcondiciones:** | El modo de operación de un área de riego específica ha sido configurada |

|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_USE\_02** |
| **Nombre:** | **Monitoreo y Supervisión del Sistema** |
| **Descripción:** | El usuario visualiza el estado de las áreas de riego y verifica la presencia o no de fallas o alarmas en el sistema |
| **Actor Primario:** | Usuario del Sistema |
| **Precondiciones:** | El usuario ejecuta la aplicación de “Monitoreo y Supervisión” |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. El usuario selecciona la opción de visualización del sistema    1. Se despliega el modo de operación de cada área de riego    2. Se despliega el estado actual de cada área de riego 2. El usuario selecciona la opción de verificación de alarmas y fallas    1. Se despliega el tipo y ubicación de la falla o alarmas, si existen.    2. Tipos de fallas y alarmas:   Falla de comunicación  Falla de medición  Falla de activación  Alarma por temperatura baja  Alarma por falta de presión de agua |
| **Excepciones:** | Error de comunicación |
| **Supuestos:** | Se asume que el sistema es capaz de detectar fallas y alarmas |
| **Postcondiciones:** | El usuario conoce el estado del sistema |

|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_USE\_03** |
| **Nombre:** | **Desempeño del Sistema** |
| **Descripción:** | El usuario visualiza el desempeño del sistema por área específica y periodo de tiempo. |
| **Actor Primario:** | Usuario del Sistema |
| **Precondiciones:** | El usuario ejecuta la aplicación de “Desempeño del Sistema” |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. El usuario selecciona el área de riego 2. El usuario selecciona el período de visualización 3. El usuario selecciona el tipo de gráfica 4. Consumo de agua 5. Consumo de energía eléctrica 6. Evapotranspiración 7. Humedad de suelo 8. Factores climáticos 9. Activación de riego |
| **Excepciones:** | Error de comunicación |
| **Supuestos:** | Se asume que el área de riego es válida  Se asume que el usuario conoce el tipo de cultivo en el área específica |
| **Postcondiciones:** | El usuario visualiza el desempeño del sistema |

## Módulo de Comunicación y Datos



|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_DAT\_01** |
| **Nombre:** | **Comunicación remota** |
| **Descripción:** | El módulo de comunicación y datos recibe una transmisión remota de un módulo de control con la información actual de un área de riego específica: humedad de suelo, factores climáticos, flujo y presión de agua, activación/desactivación de riego, evapotranspiración de referencia. |
| **Actor Primario:** | Módulo de comunicación y datos |
| **Precondiciones:** | Módulo de control ha recibido y procesado información válida del proceso de riego de un área específica. |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. Módulo de control prepara la información 2. Módulo de control transmite la información utilizando una red de largo alcance 3. Módulo de comunicación recibe el paquete de datos. 4. Módulo de comunicación valida la integridad de los datos 5. Módulo de comunicación envía señal de recepción exitosa 6. Módulo de comunicación extrae la información relevantes del paquete 7. Módulo de comunicación almacena la información en la base de datos |
| **Excepciones:** | Falla de comunicación  Base de datos sin capacidad de almacenar más información |
| **Supuestos:** | Se asume que la información enviada por el módulo de control es válida. |
| **Postcondiciones:** | La base de datos contiene la información más actualizada del área de riego específica. |

|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_DAT\_02** |
| **Nombre:** | **Configuración del controlador** |
| **Descripción:** | El módulo de comunicación actualiza la configuración del modo de operación del controlador. Existen tres modos de operación válidos: Manual, Temporizado y Automático. |
| **Actor Primario:** | Módulo de comunicación y datos |
| **Precondiciones:** | El usuario ha seleccionado un área específica de riego y ha modificado se modo de operación y/o parámetros de funcionamiento. |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. Módulo de comunicación envía un paquete de datos al controlador de un área específica, con información del nuevo modo de operación y sus parámetros.    1. Módo Manual: Activación o desactivación de riego.    2. Modo Temporizado: Calendario de riego    3. Modo Automático: Nivel máximo y mínimo de humedad de suelo, restricciones de riego. 2. Controlador recibe el mensaje y valida su contenido 3. Controlador envía señal de recepción exitosa. 4. Controlador reconfigura su modo de operación. |
| **Excepciones:** | Error de comunicación |
| **Supuestos:** | Se asume que el usuario selecciona un área de riego válida, un modo de operación y parámetros válidos. |
| **Postcondiciones:** | El controlador opera de acuerdo al nuevo modo de operación. |

