



Informe Técnico Final

Proyectos de Emprendimiento Innovador

Nombre del proyecto	Hydrotica
Código del proyecto	PYT-2019-0714
Nº de informe	4
Período informado (considerar todo el periodo de ejecución)	desde el 02/02/19 hasta el 06/06/20
Fecha de entrega	24/08/22

INSTRUCCIONES PARA COMPLETAR Y PRESENTAR EL INFORME

I. Todas las secciones del informe deben ser contestadas, utilizando caracteres tipo Arial, tamaño 11.

II. Sobre la información presentada en el informe

- Debe completar todas las secciones del documento según corresponda.
- Debe estar basada en la última versión del Plan Operativo aprobada por FIA.
- Debe ser resumida y precisa. Si bien no se establecen números de caracteres por sección, no debe incluirse información en exceso, sino solo aquella información que realmente aporte a lo que se solicita informar.
- Debe ser totalmente consistente en las distintas secciones y se deben evitar repeticiones entre ellas.
- Debe estar directamente vinculada a la información presentada en el informe financiero y ser totalmente consistente con ella.

III. Sobre los anexos adjuntos al informe

- Deben enumerar y nombrar los documentos adjuntados en la tabla de la sección 15 del informe.
- Deben incluir toda la información que complemente y/o respalde la información presentada en el informe, especialmente a nivel de los resultados alcanzados.
- Se deben incluir materiales de difusión, como diapositivas, publicaciones, manuales, folletos, fichas técnicas, entre otros.
- También se deben incluir cuadros, gráficos y fotografías, pero presentando una descripción y/o conclusiones de los elementos señalados, lo cual facilite la interpretación de la información.

IV. Sobre la presentación a FIA del informe

- La presentación de los informes técnicos se realizará mediante la entrega de 2 copias digitales idénticas y sus anexos, en la siguiente forma:
 - a) Un documento "Informe técnico final", en formato word.
 - b) Un documento "Informe técnico final en formato pdf.
 - c) Los anexos identificando el número y nombre, en formato que corresponda.
- La entrega de los documentos antes mencionados debe hacerse mediante correo electrónico dirigido al correo electrónico de la Oficina de Partes de FIA (oficina.partes@fia.cl). La fecha válida de ingreso corresponderá al día, mes y año en que es recepcionado el correo electrónico en Oficina de partes de FIA. Es responsabilidad del Ejecutor asegurarse que FIA haya recepcionado oportunamente los informes presentados.

- Para facilitar los procesos administrativos, se sugiere indicar en el "Asunto" del correo de envío: **"Presentación de Informe Técnico Final Proyecto Código PYT-XXXX-YYYY"**.
- La fecha de presentación debe ser la establecida en la sección detalle administrativo del Plan Operativo del proyecto o en el contrato de ejecución respectivo.
- El retraso en la fecha de presentación del informe generará una multa por cada día hábil de atraso equivalente al 0,2% del último aporte cancelado.

CONTENIDOS

1.	ANTECEDENTES GENERALES	6
2.	RESUMEN DEL PROYECTO	6
3.	RESUMEN DEL PERIODO NO INFORMADO	7
4.	OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO.....	8
5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE).....	8
6.	RESULTADOS ESPERADOS (RE).....	9
7.	CAMBIOS Y PROBLEMAS DEL PROYECTO.....	21
8.	ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO.....	23
9.	CAMBIOS EN EL ENTORNO.....	25
10.	DIFUSIÓN.....	25
11.	CONSIDERACIONES GENERALES.....	26
12.	CONCLUSIONES	28
13.	RECOMENDACIONES	29
14.	ANEXOS.....	30
Anexo 1.	Montaje de los nodos.....	30
Anexo 2.	Registros de humedad, temperatura y paquetes transmitidos	31
Anexo 3.	Nivel de energía de las baterías	33
Anexo 4.	Comparación sensores de humedad	34
Anexo 5.	Prueba de autonomía energética.....	36
Anexo 6.	Diseño de los nodos de sensado y nodo central.....	37
Anexo 7.	Construcción de nodos de sensado y nodo central.....	43
Anexo 8.	Instalación de nodos de sensado en campo	45
Anexo 9.	Medición de humedad con nuevos sensores	47
Anexo 10.	Terreno donde se realizó la instalación del sistema	49

Anexo 11. Referencias revisadas sobre modelos para el riego	50
Anexo 12. Construcción e instalación del sistema de control del riego.....	51
Anexo 13. Registros de datos de humedad.....	54
Anexo 14. Registros de humedad/flujo 1 mes	55
Anexo 15. Fotografías del sistema luego de 2 meses de operación	55
Anexo 16. Muestra de datos de flujo y humedad.....	62
Anexo 17. Estimación de costos operacionales (total del período).....	73
Anexo 18. Comparación sistemas 10 días	74
15. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	75

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre Ejecutor:	Christopher Ignacio Soto Delgado
Nombre(s) Asociado(s):	Sociedad Agrícola Flores SPA
Coordinador Principal:	Christopher Ignacio Soto Delgado
Coordinar Alterno:	
Región(es) de ejecución:	Región del Maule
Fecha de inicio iniciativa:	2/12/2019
Fecha término iniciativa:	21/2/2022

2. RESUMEN DEL PROYECTO

Entregar de manera **resumida**¹ las principales actividades realizadas y resultados obtenidos durante todo el periodo de ejecución del proyecto, fundamentando con datos cuantitativos y cualitativos que respalden los resultados.

Durante la ejecución del proyecto se realizó el diseño, construcción, prueba en laboratorio de 16 nodos de sensado y control de humedad de suelo en campo y un nodo central encargado de la recopilación de datos medidos en 3 profundidades de humedad con un tiempo de muestreo de 5 minutos. Para el diseño del controlador de humedad se utilizaron datos recogidos in situ, así como la realización de simulaciones y prueba de estrategias de control encontradas en literatura especializada relacionada a control automático y agronomía. Posteriormente, se comenzó la construcción de las placas electrónicas, sistema de carga y todo lo relacionado al envío y recepción de datos de forma inalámbrica, con sus respectivas pruebas de laboratorio. La prueba de campo del sistema construido se realizó en el sector la palmilla, Rauco, siendo el espacio a controlar de 2 Has. con 4 sectores de riego manuales instalados previamente. Para realizar la implementación se intervino el sistema antiguo instalado, reemplazando los componentes que fuesen necesarios e instalando los dispositivos faltantes para el adecuado funcionamiento del nuevo sistema. Durante este período se comprobó la eficacia del sistema de control así como las comunicaciones, encontrándose con algunos desperfectos relacionados a factores como la fauna o el clima. Al final del período se prueba el control de válvulas y de bomba impulsora, obteniéndose un consumo de agua reducido en un 35% mientras que el consumo de energía eléctrica se reduce en un 40% aproximadamente.

¹ Esta síntesis se debe limitar a citar las ideas más importantes, es decir, excluye datos irrelevantes y no brinda espacio a interpretaciones subjetivas.

3. RESUMEN DEL PERIODO NO INFORMADO

Entregar de manera **resumida**² las principales actividades realizadas y resultados obtenidos durante el periodo comprendido entre el último informe técnico de avance y el informe final, fundamentando con datos cuantitativos y cualitativos que respalden los resultados.

(Máximo 1.000 caracteres sin espacio)

En esta etapa se incorporó al sistema de sensorización de variables del suelo el sistema de control de riego asociado a él, instalado en el campo en el sector La Palmilla, en donde se intervino el sistema de riego de control manual ya existente. Esto incluyó la selección, compra e instalación de todos los componentes requeridos para la instalación hidráulica y de control (válvulas, sensores, circuitos de control, componentes estructurales), así como el desarrollo de la interfaz de monitoreo y control, que se compone de un panel central de control donde se pueden seleccionar modos de funcionamiento automático o manual, y monitorear las variables de los 4 sectores de riego existentes en el campo.

² Esta síntesis se debe limitar a citar las ideas más importantes, es decir, excluye datos irrelevantes y no brinda espacio a interpretaciones subjetivas.

4. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Diseñar, construir y validar un sistema automático de riego capaz de optimizar el agua utilizada de acuerdo a los requerimientos del cultivo, determinados según la medición de variables del suelo.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE)

El porcentaje de avance de cada objetivo específico se calcula promediando el grado de avance de los resultados asociados a éstos. El cumplimiento de un 100% de un objetivo específico se logra cuando el 100% de los resultados asociados son alcanzados.

Nº OE	Objetivo específico (OE)	% de avance al término del proyecto
1	Diseñar, construir y validar un prototipo de 15 nodos de sensado y un nodo central.	100
2	Establecer un modelo matemático entre las variables medidas y los requerimientos de riego del cultivo (tiempo, frecuencia y duración del riego).	100
3	Diseñar e implementar el sistema de control de riego (toma de decisiones) basado en las mediciones.	80
4	Validación en terreno del sistema completo y comparación con métodos convencionales de riego en términos de recurso hídrico, energía utilizada y viabilidad económica.	50
5	Considerar un modelo de negocio	0

6. RESULTADOS ESPERADOS (RE)

Cuantificar y describir el avance de los RE al término del proyecto.

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE) ³	% de cumplimiento ⁴
1	1	Registros de lectura de humedad y temperatura de 6 nodos de prueba comparada con lectura de sonda FDR o TDR y termómetro. Se deben tener mediciones con a lo más un 10% de error relativo respecto al instrumento patrón.	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto ⁵ .			
<p>Los avances se presentaron en los informes anteriores, que incluyeron principalmente pruebas de diferentes sensores de humedad (incluyendo con una sonda de calibración), dado que se produjeron problemas con las mediciones de humedad, lo que involucró selección y compra de nuevos sensores. Además, se decidió descartar la medición de temperatura, considerando que la variable más relevante es el contenido de agua en el suelo, y que el proyecto ya se retrasó bastante con las múltiples modificaciones realizadas para resolver el problema de los sensores de humedad.</p>			
Indique el número y nombre del anexo que respalde ⁶ el cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>Anexo 1. Montaje de los nodos. Anexo 2. Registros de humedad, temperatura y paquetes transmitidos. Anexo 4. Comparación sensores de humedad Anexo 9. Medición de humedad con nuevos sensores</p>			

³ El Resultado Esperado (RE) corresponde al indicado en el Formulario de Postulación (Plan Operativo).

⁴ El porcentaje de cumplimiento es el porcentaje de avance del resultado en relación con la línea base y la meta planteada. Se determina en función de los valores obtenidos en las mediciones realizadas para cada indicador de resultado. El porcentaje de avance de un resultado no se define según el grado de avance que han tenido las actividades asociadas éste. Acorde a esta lógica, se puede realizar por completo una actividad sin lograr el resultado esperado que fue especificado en el Plan Operativo. En otros casos se puede estar en la mitad de la actividad y ya haber logrado el 100% del resultado esperado

⁵ Cuando corresponda, justificar las discrepancias entre los resultados programados y los obtenidos

⁶ Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, fotos, protocolos, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan el cumplimiento de los resultados del proyecto.

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
1	2	Registros de datos de humedad y temperatura recibidos de 6 nodos de prueba a distancias de 10, 50, 100, 200 y 500 m. Se debe tener al menos un 90% de paquetes recibidos exitosamente para la distancia de 100 m.	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
Los avances se presentaron en los informes anteriores, en donde se realizaron diversas pruebas de transmisión de datos desde los nodos de sensado a diferentes distancias al nodo central. No hubo mayores problemas en este apartado.			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			
Anexo 2. Registros de humedad, temperatura y paquetes transmitidos. Anexo 10. Terreno donde se realizó la instalación del sistema			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
1	3	Registros de nivel de energía de 6 nodos de prueba en funcionamiento continuo por 24 hrs. Se debe tener una autonomía de al menos 12 hrs. sin alimentación desde panel solar (batería).	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>Todos los avances realizados se presentaron en los informes anteriores. Durante el desarrollo de las pruebas, se comprobó que los nodos pueden funcionar durante 24 hrs con la alimentación de una batería completamente cargada. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que una vez montados en terreno, los nodos dependen de la radiación solar para volver a cargarse a un nivel suficiente para continuar funcionando en ausencia de luz solar, variable que no se puede controlar. Además, se debe mencionar que se descartaron métodos de medición de nivel de la batería de mayor precisión para no aumentar la complejidad y costo del sistema.</p>			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>Anexo 3. Nivel de energía de las baterías. Anexo 5. Prueba de autonomía energética de los nodos</p>			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
1	4	Registros de humedad, temperatura y nivel de energía del sistema completo (15 nodos + nodo central) operando en conjunto por 2 semanas. El sistema debe funcionar satisfactoriamente según los criterios definidos anteriormente durante el periodo considerado.	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>El sistema con 4 nodos de monitoreo se probó instalándolo en un campo de 2 Has, en donde se comprobó que luego de revisarlo más de 2 semanas después, estos seguían funcionando. No se poseen los registros de los datos dado que, para ese entonces, aún se seguía trabajando en el nodo central.</p>			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>Anexo 8. Instalación de nodos de sensado en campo</p>			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
1	5	Informe de desarrollo del prototipo.	50
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>Se decidió no hacer un informe aparte para explicar el prototipo, y solo incluir las evidencias de su diseño, construcción, instalación y funcionamiento en terreno en los informes técnicos de FIA, que corresponden a los aspectos más relevantes para el proyecto. Considerando, además, que los detalles técnicos son principalmente de utilidad para el equipo técnico.</p>			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>Anexo 6. Diseño mecánico de los nodos de sensado y nodo central Anexo 7. Construcción de nodos de sensado y nodo central</p>			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
2	6	Reporte indicando y comparando los enfoques existentes en la literatura para la determinación del riego con base en las mediciones mencionadas. Se deben indicar al menos 10 referencias de bases científicas y comparar al menos 3 enfoques para la determinación del riego.	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>La bibliografía revisada se muestra en los anexos. Parte de esta bibliografía ha sido facilitada por el agrónomo Juan Pablo Torres, el resto ha sido obtenida principalmente de bases de datos académicas y la web en general. A la fecha, y en conjunto con los datos obtenidos de fuentes formales (agrónomos) e informales (regadores y trabajadores agrícolas), los modelos utilizados para realizar el riego son del tipo proporcionales (kT, donde k es una variable obtenida experimentalmente a partir del tipo de cultivo y T corresponde a la temperatura ambiental) mientras que en otros casos corresponden a la observación por medio de calicatas u otros medios. Otros modelos más complejos son solo teóricos y muchos de ellos no cuentan con un respaldo experimental que permita, por ejemplo, su implementación.</p>			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			
Anexo 11. Referencias revisadas sobre modelos para el riego			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
2	7	Informe indicando probables relaciones entre humedad, temperatura y parámetros del riego a aplicar, con la propuesta de uno o más modelos matemáticos que representen tal relación. Se deben proponer al menos 3 modelos que permitan determinar el riego con base en las mediciones disponibles.	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>En un principio, se había pensado en un modelo de primer orden con retardo $kH(t-t_0)x(t-t_0)$, sin embargo, la dinámica de permeabilidad del agua en el suelo por lo general tiende a ser rápida y el retardo (relacionado con la profundidad del sensor y el tipo de suelo) es grande, pero no representa un sobrepaso elevado. La modelación de sistemas de primer orden con retardo conlleva a encontrar los parámetros de ganancia, retardo y constante de tiempo. Sin embargo, y como se ha nombrado anteriormente, esto no es necesario, ya que el sistema no tiene sobrepasos elevados, las mediciones son estables y la dinámica de evapotranspiración del suelo es por lo general lenta, por lo que, para el sistema de control se ha elegido esencialmente un sistema tipo relé en conjunto con una máquina de estados dada la múltiple cantidad de "entradas" (señales de sensado del sistema) para tener un control preciso del uso del agua.</p>			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
2	8	Informe con simulaciones y estudios comparativos entre los modelos propuestos y la bibliografía revisada, elección de un modelo basándonos en el análisis realizado.	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>Como se ha mencionado en los resultados esperados, el tipo de proceso no requiere de modelos matemáticos más avanzados, ya que su implementación los hace más costosos desde el punto de vista de partes y piezas del sistema de riego, así como el procesamiento de señales y toda la arquitectura relacionada (sensores, nodos de sensado y nodo central). Por tanto, el modelo escogido corresponde a un modelo de relé/máquina de estados con múltiples entradas.</p>			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
3	9	Informe con componentes seleccionados, criterio de selección, diagramas, planos de construcción y funcionamiento del sistema de riego. Planos de forma digital e impresa.	90
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>El campo en el que realiza la instalación del sistema de riego ya disponía de un sistema con bomba, tuberías, válvulas y goteros, de control manual (sólo válvulas manuales en el campo, y bomba instalada y controlada desde la caseta de control). Por lo que se decidió, en conjunto con las personas encargadas del campo, simplemente intervenir el sistema para controlar los 4 sectores de riego de forma automática mediante nuestro sistema. Asimismo, se acordó dejar disponible la opción de cambiar al modo manual en caso de cualquier eventualidad. Se han dejado documentado de forma digital todos los planos de forma digital de todos los componentes del sistema de control del sistema. Dado que no pudo conseguirse la memoria de cálculo e instalación del sistema de riego por goteo presente en el sitio, se prescinde de esta información. Si bien era de utilidad, el dueño del campo no pudo conseguir esta información dada la gran cantidad de tiempo que había transcurrido desde la instalación del mismo (el sistema fue instalado el 2018 en el predio).</p>			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			
Anexo 6. Diseño de los nodos de sensado y nodo central			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
3	10	Construcción e implementación del sistema diseñado. Fotografías y videos del sistema en terreno.	95
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>Se han instalado finalmente 4 nodos de sensado (inicialmente se construyeron 15, se probaron en terreno 8). Se ha agregado además todos los elementos necesarios para un funcionamiento autónomo de la red eléctrica. Los componentes actuadores son principalmente válvulas hidráulicas de la marca Bermad con solenoides tipo latch de 4 ohm de impedancia (marca Raphael). Se ha adicionado además los nuevos sensores de humedad escogidos a 3 niveles (20, 60 y 80 cm específicamente). Para este fin, se realizaron aislaciones de los mismos utilizando barniz dieléctrico y carcasas impresas en plástico PETG rellenas con polímero termofusible (es un proceso similar a una aislación industrial para ambientes con agua pero casero). La decisión de instalar 4 nodos sensores se basa principalmente en la envergadura del nuevo predio a probar (este tiene una superficie total de 2 Has). Con esto se consigue abarcar la necesidad completa del mismo, ya que se tiene un nodo por cada válvula. Esto también guarda relación con aspectos económicos (menos nodos significan un costo menor). Para los nodos sensores se ha realizado una nueva revisión y posterior nueva fabricación para poder actuar solenoides de tipo latch (difieren en funcionamiento con respecto a los solenoides tradicionales). Se han adicionado elementos a los mismos que permiten gestionar de mejor forma la energía y se corrigieron errores generales con el conexionado del microprocesador y sus periféricos. Dentro de la caseta de riego se han instalado los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Filtro de malla de 120 um, 20 m3/hr - Presostato diferencial 0,8 a 10 bar (banda sintonizada entre 1,1 bar y 2,3 bar) - Tablero eléctrico con monitor HMI - Sistema de control electromecánico para bombas de riego y pozo <p>Así como también un re diseño de del sistema eléctrico para poder cumplir con las normas necesarias.</p> <p>También se realizó la mantención del filtro de cuarzo y una limpieza a las válvulas de aire cinéticas (aunque estas deben ser cambiadas).</p> <p>Queda por realizar la instalación de un partidur suave para la bomba de riego con el fin de evitar golpes de ariete en la partida del sistema.</p>			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			
Anexo 12. Construcción e instalación del sistema de control del riego.			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
3	11	Registros de humedad, temperatura, energía utilizada, criterios de riego, entre otros durante 2 meses.	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
De acuerdo a los datos registrados (principalmente humedad), hemos podido verificar que el sistema desarrollado hasta la fecha reduce el consumo de agua y energía en un 55% aproximadamente con respecto a una técnica de control manual (revisar anexo 13, tiempo de encendido de válvula en ambos casos). Sin embargo, esto aún sigue siendo un resultado preliminar, ya que es necesario recolectar una mayor cantidad de tiempo datos que nos permitan comprobar si esto es realmente cierto. Se ha graficado un día, por el hecho de que colocar todos los datos recolectados (en 1 mes), hace que realizar el gráfico sea complicado producto de la gran cantidad de registros generados.			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			
Anexo 13. Registros de datos de humedad			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
3	12	Informe de sistema instalado.	0
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
Se ha decidido priorizar el conseguir un buen funcionamiento del sistema, en vez de elaborar informes adicionales a los informes técnicos de FIA.			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
4	13	Reporte del estado inicial del suelo y los cultivos, para el grupo de control y el grupo experimental elaborado por experto agrónomo, incluyendo humedad aprovechable, lámina neta a reponer, y frecuencia de riego.	0
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
No elaborado, ya que no contamos con especialistas agrícolas actualmente que nos permitan obtener estos parámetros de acuerdo a procedimientos y normas estandarizadas. Contamos solamente con datos relacionados con el conocimiento que poseen los administradores de campo y el dueño en sí, por lo que al término del proyecto se han utilizado estos datos para el ajuste y sintonización del control implementado.			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
4	14	Registros de consumo de agua, energía eléctrica, humedad y temperatura registradas, y estado de cultivo durante todo el periodo de experimentación durante 4 meses, mínimo 3 eventos de riego mensualmente.	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
Guarda relación con el objetivo 3 RE 11.			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			
Anexo 13. Registros de datos de humedad			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
4	15	Informe comparativo en términos de agua consumida, energía eléctrica, estado del cultivo, inversión y gastos operacionales entre los 2 sistemas. Se espera al menos, tener los mismos resultados en términos de ahorro que los sistemas actuales de alto costo (hasta un 30% aprox. de ahorro en agua)	0
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>En los anexos 13, 14, 16 y 18, se muestran algunos datos relacionados con el consumo del sistema actual instalado (sistema de riego por goteo manual) vs el mismo sistema, pero con las modificaciones ejecutadas por el grupo de trabajo, donde se muestran datos de consumo de agua y energía. No se agregarán todos los datos por ser una gran cantidad de los mismos, lo que puede dificultar la visualización de los mismos. Dado a las dificultades que se presentaron durante la ejecución del proyecto (realizados a la situación sanitaria nacional y mundial) se agregan solo algunos gastos operacionales por no poder ser estimados de forma completa o en su defecto por la carencia de datos.</p>			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			
<p>Anexo 13. Registros de datos de humedad Anexo 14. Registros de humedad/flujo 1 mes Anexo 16. Muestra de datos de flujo y humedad. Anexo 18. Comparación sistemas 10 días</p>			

Nº O E	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	% de cumplimiento
5	16	Se estudiarán diversos modelos de negocios acorde a como se den los avances en cuanto a implementación técnica y económica del proyecto.	0
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.			
Dado que el sistema se encuentra aún en su etapa de validación, realizar un estudio de modelos de negocio resulta contraproducente. Aún hay detalles que deben ser verificados y errores menores que deben ser corregidos. También hay un asunto relacionado con la fabricación de este sistema en masa, por lo que pensar aún en formas de comercialización no tiene sentido por ahora.			
Indique el número y nombre del anexo que respalde el cumplimiento de los resultados del proyecto.			

7. CAMBIOS Y PROBLEMAS DEL PROYECTO

Especificar los cambios y problemas que se han generado durante el desarrollo del proyecto. Se debe considerar aspectos como: conformación del equipo técnico, problemas metodológicos, adaptaciones y/o modificaciones de actividades, cambios de resultados, gestión y administrativos, entre otros.

Describir cambios y problemas	Consecuencias (positivas o negativas) para el cumplimiento de los objetivos general y específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y problemas
Trabajo formal de uno de los integrantes del grupo	Consecuencias negativas: Se ha disminuido el tiempo de inspección de los elementos instalados en el campo, lo que ha llevado a fallas que no han podido ser solucionadas en corto tiempo, más aun considerando que el equipo	Se ha modificado el sistema para poder hacer reemplazos rápidos con el fin de minimizar el tiempo requerido al momento de realizar reparaciones.

	<p>de trabajo lo componen solo 2 personas.</p> <p>Consecuencias positivas: Se espera que en el corto plazo se pueda inyectar capital para seguir trabajando en la continuación del proyecto de forma privada.</p>	
Condiciones climáticas imperantes a la fecha	<p>Disminuye el tiempo de autonomía del sistema en el tema energético, debido a la menor cantidad de tiempo de energía solar presente. El frío disminuye el rendimiento de las baterías, por otra parte. En cuanto a los días nublados comienzan a aparecer pérdidas de datos, especialmente cuando hay lluvia.</p>	<p>A la fecha, no es posible realizar cambios, si bien, durante el período actual no se realizan operaciones de riego, puede significar un problema si es necesario. Se seguirá monitorizando el sistema con el fin de poder ver que acciones correctivas se pueden tomar.</p>
Fauna presente en el lugar	<p>La presencia de aves que se posan en los postes de monitorización disminuye la autonomía del sistema, pero en particular, en la carga de las baterías de los nodos de sensado y control. La deposición de las mismas sobre los paneles, produce corrosión de las capas protectoras de los mismos, acortando su vida útil y disminuyendo el factor de generación de energía eléctrica.</p>	<p>Es un problema no abordado a la fecha aún. Se debe pensar en una solución que no afecte a la fauna local.</p>

8. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO

8.1. Actividades programadas en el plan operativo y realizadas durante el período de ejecución del proyecto. Enumere según carta Gantt y explique brevemente.

8.2. Actividades programadas en el plan operativo y no realizadas durante el período de ejecución del proyecto. Enumere según carta Gantt y explique brevemente.

- OE3 RE12 - Informe de sistema instalado.
- OE4 RE13 - Reporte del estado inicial del suelo y los cultivos, para el grupo de control y el grupo experimental elaborado por experto agrónomo, incluyendo humedad aprovechable, lámina neta a reponer, y frecuencia de riego.
- OE5 RE16 - Se estudiarán diversos modelos de negocios acorde a como se den los avances en cuanto a implementación técnica y económica del proyecto.

8.3. Analizar las brechas entre las actividades programadas y las efectivamente realizadas durante el período de ejecución del proyecto.

Al término del proyecto las principales brechas que se produjeron durante la ejecución del mismo, guardan estrecha relación con la pandemia imperante. Esto supuso un revés importante en la ejecución, debido a brechas principalmente monetarias (y en esto se vuelve a ser majadero, la imposibilidad de pagar sueldos a los integrantes del equipo y en general el dinero contemplado para servicio a terceros) y de movilidad, ya que con la propagación del COVID-19, las restricciones imperantes impidieron un normal movimiento de materiales, visitas técnicas y de comprobación. Por otra parte, los tiempos mayores de entrega de insumos y consumibles para la realización de componentes y dispositivos de control y medición, retrasaron los tiempos planificados. Adicionalmente, la constante fluctuación de precios redujo significativamente la cantidad de materiales que serían comprados en un inicio. Durante el segundo año, el quiebre de stock de componentes vitales para el control de flujo de agua, impulsión y otros, nuevamente produjo retrasos en la prueba de componentes funcionales para el riego así como el montaje y comprobación del funcionamiento en general. En lo que respecta a asesoría técnica, la brecha se produce por contar con 1 profesional con experiencia, el cual, pasado cierto tiempo, no pudo seguir brindando apoyo al proyecto por un tema de tiempo (se le produjo una mayor carga laboral al estar en su casa). Esto pasó también con otros prestadores de servicios, quienes se vieron con una carga laboral mayor al empezar labores de teletrabajo. Si bien, se pudo suplir la falencia de estos profesionales a partir de literatura académica, experiencia práctica de nuevos colaboradores y una redistribución del tiempo, quedaron objetivos sin cumplir y que guardan relación principalmente con el análisis del suelo. Se pone énfasis en que no es una cuestión realmente crítica, pero sí es importante para el tema de una adecuada calibración de los instrumentos de medida. Otros objetivos no cumplidos, guardan

relación principalmente con una documentación de tipo formal, que para el caso, no es extremo complejo así como también, mediciones más intensivas de forma estandarizada. Un objetivo en particular no cumplido, o mejor dicho, parcialmente no cumplido, tiene que ver con la cantidad inicial de nodos de medición comprometidos (30). Esto se debe a que el espacio de prueba cambió (se pasó de 15 Has. a solamente 4), debido a temas de movilidad anteriormente descritos. Nuevamente, no supone un revés crítico, pero en temas de operatividad y robustez de la red a probar, las mediciones y el flujo de datos generados quedó inconcluso.