## Módulo de Control



|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_CON\_01** |
| **Nombre:** | **Variable del proceso** |
| **Descripción:** | El módulo de control o controlador recibe información de la variable del proceso en el lazo de control (humedad de suelo). |
| **Actor Primario:** | Módulo de control |
| **Precondiciones:** | En el módulo de proceso, los nodos sensores se encuentran en funcionamiento y disponibles en la red de comunicación de corto alcance. |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. Controlador envía un mensaje a un nodo sensor específico (módulo de proceso) 2. Nodo sensor realiza la medición de humedad de suelo. 3. Nodo sensor envía el mensaje con la información de la humedad de suelo. 4. Controlador recibe el mensaje con la información. 5. Controlador repite los pasos 1 a 4, tantas veces como nodos sensores se encuentren disponibles en el módulo del proceso. 6. Controlador integra todas las lecturas en un solo valor. |
| **Excepciones:** | Error de comunicación  Error de medición en el nodo sensor. |
| **Supuestos:** | Se asume que el controlador conoce el número de nodos sensores del módulo de proceso. |
| **Postcondiciones:** | El controlador tiene un valor que representa la humedad global de toda el área de riego. |

|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_CON\_02** |
| **Nombre:** | **Perturbación externa** |
| **Descripción:** | El módulo de control o controlador recibe información de la perturbación externa actual. La perturbación externa representa el conjunto de todas las variables climáticas. |
| **Actor Primario:** | Módulo de control |
| **Precondiciones:** | En el módulo de proceso, los nodos climáticos se encuentran en funcionamiento y disponibles en la red de comunicación de corto alcance. |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. Controlador envía un mensaje a un nodo climático del módulo de proceso. 2. Nodo climático realiza las mediciones ambientales: humedad relativa, temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento, radiación solar. 3. Nodo sensor envía el mensaje con la información de las variables ambientales. 4. Controlador recibe el mensaje con la información. 5. Controlador calcula integra todos los valores ambientales en uno solo, a través del cálculo de la evapotranspiración de referencia. |
| **Excepciones:** | Error de comunicación  Error de medición en el nodo climático. |
| **Supuestos:** | Se asume que el controlador conoce la fórmula para obtener la evapotranspiración. |
| **Postcondiciones:** | El controlador tiene un valor que representa la evapotranspiración de toda el área de riego. |

|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_CON\_03** |
| **Nombre:** | **Algoritmo de control** |
| **Descripción:** | El controlador calcula la señal de control, mediante un algoritmo de control óptimo y predictivo, en base a la información de la variable del proceso (humedad de suelo) y la perturbación externa (evapotranspiración). |
| **Actor Primario:** | Módulo de control |
| **Precondiciones:** | El módulo de control tiene información actualizada de la humedad desuelo actual, el nivel de referencia de humedad de suelo, y la evapotranspiración.  El módulo de control tiene el modelo matemático del proceso. |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. El controlador calcula el error actual: variable de proceso menos valor de referencia. 2. EL controlador aplica el error actual, la evapotranspiración al modelo matemático del proceso en forma iterativa, hasta obtener una señal de control óptima. 3. El controlador obtiene la señal de control óptima. |
| **Excepciones:** | Excepción durante el algoritmo de optimización. |
| **Supuestos:** | El modelo matemático del sistema es válido.  Las reglas de optimización han sido previamente evaluadas. |
| **Postcondiciones:** | El controlador tiene disponible una señal de control que es óptima, para las condiciones actuales del proceso. |