9. CAMBIOS EN EL ENTORNO

Indique si existieron cambios en el entorno que afectaron la ejecución del proyecto en los ámbitos tecnológico, de mercado, normativo, entre otros, y las medidas tomadas para enfrentar cada uno de ellos.

La constante subida y bajada del dólar, produce fluctuaciones grandes en los precios de todos los elementos que deban ser importados, especialmente los relacionados a electro válvulas y sus componentes. En conjunto con esto, la especulación de mercado contribuye a que los precios se inflen de sobre manera, haciendo que conseguir sistemas de bajo costo resulte difícil.

10. DIFUSIÓN

Describa las actividades de difusión realizadas durante la ejecución del proyecto:

Fecha	Lugar	Tipo de Actividad	Nº participantes ⁷	Documentación generada ⁸

⁷ Debe adjuntar en anexos las listas de participantes.

⁸ Debe adjuntar en anexos el material de difusión generado.

11. CONSIDERACIONES GENERALES

11.1. ¿Considera que los resultados obtenidos permitieron alcanzar el objetivo general del proyecto?

Si, en general, los resultados críticos o de importancia funcional y operativa fueron cubiertos en el desarrollo de proyecto. Se pudo comprobar la viabilidad, factibilidad e inversión inicial requerida para un sistema de riego en espacios pequeños (consideradas las modificaciones a determinados objetivos)

11.2. ¿Cómo fue el funcionamiento del equipo técnico del proyecto y la relación con los asociados, si los hubiere?

En lo que respecta a integrantes del equipo (al inicio del proyecto) fue mala por un tema netamente económico. Con respecto a los asociados, durante la primera parte no hubo un interés real por colaborar en la ejecución de proyecto, aunque se asocia más a un tema de situación país. En la segunda parte, los integrantes restantes del equipo siempre tuvieron una excelente disposición al trabajo, al cumplimiento de los objetivos y a replantear aquellos que fueran difíciles de conseguir, siempre en un ambiente de colaboración. Aquellos relacionados a servicios de terceros también tuvieron una buena disposición, aunque limitada nuevamente por cuestiones de tiempo y dinero. Con respecto a los asociados, hubo una disponibilidad para prestar ayuda por ser un tema relevante para el/los mismos, ayudando con temas de movilización de materiales y aportes en materias técnicas y cuestiones prácticas, así como un involucramiento en las actividades realizadas en el espacio de trabajo.

11.3. Mencione otros aspectos que considere relevante informar, (si los hubiere).

--

11.4. Complete el siguiente cuadro de resultados de proyecto, marcando con una x en la respuesta correcta:

Indique el tipo de innovación desarrollada:	Producto/Servicio	x
	Proceso	
Para el caso de innovación en producto y/o servicio, ¿realizó la primera venta del nuevo producto y/o servicio al término del proyecto?	Si	
	No	x
	Sí	x

Para el caso de innovación en proceso, ¿Implementó el nuevo proceso al término del proyecto?	No	
En el caso que su emprendimiento no estuviera formalizada al comienzo del proyecto, ¿logró constituir su empresa durante la ejecución del proyecto?	Sí	
	No	x
Durante la ejecución del proyecto, ¿Recibió otros fondos del estado?	Sí	
	No	x

12. CONCLUSIONES

Realice un análisis global de las principales conclusiones obtenidas luego de la ejecución del proyecto.

Al término de este proyecto, las conclusiones que pueden obtenerse son variadas. En primer lugar, las condiciones sanitarias que se dieron durante la ejecución de este proyecto fueron el factor fundamental para el desarrollo de este proyecto. Los motivos guardan relación principalmente a un aumento del precio proyectado originalmente en su ejecución, en algunos casos, se duplicaron los costos de algunos materiales (especialmente aquellos que fueron comprados en el país). Por el lado de movilizaciones, el traslado de materiales, instalación en campo y en general todo lo relacionado a visitas a terreno, se vio fuertemente restringido por las restricciones de movilidad y también la nula disponibilidad de arriendo de vehículos (recordar que las dependencias del sitio donde se ejecutó el proyecto, estaban alejadas de centros urbanos). Esta situación marcó pauta durante el primer año de ejecución de proyecto. Para tratar de paliar un poco esta situación, se cambió la ubicación de ejecución a una locación más cercana con el fin de realizar el traslado de materiales en tandas. Por otra parte, se produjo un quiebre en el grupo de trabajo, ya que los fondos del proyecto no permitían pagar sueldos a los integrantes del mismo, por lo que perdimos 3 integrantes del equipo originalmente conformado. Esto se manifestó en una carga mayor de trabajo para los dos integrantes restantes del mismo. Hubo también, problemas con los servicios de terceros, porque en algunos casos se nos cambió el precio por hora que cobraban y en otros casos simplemente no nos podían seguir apoyando por temas de sus trabajos principales. La continua alza de precios además, hizo tomar la decisión de re itemizar esos fondos a materiales requeridos ya sea para reemplazo o agregar partes y piezas que no estaban consideradas en un principio. En este mismo apartado, la gran cantidad de literatura relacionada a cuestiones agronómicas, nos permitió paliar la ausencia de los especialistas en el asunto considerados originalmente.

A fin de cumplir con el objetivo principal del proyecto, varios de los objetivos secundarios debieron ser eliminados, y, aunque se pudo construir el sistema, aún faltan varias modificaciones y pruebas que se deben efectuar. Para finalizar, es posible construir un sistema de control y monitorización de riego a un costo bajo y accesible para pequeños agricultores, robusto y fiable al menos dentro de la estación crítica (primavera – verano), poco invasivo y que no requiera de una elevada inversión inicial. Pero se deben tener consideraciones relacionadas con el ambiente en el que se instala, así como también las condiciones climáticas imperantes y a la fauna presente en el entorno. Para lograr un producto o un sistema más pulido, falta una mayor inversión económica y una mejor planificación considerando elementos como la pandemia reciente.

13. RECOMENDACIONES

Indique las recomendaciones/sugerencias que se consideran relevantes en relación con lo trabajado durante la ejecución del proyecto.

Ya que formalmente el proyecto terminó, la recomendación es seguir trabajando en el mismo de forma particular con los materiales restantes y la maquinaria con la que se contó durante la ejecución del proyecto. Esto para mejorar tanto los nodos de campo como el nodo central y lograr una versión más económica y compacta de este último. Se ha de inyectar capital de manera particular para comprar todo aquello que no pudo ser adquirido durante el período de ejecución, y de ser posible, pagar remuneración a los integrantes del grupo. Queda por afinar también los sensores de campo, especialmente aquellos encargados de medir la humedad volumétrica del suelo. Se armará un nuevo sistema de riego con control automático para evaluar el costo total de inversión requerida por el pequeño agricultor. En lo posible se mandarán a manufacturar tarjetas de nodos de campo y central para ver su costo de fabricación industrial con sus respectivos componentes. Y en general, afinar todos aquellos detalles necesarios para poder tener un producto mínimo viable. Si todo esto resulta, se buscará algún nuevo fondo concursable para poder financiar detalles finales y aquellos relacionados a la comercialización.

14. ANEXOS

Proporcionar la información necesaria que complemente y respalde los resultados indicados en el informe; especialmente la que permita verificar el nivel de cumplimiento de los resultados alcanzados durante toda la ejecución del proyecto. Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, fotos, protocolos, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan el % de cumplimiento descrito para cada resultado.

Anexo 1. Montaje de los nodos

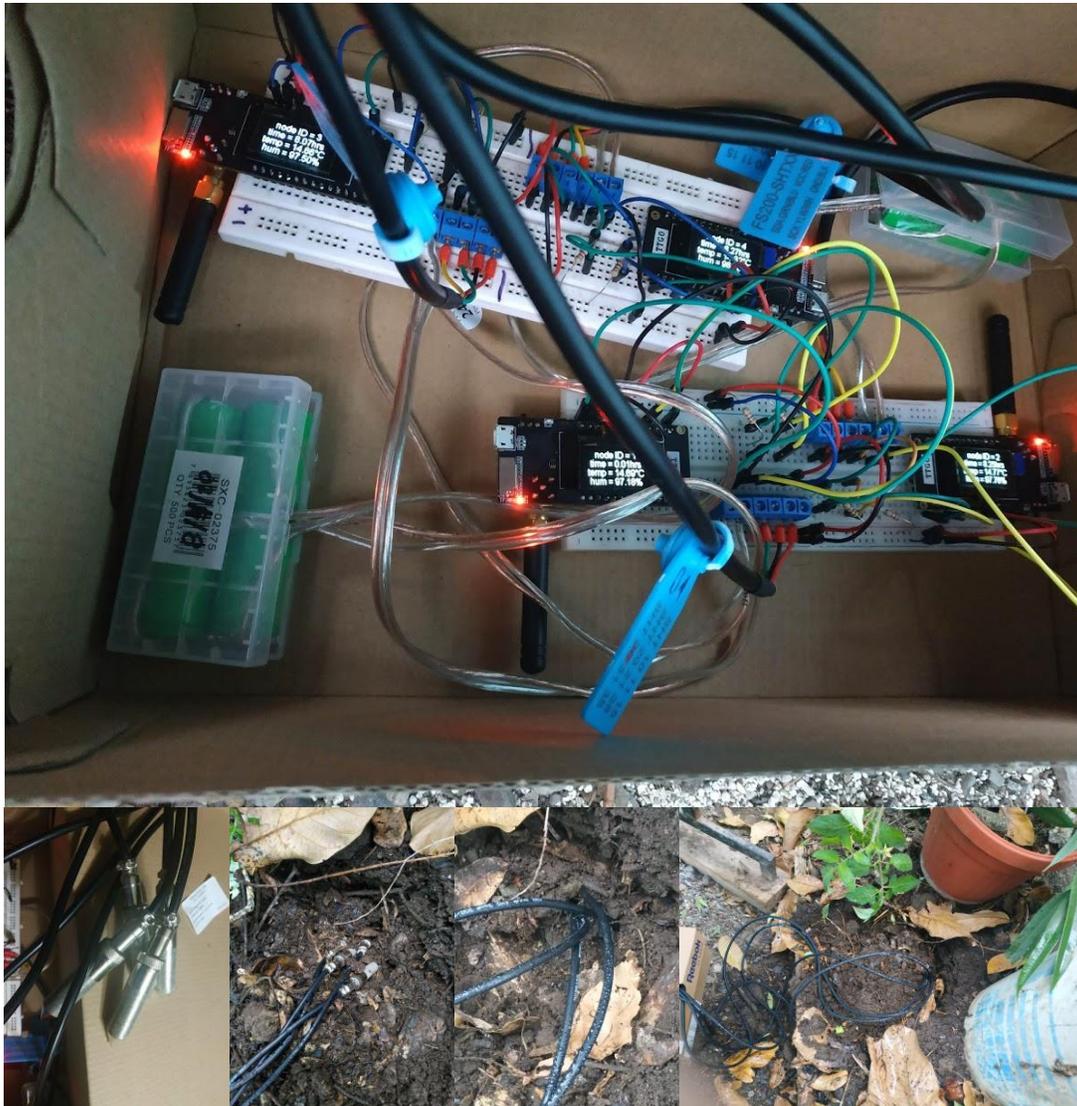
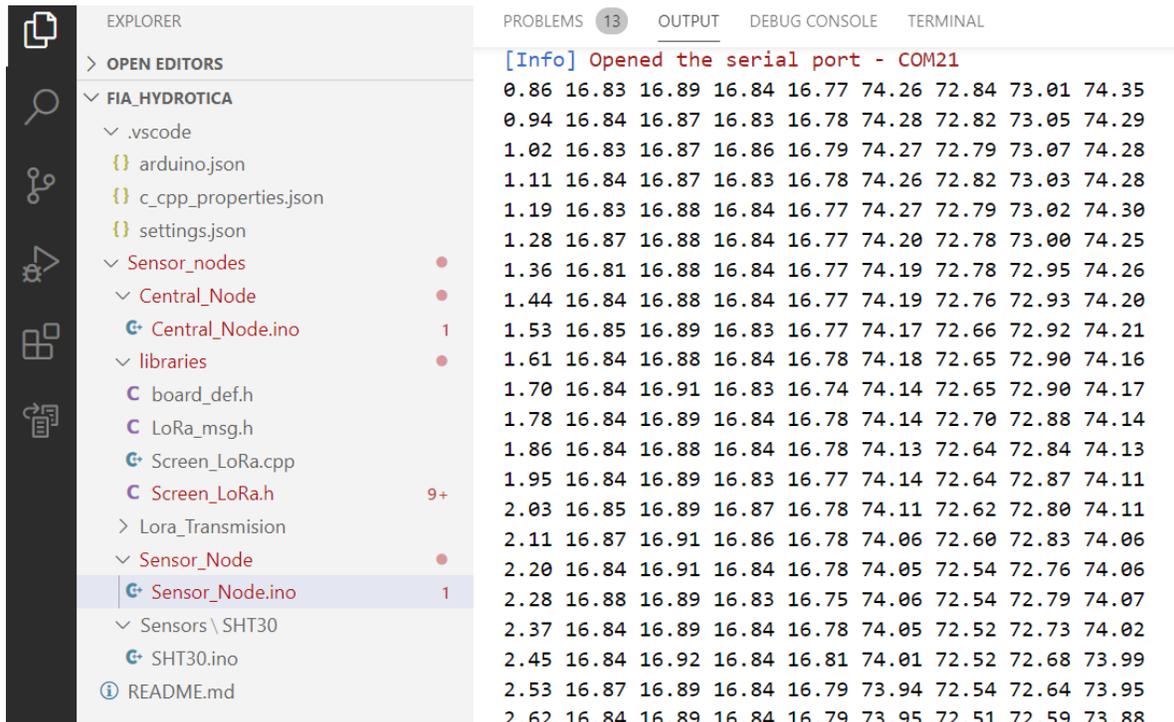


Figura 1. Primeros montajes provisionales de los nodos en un patio.

Anexo 2. Registros de humedad, temperatura y paquetes transmitidos



The terminal window shows the following data:

```
[Info] Opened the serial port - COM21
0.86 16.83 16.89 16.84 16.77 74.26 72.84 73.01 74.35
0.94 16.84 16.87 16.83 16.78 74.28 72.82 73.05 74.29
1.02 16.83 16.87 16.86 16.79 74.27 72.79 73.07 74.28
1.11 16.84 16.87 16.83 16.78 74.26 72.82 73.03 74.28
1.19 16.83 16.88 16.84 16.77 74.27 72.79 73.02 74.30
1.28 16.87 16.88 16.84 16.77 74.20 72.78 73.00 74.25
1.36 16.81 16.88 16.84 16.77 74.19 72.78 72.95 74.26
1.44 16.84 16.88 16.84 16.77 74.19 72.76 72.93 74.20
1.53 16.85 16.89 16.83 16.77 74.17 72.66 72.92 74.21
1.61 16.84 16.88 16.84 16.78 74.18 72.65 72.90 74.16
1.70 16.84 16.91 16.83 16.74 74.14 72.65 72.90 74.17
1.78 16.84 16.89 16.84 16.78 74.14 72.70 72.88 74.14
1.86 16.84 16.88 16.84 16.78 74.13 72.64 72.84 74.13
1.95 16.84 16.89 16.83 16.77 74.14 72.64 72.87 74.11
2.03 16.85 16.89 16.87 16.78 74.11 72.62 72.80 74.11
2.11 16.87 16.91 16.86 16.78 74.06 72.60 72.83 74.06
2.20 16.84 16.91 16.84 16.78 74.05 72.54 72.76 74.06
2.28 16.88 16.89 16.83 16.75 74.06 72.54 72.79 74.07
2.37 16.84 16.89 16.84 16.78 74.05 72.52 72.73 74.02
2.45 16.84 16.92 16.84 16.81 74.01 72.52 72.68 73.99
2.53 16.87 16.89 16.84 16.79 73.94 72.54 72.64 73.95
2.62 16.84 16.89 16.84 16.79 73.95 72.51 72.59 73.88
```

Figura 2. Ejemplo de primeras lecturas recibidas en pc conectado a nodo central.

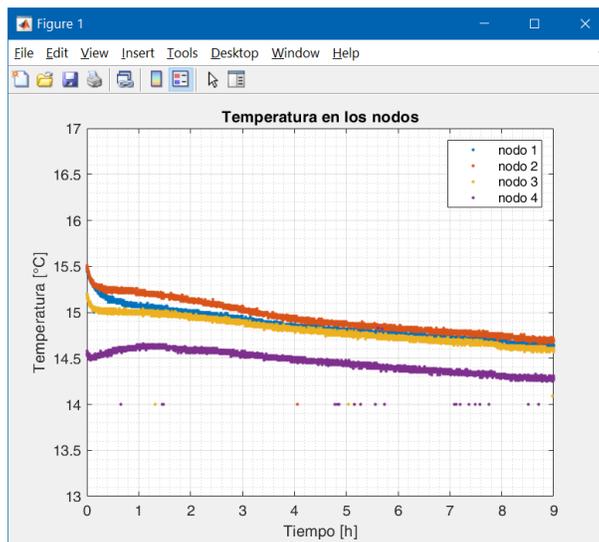


Figura 3. Registros de temperatura recibidos en pc conectado a nodo central.

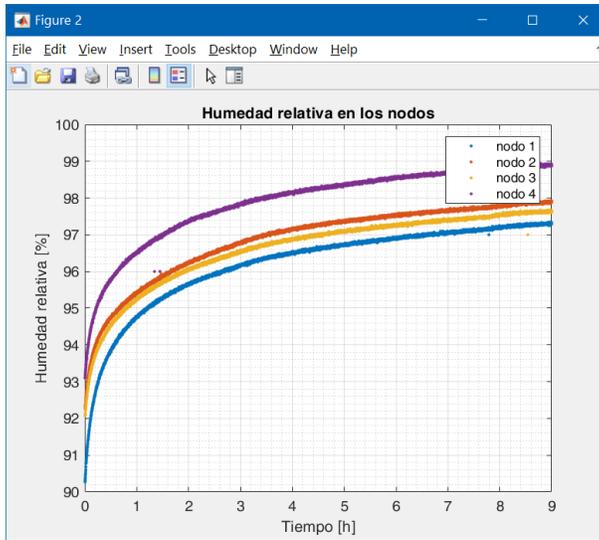


Figura 4. Registros de humedad relativa recibidos en pc conectado a nodo central.

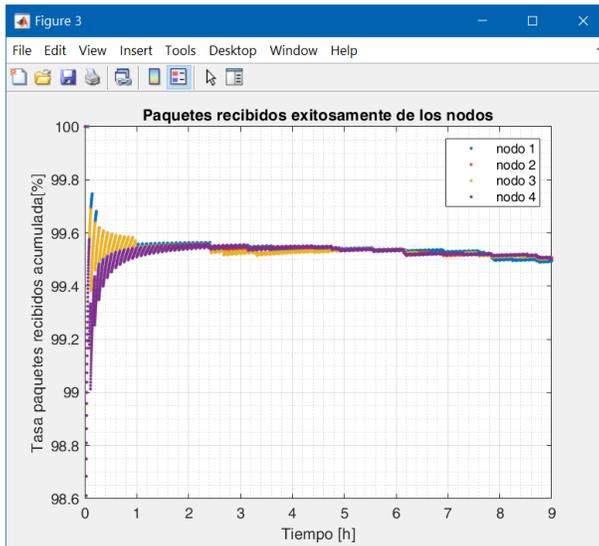


Figura 5. Registros de transmisión de paquetes recibidos en pc conectado a nodo central.

Anexo 3. Nivel de energía de las baterías



Figura 6. Nivel de voltaje en las baterías de 4 nodos luego de 12[h] de funcionamiento.

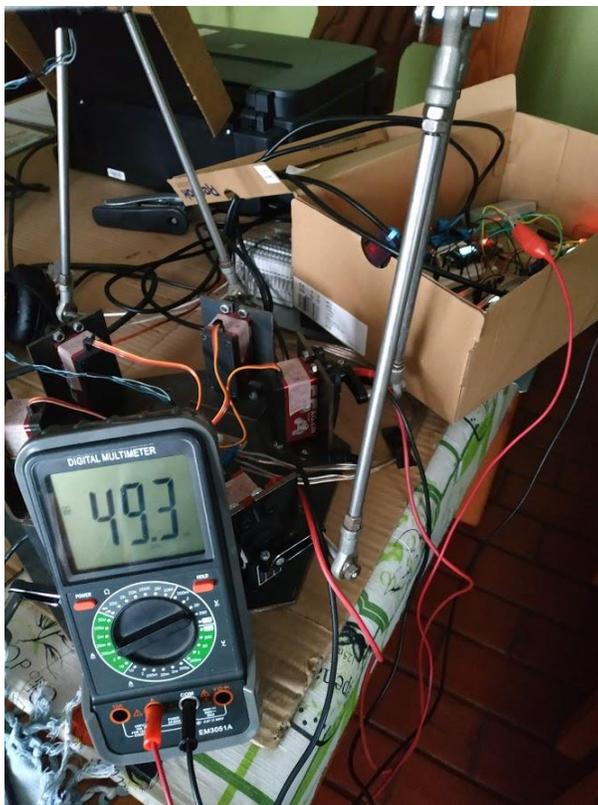


Figura 7. Consumo de corriente de un nodo en funcionamiento [mA].

Anexo 4. Comparación sensores de humedad

En la Figura 8 se presentan los resultados del experimento para comparar los sensores de humedad disponibles. La curva denominada “MAS-1” corresponde a la sonda de marca Decagon escogida como instrumento patrón, de alta calidad pero costo muy elevado; “Res” corresponde a una sonda de tipo resistivo, de muy bajo costo pero de baja precisión y de rápido desgaste; “Cap” corresponde a una sonda de tipo capacitiva, de costo ligeramente superior pero con mejor precisión y durabilidad; finalmente, “SHT30” es la sonda inicialmente escogida para los nodos, debido a que entrega al mismo tiempo medición de temperatura y humedad.

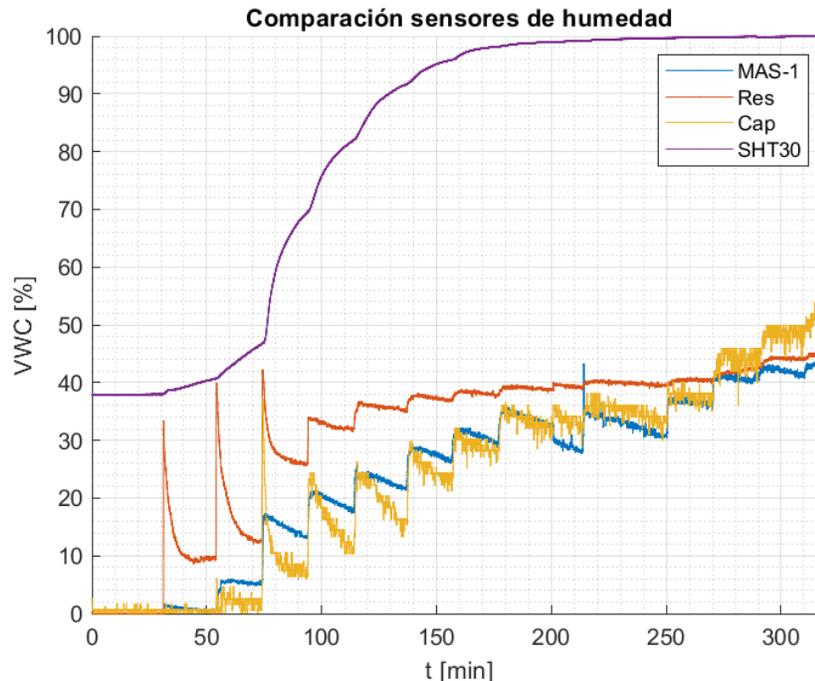


Figura 8. Comparación de sensores de humedad con instrumento patrón.

Para crear la condición inicial del experimento se realizó el secado de tierra extraída del patio de una casa, la que se depositó en un recipiente de dimensiones 15x15x9[cm] junto con los 4 sensores. Luego se iniciaron las mediciones con los sensores desde la condición de humedad mínima, para en forma periódica agregarle una cantidad de 40[ml] de agua cada 30[min] aprox.

En los resultados de la Figura 8 se identificó rápidamente que la sonda SHT30 no medía correctamente la humedad del suelo. La causa de esto es que dicha sonda, descubierta al investigar con detalle las características del sensor, es que esta no mide la humedad del suelo, específicamente el contenido de agua del suelo que es la que se desea medir y que miden los demás sensores. Lo que realmente mide dicha sonda es la humedad relativa del aire alrededor de la sonda, la que lamentablemente no presenta alguna relación de utilidad con la humedad del suelo. Lo que se observa en la medición de dicha sonda es que una vez que se riega el suelo, la humedad sube rápidamente a un valor cercano al 100%, mientras que la sonda MAS-1 no alcanza el 40%.

Por otra parte, se probaron un sensor capacitivo que se había adquirido como una posible alternativa a la sonda SHT30, y un prototipo de sensor capacitivo, construido por el equipo en base a diseños típicos de sensores capacitivos comerciales.

La comparación entre estas 2 alternativas indicó que el sensor capacitivo era el adecuado para reemplazar a la sonda SHT30, debido a su mayor precisión, durabilidad y costo. Cabe destacar que no se contaba con sensores capacitivos suficientes para los nodos de sensado, por lo que se realizó la compra de estos y se continuó con la construcción de los nodos para reemplazar las sondas SHT30 una vez que los nuevos sensores fueran recibidos.

Anexo 5. Prueba de autonomía energética

Se realizó una prueba con el nodo de monitoreo en funcionamiento normal para evaluar la duración de la batería sin ser recargada con el panel solar. Estos resultados se muestran en la Figura 9. En ella se observa que en las primeras 2 horas se realiza la carga de la batería para iniciar la prueba con una carga completa y posteriormente ocurre la descarga en condiciones de funcionamiento normal. Los datos indican que se alcanza la autonomía energética de 12 horas, esto debido a que el nodo funciona correctamente incluso para un voltaje de la batería de 3.5[V].