|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_CON\_04** |
| **Nombre:** | **Señal de control** |
| **Descripción:** | El módulo de control o controlador envía la señal de control de activar/desactivar el riego al nodo actuador (módulo de proceso). |
| **Actor Primario:** | Módulo de control |
| **Precondiciones:** | En el módulo de proceso, el nodo actuador se encuentra en funcionamiento y disponible en la red de comunicación de corto alcance.  El controlador ha calculado la señal óptima de control. |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. Controlador prepara un mensaje con la señal de control. 2. El controlador envía un mensaje al nodo actuador. 3. El nodo actuador recibe el mensaje 4. El nodo actuador procesa la información del mensaje. 5. El nodo actuador envía al controlador un mensaje de operación exitosa. |
| **Excepciones:** | Error de comunicación  Error de accionamiento en el nodo actuador. |
| **Supuestos:** | Se asume que el controlador tiene disponible una señal de control que es óptima, para las condiciones actuales del proceso. |
| **Postcondiciones:** | El nodo actuador tiene la señal de control actualizada. |

## Módulo de Proceso



|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_PRO\_01** |
| **Nombre:** | **Medición de Humedad** |
| **Descripción:** | El módulo de proceso realiza mediciones de humedad en zonas representativas del área de riego. |
| **Actor Primario:** | Módulo de proceso |
| **Precondiciones:** | Los sensores de humedad de suelo se encuentran instalados correctamente. |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. Recibe instrucción de inicio de lectura 2. Realiza la lectura del primer sensor 3. Almacena la información 4. Repite pasos 2 y 3 dependiendo del número de sensores conectados. 5. Conforma un paquete de datos con la información de las lecturas de datos. |
| **Excepciones:** | Error de medición en los sensores de humedad. |
| **Supuestos:** | Se asume que el módulo de proceso conoce el número de sensores conectados a cada nodo sensor. |
| **Postcondiciones:** | El módulo de proceso tiene disponible los valores de humedad de suelo en todas las zonas representativas del área de riego. |

|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_PRO\_02** |
| **Nombre:** | **Medición Climática** |
| **Descripción:** | El módulo de proceso realiza mediciones climáticas en un único nodo en el área de riego. |
| **Actor Primario:** | Módulo de proceso |
| **Precondiciones:** | Los sensores de climáticos se encuentran instalados correctamente. |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. Recibe instrucción de inicio de lectura 2. Realiza la lectura del primer sensor 3. Almacena la información 4. Repite pasos 2 y 3 dependiendo del número de sensores conectados. 5. Conforma un paquete de datos con la información de las lecturas de datos. |
| **Excepciones:** | Error de medición en los sensores climáticos. |
| **Supuestos:** | Se asume que el módulo de proceso conoce el número y tipo de sensores climáticos conectados a cada nodo sensor. |
| **Postcondiciones:** | El módulo de proceso tiene disponible los valores climáticos actuales del área de riego. |

|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_PRO\_03** |
| **Nombre:** | **Accionamiento de válvulas** |
| **Descripción:** | El módulo de proceso es capaz de accionar válvulas de flujo de agua para activar y desactivar el riego. |
| **Actor Primario:** | Módulo de proceso |
| **Precondiciones:** | Las válvulas se encuentran correctamente instaladas en el área de riego. |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. Recibe una instrucción de accionamiento. 2. Activa/desactiva la válvula de flujo 3. Confirma accionamiento exitoso. 4. Repite el paso 2 hasta completar el total de las válvulas |
| **Excepciones:** | Error accionamiento de válvulas. |
| **Supuestos:** | Se asume que el módulo de proceso conoce el número válvulas conectadas a cada nodo actuador. |
| **Postcondiciones:** | El módulo de proceso ha ejecutado el accionamiento de las válvulas en el área de riego. |