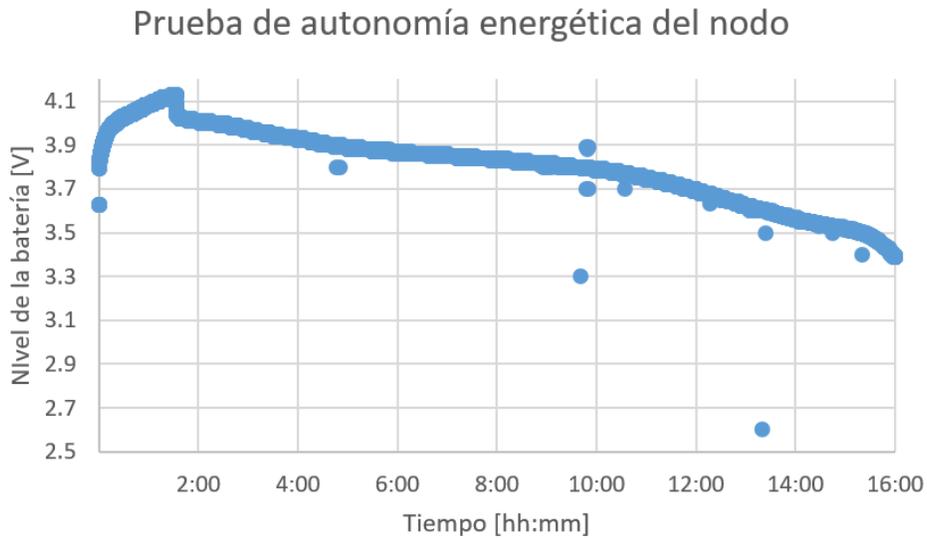


Figura 9. Prueba de autonomía energética del nodo.

Anexo 6. Diseño de los nodos de sensado y nodo central

Se realizó el diseño mecánico de diversas piezas en software de diseño 3D, para su posterior fabricación con las impresoras 3D adquiridas en el proyecto. Los diseños corresponden a las carcasas para los nodos de sensado y el nodo central, y soportes para paneles solares. Los diseños se muestran en las Figuras 10 a 12.

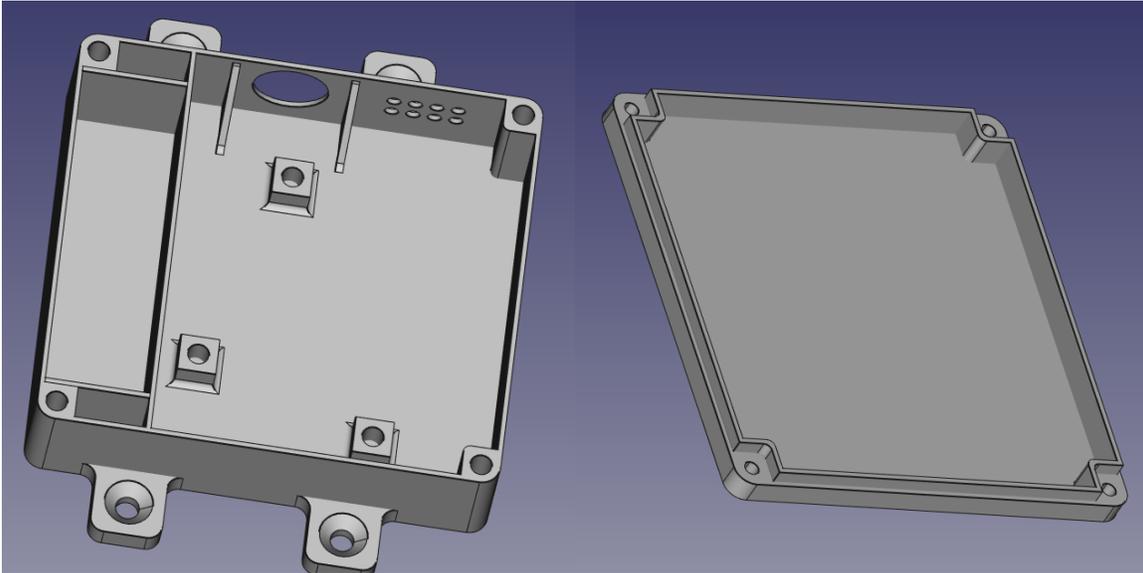


Figura 10. Diseño de la carcasa para el nodo de sensado.

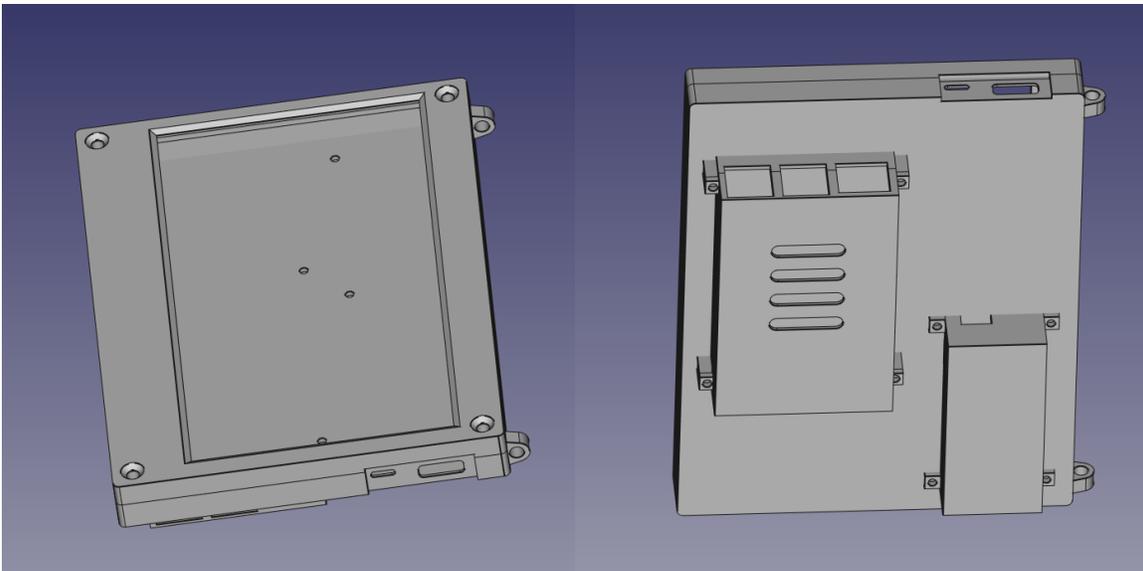
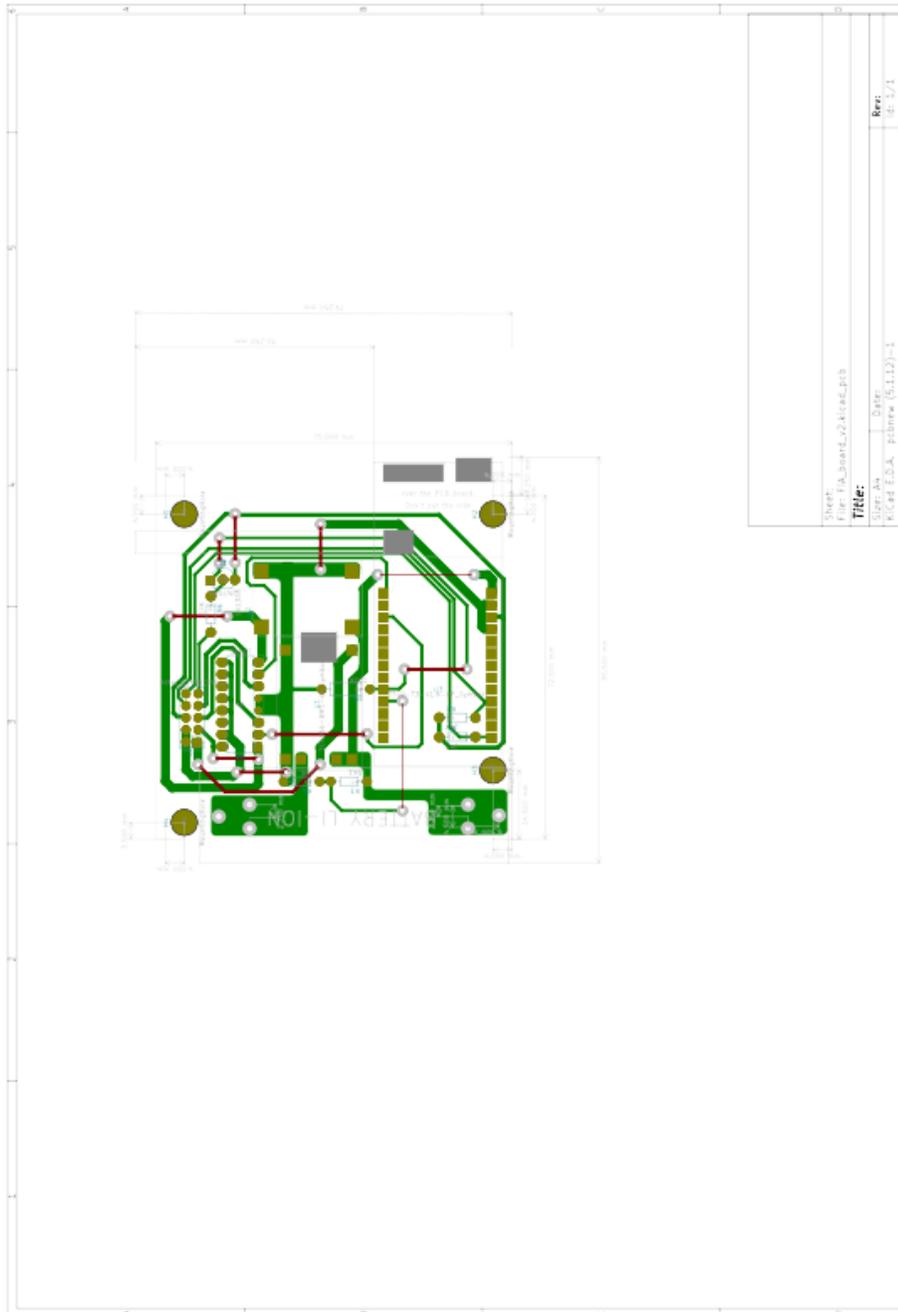
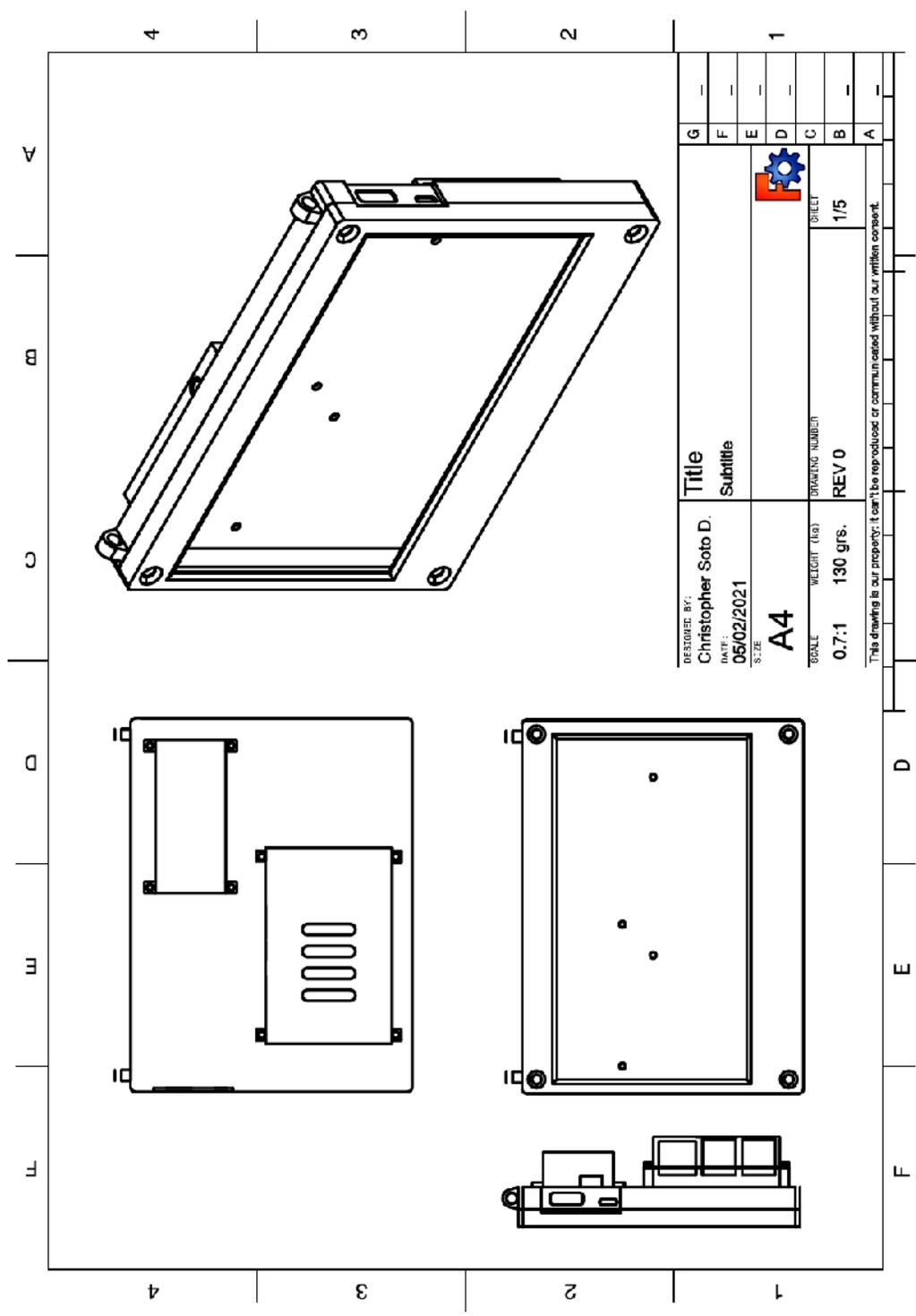


Figura 11. Diseño de la carcasa para el nodo central.



Figura 12. Diseño de soporte para panel solar.





Componente	Valor
Microcontrolador	\$9.657
Componentes electrónicos generales	\$5.322
Batería	\$2.000
Carcasa y sujeciones	\$9.705
Total	\$26.684

Tabla 1. Valor de un nodo de sensado en campo

Componente	Valor
Micro computador	\$36.524
Pantalla táctil	\$25.487
Componentes electrónicos generales	\$45.674
Carcasa y sujeciones	\$6.827
Total	\$114.512

Tabla 2. Valor de un nodo de control (nodo central) en campo

Anexo 7. Construcción de nodos de sensado y nodo central

Algunas fotos de los nodos construidos se muestran a continuación.

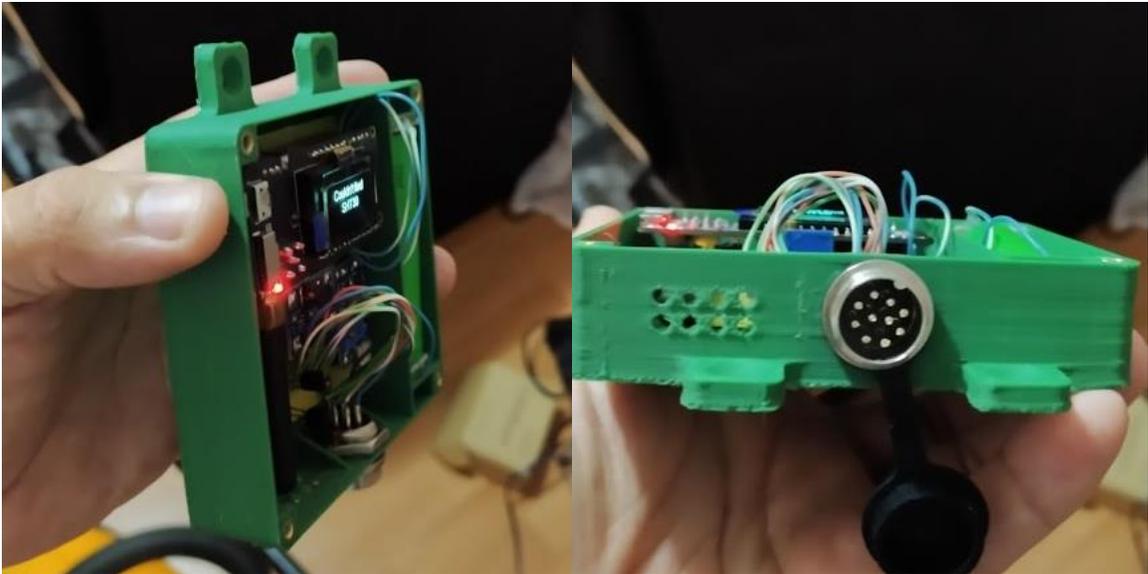


Figura 13. Detalle de un nodo de sensado construido.



Figura 14. Nodos de sensado construidos.



Figura 15. Nodo central construido.



Figura 16. Panel solar en su estructura de soporte.

Anexo 8. Instalación de nodos de sensado en campo



Figura 17. Poste con nodo sensor instalado.



Figura 18. Nodos de monitoreo instalados en campo.

Anexo 9. Medición de humedad con nuevos sensores



Figura 19. Sensor de tipo capacitivo seleccionado para medir la humedad.

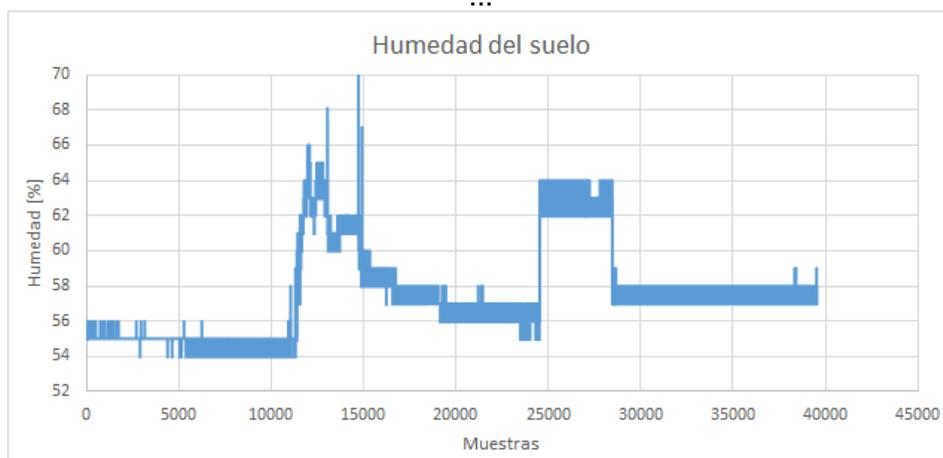


Figura 20. Medición de humedad con nuevos sensores.

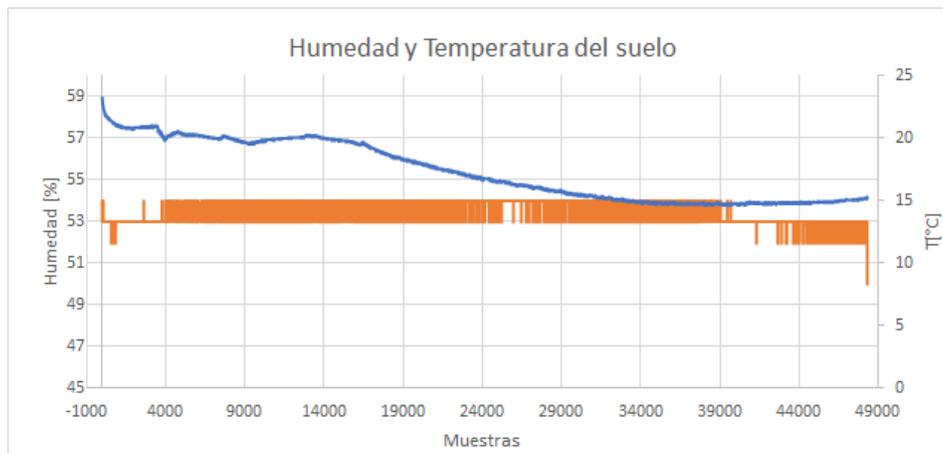


Figura 21. Medición de humedad con nuevos sensores.

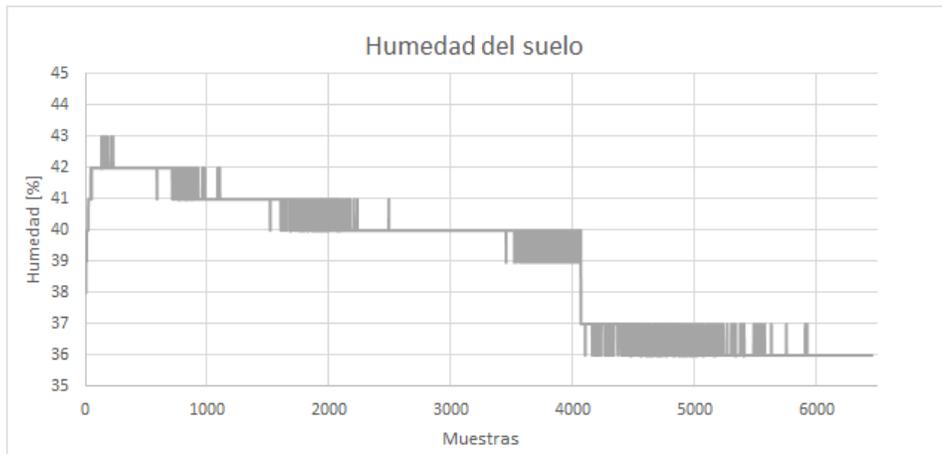


Figura 22. Medición de humedad con nuevos sensores.

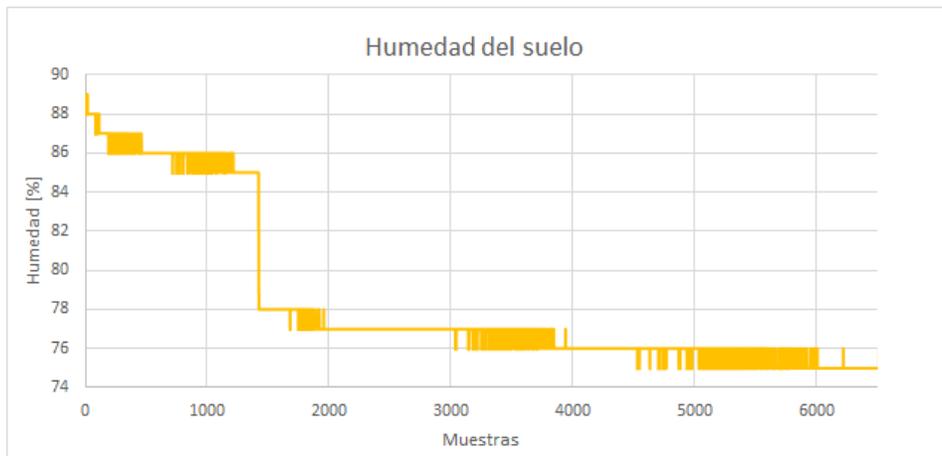


Figura 23. Medición de humedad con nuevos sensores.

Anexo 10. Terreno donde se realizó la instalación del sistema

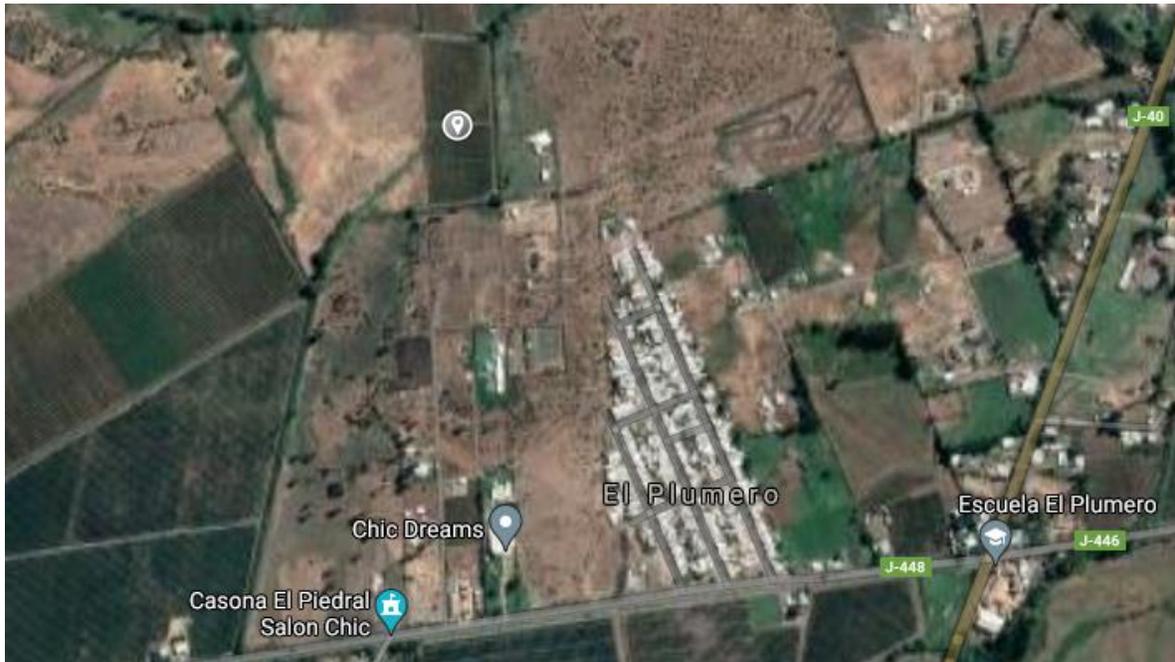


Figura 24. Ubicación del campo donde se instaló el sistema.



Figura 25. Dimensiones del terreno de acuerdo a imágenes satelitales.

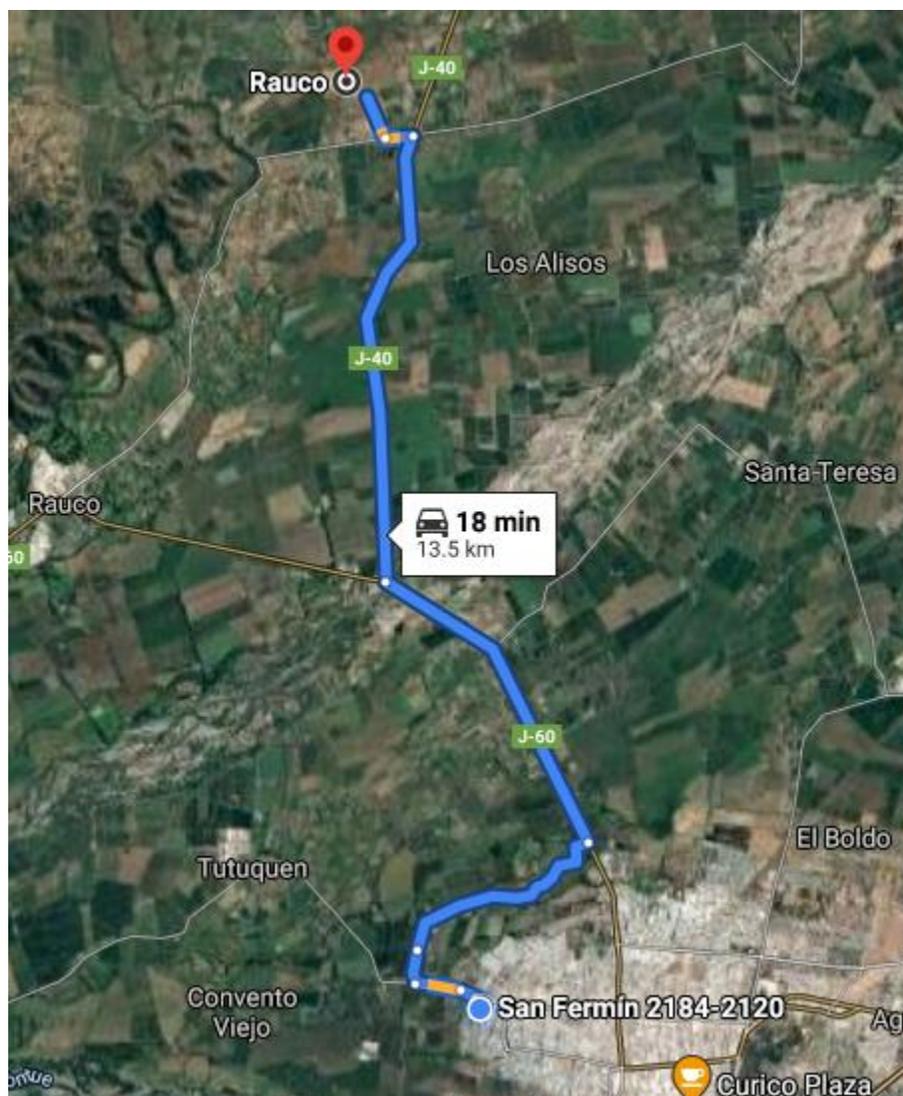


Figura 26. Ubicación del campo para pruebas y distancia a Curicó.