|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_PRO\_04** |
| **Nombre:** | **Accionamiento de bombas** |
| **Descripción:** | El módulo de proceso es capaz de accionar bombas para proveer agua al sistema de riego. |
| **Actor Primario:** | Módulo de proceso |
| **Precondiciones:** | Las bombas se encuentran correctamente instaladas en el área de riego. |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. Recibe una instrucción de accionamiento. 2. Activa/desactiva la bomba de agua 3. Confirma accionamiento exitoso. 4. Repite el paso 2 hasta completar el total de bombas de agua. |
| **Excepciones:** | Error de accionamiento de las bombas. |
| **Supuestos:** | Se asume que el módulo de proceso conoce el número bombas conectadas a cada nodo actuador. |
| **Postcondiciones:** | El módulo de proceso ha ejecutado el accionamiento de las bombas de agua en el área de riego. |

|  |  |
| --- | --- |
| **CASO DE USO** | **CU\_PRO\_05** |
| **Nombre:** | **Medición de flujo y presión** |
| **Descripción:** | El módulo de proceso realiza mediciones de flujo y presión de agua en el área de riego. |
| **Actor Primario:** | Módulo de proceso |
| **Precondiciones:** | Los sensores de flujo y presión se encuentran instalados correctamente. |
| **Curso Básico de Eventos:** | 1. Recibe instrucción de inicio de lectura 2. Realiza la lectura del sensor de flujo 3. Realiza la lectura del sensor de presión 4. Almacena la información 5. Repite pasos 2 y 3 dependiendo del número de sensores conectados. 6. Conforma un paquete de datos con la información de las lecturas de datos. |
| **Excepciones:** | Error de medición en los sensores de flujo y presión |
| **Supuestos:** | Se asume que el módulo de proceso conoce el número de sensores flujo y presión conectados a cada nodo actuador. |
| **Postcondiciones:** | El módulo de proceso tiene disponible los valores de flujo y presión actuales del área de riego. |

# Especificaciones operativas por dispositivo

## Nodo Sensor

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.01** |
| Nombre | Medición del Nodo Sensor |
| Operación | Medición del contenido volumétrico de agua en la tierra de cultivo, a tres niveles de profundidad |
| Variables | Contenido volumétrico de agua, 0% a 100% |
| Entrada | Mensaje del nodo controlador al nodo sensor para iniciar medición |
| Salida | Mensaje del nodo sensor al nodo controlador para enviar resultados de la medición |
| Frecuencia | Periódico, cada minuto |

## Nodo Climático

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.02** |
| Nombre | Medición del Nodo Climático |
| Operación | Medición de variables ambientales como humedad relativa, temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento y radiación solar.  Cálculo de la evapotranspiración de referencia por medio de la fórmula Penman-Monteith FAO 56 |
| Variables | Humedad relativa, 0% a 100%  Temperatura del aire, oC  Velocidad del viento, m/s  Radiación solar, W/m2  Evapotranspiración de referencia, mm/día |
| Entrada | Mensaje del nodo controlador al nodo climático para iniciar medición |
| Salida | Mensaje del nodo climático al nodo controlador para enviar resultados de la medición |
| Frecuencia | Periódico, cada minuto |

## Nodo Actuador

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.03** |
| Nombre | Accionamiento/Medición del Nodo Actuador |
| Operación | Activación y desactivación el flujo de agua en el sistema de riego mediante el accionamiento de bombas de agua y/o válvulas de flujo.  Medición de variables del sistema hidráulico como flujo y presión de agua. |
| Variables | Flujo de agua, litros por minuto  Presión de agua, bars  Encendido /apagado de la bomba de agua  Encendido/apagado de la válvula de flujo |
| Entrada | Mensaje del nodo controlador al nodo actuador para realizar el accionamiento y la medición |
| Salida | Mensaje del nodo actuador al nodo controlador para enviar resultados del accionamiento y la medición |
| Frecuencia | Periódico, cada minuto |