Anexo 11. Referencias revisadas sobre modelos para el riego

1. Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego - Julián Carrazón Alocén. 2007.
2. Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de riego en cultivos agrícolas - Rutilo López López et al. 2009.
3. Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo - Petillo et al.
4. Proyecto SHDS Sensor de Humedad de Suelos – C. Guastavino et al. Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. 2009.
5. Manejo Y Uso Eficiente Del Agua De Riego Intrapredial Para El Sur De Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Boletín INIA 340, 2016.

Anexo 12. Construcción e instalación del sistema de control del riego



Figura 27. Maquinado de tuberías en torno.



Figura 28. Instalación de válvulas de control.



Figura 29. Instalación de presostato en caseta de control.



Figura 30. Inspección de nodos de sensorización instalados previamente en campo.

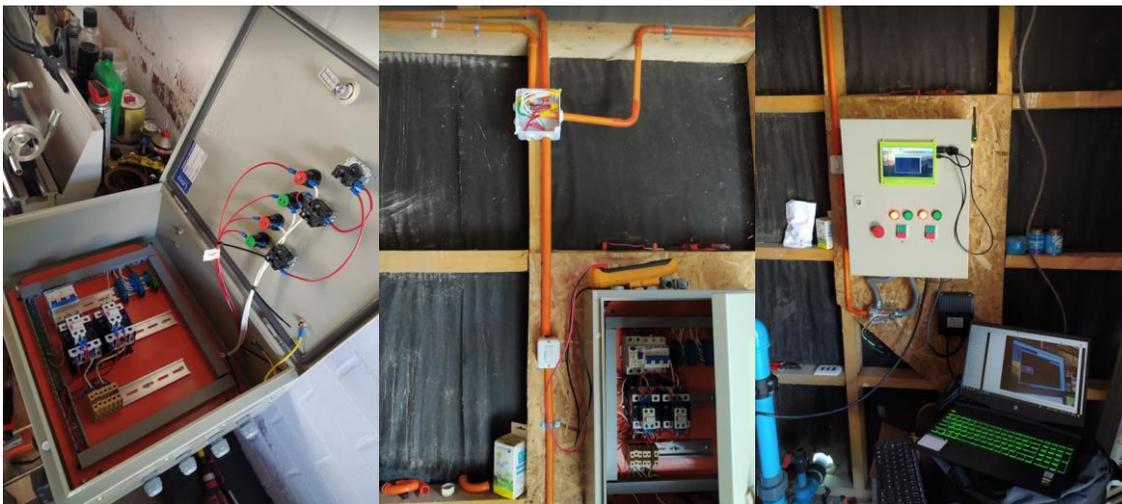


Figura 31. Construcción e instalación de gabinete de control en caseta de control.



Figura 32. Interfaz de usuario (pantalla principal).



Figura 33. Interfaz de usuario (pantalla de control).



Figura 34. Interfaz de usuario (pantalla de monitoreo).

Anexo 13. Registros de datos de humedad

El sistema de riego automático funciona manteniendo la humedad entre 2 niveles (inferior y superior). Activando la válvula el tiempo suficiente para mantener la humedad en el rango deseado, a diferencia del modo manual, en el que se riega durante varias horas al día sin tener claridad de si el agua entregada es o no suficiente para mantener las condiciones de humedad deseadas.

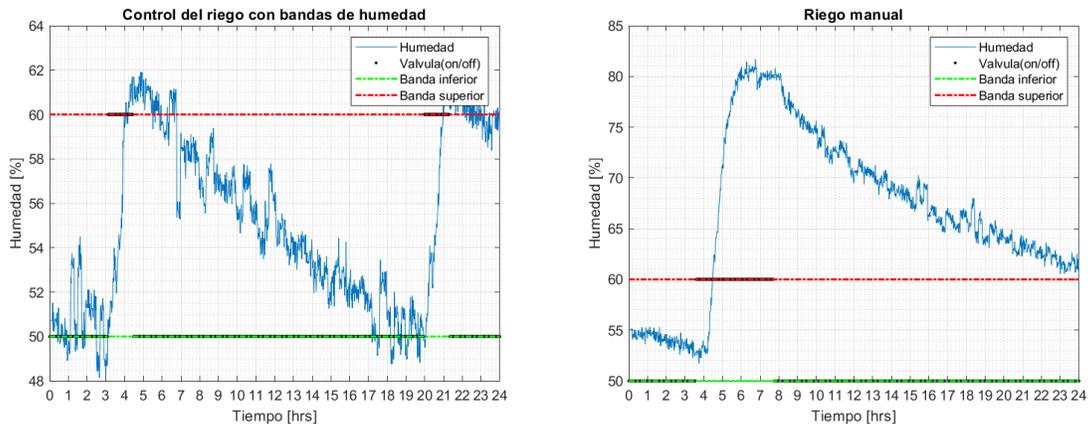


Figura 35. Registros de humedad con sistema en modo automático y manual.

Anexo 14. Registros de humedad/flujo 1 mes

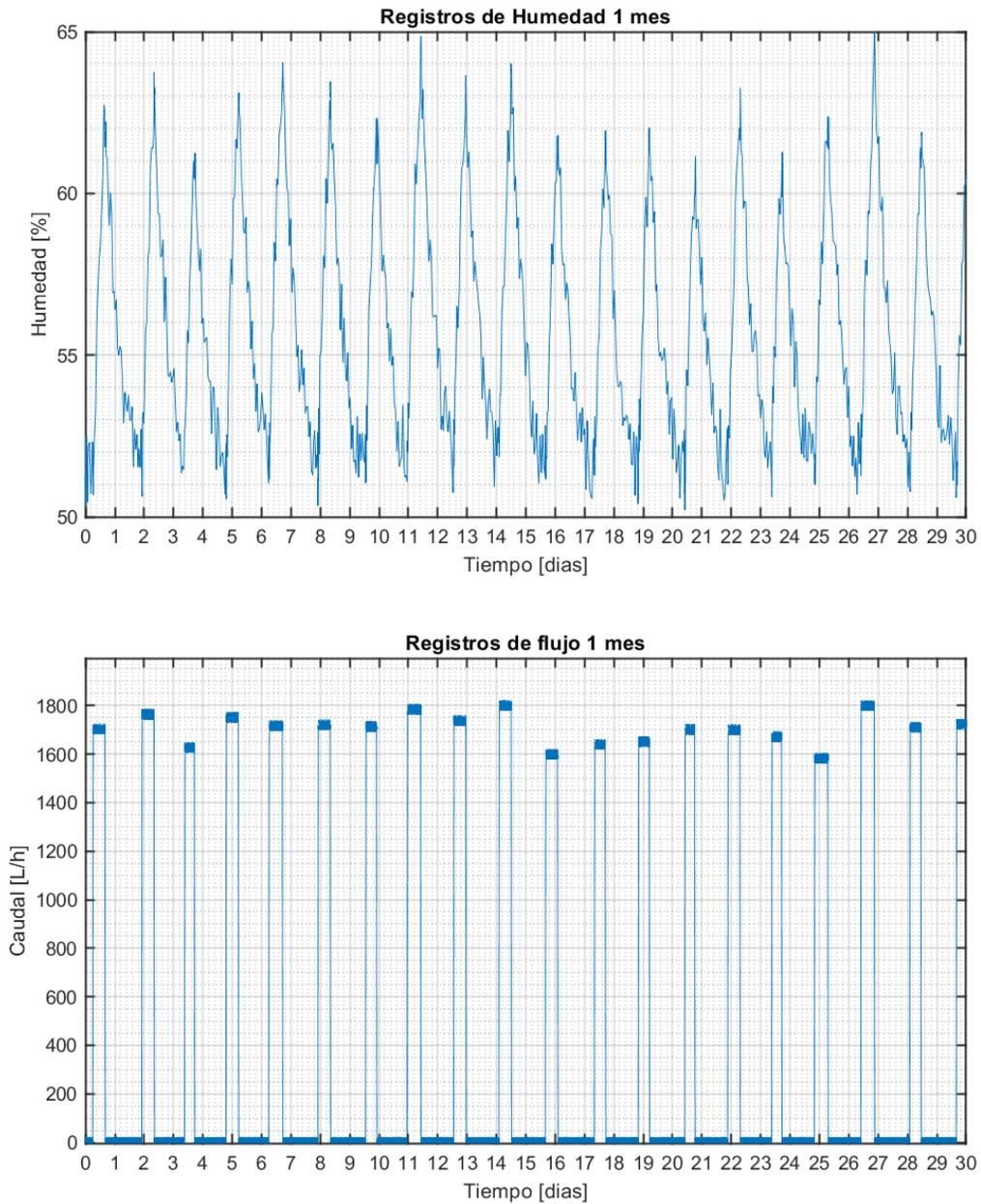


Figura 35. Registros de humedad y flujo durante 1 mes.

Anexo 15. Fotografías del sistema luego de 2 meses de operación



Figura 36. Poste con nodo de monitoreo.



Figura 37. Sensor de humedad y panel solar.



Figura 38. Base del poste nodo de monitoreo.



Figura 39. Sensor de flujo.



Figura 40. Estado actual del presostato.



Figura 41. Gabinete de control con interfaz de usuario y visualizador voltaje/corriente.



Figura 42. Recambio de regletas de línea de neutro y bandejas eléctricas.

Anexo 16. Muestra de datos de flujo y humedad

Tiempo [h]	Flujo [L/h]	Humedad [%]
228.80	-7.09	51.75
228.82	-16.47	51.65
228.83	11.37	51.55
228.85	10.29	51.45
228.87	9.74	51.35
228.88	-6.46	51.25
228.90	-7.34	51.15
228.92	-4.01	51.05
228.93	-11.66	51.09
228.95	14.58	51.15
228.97	-3.13	51.20
228.98	6.48	51.26
229.00	1.26	51.32
229.02	392.63	51.38
229.03	557.06	51.43
229.05	673.71	51.49
229.07	769.20	51.55
229.08	841.39	51.61
229.10	926.49	51.66
229.12	1,011.50	51.72
229.13	1,092.61	51.78
229.15	1,148.93	51.83
229.17	1,205.13	51.89
229.18	1,268.58	51.83
229.20	1,321.06	51.76
229.22	1,374.11	51.68
229.23	1,414.30	51.61
229.25	1,465.51	51.53
229.27	1,520.47	51.45
229.28	1,588.24	51.38

229.30	1,637.47	51.30
229.32	1,661.74	51.23
229.33	1,698.39	51.15
229.35	1,729.15	51.09
229.37	1,724.12	51.18
229.38	1,731.33	51.26
229.40	1,723.67	51.34
229.42	1,694.31	51.42
229.43	1,705.15	51.51
229.45	1,696.51	51.59
229.47	1,714.22	51.67
229.48	1,703.14	51.75
229.50	1,725.88	51.83
229.52	1,731.75	51.92
229.53	1,730.61	52.00
229.55	1,711.85	52.10
229.57	1,696.15	52.20
229.58	1,697.91	52.29
229.60	1,718.51	52.39
229.62	1,707.30	52.48
229.63	1,709.71	52.58
229.65	1,697.52	52.68
229.67	1,728.78	52.77
229.68	1,716.17	52.87
229.70	1,730.57	52.97
229.72	1,721.56	53.06
229.73	1,730.82	53.16
229.75	1,703.02	53.26
229.77	1,727.83	53.35
229.78	1,727.84	53.42
229.80	1,729.33	53.37
229.82	1,694.39	53.33
229.83	1,695.74	53.28

229.85	1,700.16	53.23
229.87	1,712.27	53.18
229.88	1,716.20	53.14
229.90	1,732.81	53.09
229.92	1,694.73	53.04
229.93	1,702.82	53.00
229.95	1,726.91	52.95
229.97	1,728.87	52.90
229.98	1,719.39	52.86
230.00	1,728.19	52.81
230.02	1,715.79	52.76
230.03	1,709.20	52.72
230.05	1,724.65	52.67
230.07	1,718.40	52.62
230.08	1,732.70	52.57
230.10	1,709.92	52.53
230.12	1,695.37	52.48
230.13	1,727.35	52.43
230.15	1,729.18	52.39
230.17	1,694.11	52.37
230.18	1,708.93	52.41
230.20	1,729.95	52.46
230.22	1,711.45	52.50
230.23	1,715.03	52.54
230.25	1,710.05	52.59
230.27	1,715.42	52.63
230.28	1,730.82	52.68
230.30	1,731.05	52.72
230.32	1,726.27	52.77
230.33	1,716.56	52.81
230.35	1,697.37	52.86
230.37	1,700.34	52.90
230.38	1,694.74	52.95