## Nodo Repetidor

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.04** |
| Nombre | Retransmisión del Nodo Repetidor |
| Operación | Retransmitir un mensaje proveniente del nodo controlador un nodo fuera de alcance (nodos sensores, actuadores o climáticos ). |
| Variables | Ninguna |
| Entrada | Mensaje del nodo controlador al nodo repetidor. |
| Salida | Mensaje del nodo repetidor al nodo fuera de alcance. |
| Frecuencia | Periódico, cada minuto |

## Nodo Controlador

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.05** |
| Nombre | Lectura de humedad de suelo |
| Operación | Recepción de datos de contenido volumétrico de agua en la tierra de cultivo, proveniente del nodo sensor |
| Variables | Contenido volumétrico de agua, 0% a 100% |
| Entrada | Mensaje del nodo controlador al nodo sensor. |
| Salida | Mensaje del nodo sensor al nodo controlador con los datos de la medición. |
| Frecuencia | Periódico, cada minuto |

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.06** |
| Nombre | Lectura de variables climáticas |
| Operación | Recepción de variables ambientales como humedad relativa, temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento y radiación solar. |
| Variables | Humedad relativa, 0% a 100%  Temperatura del aire, oC  Velocidad del viento, m/s  Radiación solar, W/m2  Evapotranspiración de referencia, mm/day |
| Entrada | Mensaje del nodo controlador al nodo climático para la lectura |
| Salida | Mensaje del nodo climático al nodo controlador con los datos de la medición. |
| Frecuencia | Periódico, cada minuto |

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.07** |
| Nombre | Cálculo de error actual |
| Operación | Calcular el error actual de humedad de suelo, a partir de la lectura de humedad actual y el valor de referencia deseado. |
| Variables | Error, de 0% a 100% |
| Entrada | Lectura de humedad de suelo.  Valor de referencia deseado |
| Salida | Error actual del proceso |
| Frecuencia | Periódico, cada minuto |

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.08** |
| Nombre | Algoritmo de control |
| Operación | Calcular la señal de control adecuada de acuerdo a la necesidad de riego del cultivo |
| Variables | Señal de control, activar o desactivar válvula y/o bomba |
| Entrada | Error actual del proceso  Evapotranspiración de referencia calculada  Modelo matemático del proceso  Restricciones de operación |
| Salida | Señal de control |
| Frecuencia | Periódico, cada minuto |

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.09** |
| Nombre | Envío de señal de control |
| Operación | Enviar la señal de control obtenida por la ejecución del algoritmo de control. |
| Variables | Encendido /apagado de la bomba de agua  Encendido/apagado de la válvula de flujo |
| Entrada | Mensaje del nodo controlador al nodo actuador para realizar el accionamiento y la medición |
| Salida | Mensaje del nodo actuador al nodo controlador para enviar resultados del accionamiento y la medición. |
| Frecuencia | Periódico, cada minuto |

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.10** |
| Nombre | Transmisión remota |
| Operación | Enviar actualización de información en forma remota del nodo controlador al servidor de datos. |
| Variables | Contenido volumétrico de agua, 0% a 100%  Humedad relativa, 0% a 100%  Temperatura del aire, oC  Presión atmosférica, kPa  Velocidad del viento, m/s  Radiación solar, W/m2  Flujo de agua, litros por segundo  Presión de agua, bars  Encendido /apagado de la bomba de agua  Encendido/apagado de la válvula de flujo  Evapotranspiración de referencia mm/día |
| Entrada | Mensaje del nodo controlador al servidor de datos |
| Salida | Confirmación del servidor de datos al nodo controlador. |
| Frecuencia | Periódico, cada 10 minutos |

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.11** |
| Nombre | Configuración del nodo controlador |
| Operación | El servidor de datos envía al nodo controlador los parámetros relativos a la configuración operativa del controlador |
| Variables | Modo de operación (Manual, temporizado, automático)  Valor de referencia de humedad de suelo, 0% a 100%  Modelo matemático del proceso |
| Entrada | Mensaje del servidor de datos al nodo controlador |
| Salida | Confirmación del nodo controlador al nodo sensor. |
| Frecuencia | Esporádico |

## Servidor de datos

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.12** |
| Nombre | Recepción remota |
| Operación | Recepción de información en forma remota del nodo controlador al servidor de datos. |
| Variables | Contenido volumétrico de agua, 0% a 100%  Humedad relativa, 0% a 100%  Temperatura del aire, oC  Presión atmosférica, kPa  Velocidad del viento, m/s  Radiación solar, W/m2  Flujo de agua, litros por segundo  Presión de agua, bars  Encendido /apagado de la bomba de agua  Encendido/apagado de la válvula de flujo  Evapotranspiración de referencia mm/día |
| Entrada | Mensaje del nodo controlador al servidor de datos |
| Salida | Confirmación del servidor de datos al nodo controlador. |
| Frecuencia | Periódico, cada 10 minutos |

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.13** |
| Nombre | Configuración de los controladores |
| Operación | El servidor de datos envía al nodo controlador los parámetros relativos a la configuración operativa del controlador |
| Variables | Modo de operación (Manual, temporizado, automático)  Valor de referencia de humedad de suelo, 0% a 100%  Modelo matemático del proceso |
| Entrada | Mensaje del servidor de datos al nodo controlador |
| Salida | Confirmación del nodo controlador al nodo sensor. |
| Frecuencia | Esporádico |

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.14** |
| Nombre | Almacenamiento en base de datos |
| Operación | El servidor de datos almacena la información proveniente de los nodos controladores |
| Variables | Contenido volumétrico de agua, 0% a 100%  Humedad relativa, 0% a 100%  Temperatura del aire, oC  Presión atmosférica, kPa  Velocidad del viento, m/s  Radiación solar, W/m2  Flujo de agua, litros por segundo  Presión de agua, bars  Encendido /apagado de la bomba de agua  Encendido/apagado de la válvula de flujo  Evapotranspiración de referencia mm/día |
| Entrada | Recepción de datos del nodo controlador |
| Salida | Actualización de la base de datos |
| Frecuencia | Periódico, cada 10 minutos |

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.15** |
| Nombre | Configuración del sistema |
| Operación | El servidor de datos almacena la información proveniente de las aplicaciones de los usuarios |
| Variables | Modo de operación (Manual, temporizado, automático)  Valor de referencia de humedad de suelo, 0% a 100%  Modelo matemático del proceso |
| Entrada | Mensaje de las aplicaciones de usuarios al servidor de datos |
| Salida | Actualización de la base de datos |
| Frecuencia | Esporádico |

## Aplicaciones del Usuario

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.16** |
| Nombre | Captura de datos |
| Operación | El usuario introduce o actualiza los parámetros de operación del sistema |
| Variables | Modo de operación (Manual, temporizado, automático) |
| Entrada | Captura de información |
| Salida | Actualización de la base de datos del servidor |
| Frecuencia | Esporádico |

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.17** |
| Nombre | Monitoreo y supervisión |
| Operación | El usuario supervisa los parámetros críticos del sistema |
| Variables | Fallas de operación  Fallas de comunicación |
| Entrada | Ninguna |
| Salida | Ninguna |
| Frecuencia | Esporádico |

|  |  |
| --- | --- |
| **Requerimiento** | **R.OPE.18** |
| Nombre | Desempeño del sistema |
| Operación | El usuario observa el desempeño del sistema |
| Variables | Contenido volumétrico de agua, 0% a 100%  Humedad relativa, 0% a 100%  Temperatura del aire, oC  Presión atmosférica, kPa  Velocidad del viento, m/s  Radiación solar, W/m2  Flujo de agua, litros por segundo  Presión de agua, bars  Encendido /apagado de la bomba de agua  Encendido/apagado de la válvula de flujo  Evapotranspiración de referencia mm/día |
| Entrada | Selección de área de riego, fechas y parámetros |
| Salida | Gráficas con la información solicitada |
| Frecuencia | Esporádico |