230.40	1,733.55	52.99
230.42	1,728.12	53.04
230.43	1,708.21	53.08
230.45	1,725.64	53.12
230.47	1,730.14	53.17
230.48	1,725.90	53.21
230.50	1,694.54	53.26
230.52	1,711.96	53.30
230.53	1,717.31	53.35
230.55	1,710.35	53.39
230.57	1,694.36	53.44
230.58	1,710.85	53.48
230.60	1,700.16	53.53
230.62	1,718.25	53.57
230.63	1,716.02	53.62
230.65	1,712.80	53.66
230.67	1,709.08	53.71
230.68	1,706.00	53.75
230.70	1,701.61	53.79
230.72	1,730.97	53.84
230.73	1,728.33	53.88
230.75	1,693.77	53.93
230.77	1,728.59	53.97
230.78	1,718.88	54.02
230.80	1,721.39	54.06
230.82	1,706.59	54.10
230.83	1,696.89	54.14
230.85	1,708.78	54.18
230.87	1,718.31	54.22
230.88	1,726.60	54.26
230.90	1,708.88	54.30
230.92	1,702.84	54.35
230.93	1,706.64	54.39

230.95	1,729.41	54.43
230.97	1,714.18	54.47
230.98	1,715.94	54.51
231.00	1,724.73	54.55
231.02	1,703.08	54.59
231.03	1,704.29	54.63
231.05	1,699.90	54.68
231.07	1,721.69	54.72
231.08	1,707.47	54.76
231.10	1,706.89	54.80
231.12	1,710.63	54.84
231.13	1,723.64	54.88
231.15	1,702.40	54.92
231.17	1,726.92	54.96
231.18	1,732.24	55.01
231.20	1,699.26	55.05
231.22	1,718.41	55.09
231.23	1,716.78	55.13
231.25	1,728.67	55.17
231.27	1,731.92	55.21
231.28	1,709.71	55.25
231.30	1,712.36	55.29
231.32	1,729.59	55.34
231.33	1,721.37	55.38
231.35	1,703.27	55.42
231.37	1,714.66	55.46
231.38	1,716.13	55.50
231.40	1,729.45	55.54
231.42	1,704.86	55.58
231.43	1,733.39	55.62
231.45	1,713.77	55.67
231.47	1,706.36	55.71
231.48	1,722.66	55.75

231.50	1,703.15	55.79
231.52	1,723.66	55.83
231.53	1,726.24	55.87
231.55	1,702.37	55.91
231.57	1,704.86	55.95
231.58	1,726.10	56.00
231.60	1,733.59	56.04
231.62	1,719.80	56.08
231.63	1,712.93	56.12
231.65	1,696.77	56.16
231.67	1,717.41	56.20
231.68	1,711.12	56.24
231.70	1,703.37	56.28
231.72	1,707.97	56.33
231.73	1,716.58	56.37
231.75	1,706.68	56.41
231.77	1,714.77	56.45
231.78	1,723.45	56.47
231.80	1,707.80	56.49
231.82	1,723.33	56.50
231.83	1,706.94	56.51
231.85	1,717.74	56.52
231.87	1,696.94	56.54
231.88	1,706.22	56.55
231.90	1,700.23	56.56
231.92	1,698.82	56.58
231.93	1,709.35	56.59
231.95	1,731.63	56.60
231.97	1,723.05	56.61
231.98	1,704.11	56.63
232.00	1,706.63	56.64
232.02	1,697.72	56.65
232.03	1,712.76	56.67

232.05	1,728.42	56.68
232.07	1,723.85	56.69
232.08	1,705.18	56.70
232.10	1,701.72	56.72
232.12	1,723.01	56.73
232.13	1,725.42	56.74
232.15	1,716.66	56.76
232.17	1,705.19	56.77
232.18	1,706.81	56.78
232.20	1,711.39	56.79
232.22	1,697.64	56.81
232.23	1,733.43	56.82
232.25	1,716.90	56.83
232.27	1,724.35	56.85
232.28	1,702.72	56.86
232.30	1,696.04	56.87
232.32	1,694.00	56.89
232.33	1,703.35	56.90
232.35	1,716.27	56.91
232.37	1,706.38	56.92
232.38	1,719.21	56.94
232.40	1,728.66	56.95
232.42	1,702.48	56.96
232.43	1,724.51	56.98
232.45	1,699.26	56.99
232.47	1,730.91	57.00
232.48	1,730.76	57.01
232.50	1,701.25	57.03
232.52	1,720.16	57.04
232.53	1,725.05	57.05
232.55	1,713.07	57.07
232.57	1,730.78	57.08
232.58	1,722.80	57.09

232.60	1,713.01	57.10
232.62	1,705.22	57.12
232.63	1,706.00	57.13
232.65	1,695.14	57.14
232.67	1,728.18	57.16
232.68	1,714.90	57.17
232.70	1,730.49	57.18
232.72	1,730.16	57.20
232.73	1,699.35	57.21
232.75	1,696.10	57.22
232.77	1,718.99	57.23
232.78	1,696.40	57.24
232.80	1,703.54	57.25
232.82	1,723.63	57.26
232.83	1,725.79	57.27
232.85	1,708.86	57.29
232.87	1,697.58	57.30
232.88	1,706.31	57.31
232.90	1,693.82	57.32
232.92	1,714.34	57.33
232.93	1,706.82	57.34
232.95	1,719.38	57.35
232.97	1,720.89	57.36
232.98	1,733.65	57.37
233.00	1,728.73	57.38
233.02	1,702.58	57.39
233.03	1,730.03	57.40
233.05	1,723.16	57.41
233.07	1,705.84	57.42
233.08	1,730.72	57.43
233.10	1,726.57	57.44
233.12	1,696.21	57.45
233.13	1,716.54	57.46

233.15	1,720.92	57.47
233.17	1,709.18	57.48
233.18	1,703.99	57.49
233.20	1,718.96	57.50
233.22	1,697.47	57.51
233.23	1,709.98	57.52
233.25	1,730.58	57.53
233.27	1,699.81	57.54
233.28	1,730.86	57.55
233.30	1,709.71	57.56
233.32	1,727.65	57.57
233.33	1,698.14	57.58
233.35	1,696.77	57.59
233.37	1,725.56	57.60
233.38	1,698.44	57.61
233.40	1,709.99	57.62
233.42	1,696.81	57.63
233.43	1,716.66	57.64
233.45	1,695.13	57.65
233.47	1,698.05	57.66
233.48	1,728.11	57.67
233.50	1,717.99	57.68
233.52	1,725.70	57.69
233.53	1,714.21	57.70
233.55	1,729.17	57.71
233.57	1,716.23	57.72
233.58	1,727.02	57.73
233.60	1,731.56	57.74
233.62	1,705.14	57.75
233.63	1,711.36	57.76
233.65	1,713.84	57.77
233.67	1,723.04	57.78
233.68	1,730.29	57.79

233.70	1,694.33	57.80
233.72	1,701.39	57.81
233.73	1,702.22	57.82
233.75	1,719.05	57.83
233.77	1,725.15	57.84
233.78	1,712.10	57.86
233.80	1,733.17	57.88
233.82	1,702.74	57.91
233.83	1,719.70	57.93
233.85	1,723.09	57.96
233.87	1,725.21	57.98
233.88	1,719.51	58.01
233.90	1,724.88	58.03
233.92	1,730.35	58.06
233.93	1,696.03	58.08
233.95	1,705.16	58.11
233.97	1,707.33	58.13
233.98	1,729.41	58.16
234.00	1,709.10	58.18
234.02	1,727.76	58.21
234.03	1,715.72	58.23
234.05	1,732.19	58.26
234.07	1,716.28	58.28
234.08	1,703.96	58.31
234.10	1,716.78	58.33
234.12	1,725.27	58.35
234.13	1,715.22	58.38
234.15	1,698.01	58.40
234.17	1,722.62	58.43
234.18	1,732.34	58.45
234.20	1,696.98	58.48
234.22	1,712.74	58.50
234.23	1,709.41	58.53

234.25	1,728.16	58.55
234.27	1,707.65	58.58
234.28	1,716.01	58.60
234.30	1,722.62	58.63
234.32	1,701.28	58.65
234.33	1,730.05	58.68
234.35	1,717.62	58.70
234.37	1,711.34	58.73
234.38	1,700.70	58.75
234.40	1,727.29	58.78
234.42	1,712.29	58.80
234.43	1,732.69	58.83
234.45	1,731.75	58.85
234.47	1,717.40	58.88
234.48	1,722.30	58.90
234.50	1,716.24	58.93
234.52	1,717.45	58.95
234.53	1,708.44	58.98
234.55	1,723.65	59.00
234.57	1,704.85	59.03
234.58	1,710.15	59.05
234.60	1,702.84	59.08
234.62	1,713.63	59.10
234.63	1,731.00	59.13
234.65	1,699.98	59.15
234.67	1,709.30	59.18
234.68	1,698.71	59.20
234.70	1,710.07	59.23
234.72	1,708.18	59.25
234.73	1,728.54	59.28
234.75	1,710.83	59.30
234.77	1,714.84	59.33
234.78	1,704.84	59.34

234.80	1,731.40	59.36
234.82	1,723.23	59.37
234.83	1,718.98	59.39
234.85	1,693.80	59.40
234.87	1,712.42	59.41
234.88	1,707.41	59.43
234.90	1,713.07	59.44
234.92	1,712.23	59.46
234.93	1,717.48	59.47
234.95	1,704.39	59.48
234.97	1,723.45	59.50
234.98	1,716.70	59.51
235.00	1,694.37	59.52

Anexo 17. Estimación de costos operacionales (total del período)

Actividad	Valor
Traslado de materiales	\$134.539
Inspecciones a terreno	\$654.758
Instalación de elementos de control	\$94.511
Reparaciones y recambios	\$831.872
Total	\$1.715.680

Tabla 3. Estimación de costos operacionales.

El ítem que mayor cantidad de gastos produjo fue el de reparaciones y recambios. Esto se debe principalmente a que durante el período de ejecución del proyecto, algunos componentes previamente instalados fallaron o bien, no se encontraban en condiciones deseables de operación para el nuevo sistema (con esto se hace referencia a operaciones normalizadas a algún estándar industrial). Por lo tanto, se hizo necesario el reacondicionamiento de elementos eléctricos y protecciones al personal. Además, debido a la lejanía con respecto a la ciudad, las variaciones de voltaje que se producen en el día hacen que elementos como bombas y en general, accionamientos eléctricos fallen por cuestiones de sobre exigencia o cambios en sus condiciones nominales de operación. Para evitar estos problemas se agregaron elementos de visualización de variables como

corriente y voltaje, para que el operador sepa si hay algún problema en la alimentación eléctrica de los componentes y así no opere el sistema bajo condiciones desfavorables.

Anexo 18. Comparación sistemas 10 días

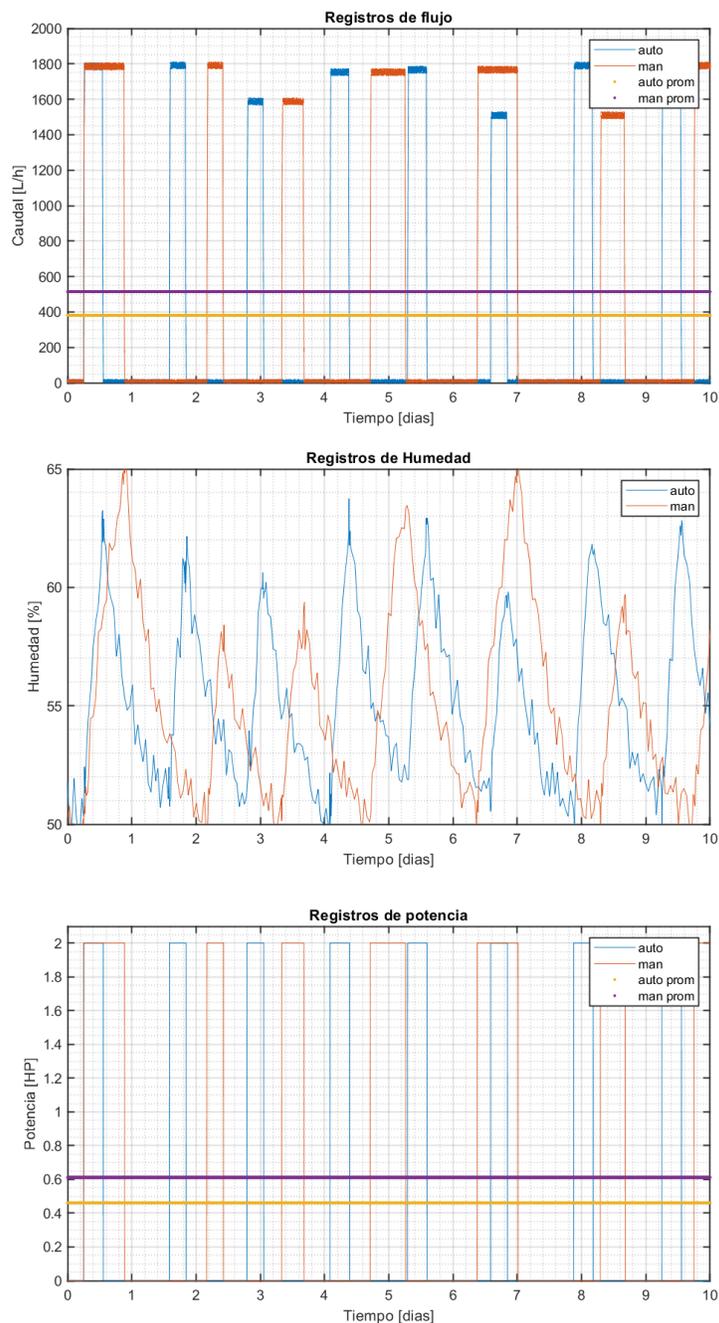


Figura 43. Comparación sistemas durante 10 días.

En la Figura 43 se muestra una comparación de los sistemas durante 10 días, en términos de flujo de agua utilizada, humedad y potencia eléctrica. Las principales diferencias del sistema automático comparado con el riego manual son: una mejor estabilidad en los niveles de humedad, menor duración del riego en promedio, evitando problemas asociados al riego manual (mencionados por las personas encargadas del campo) como episodios en los que las válvulas quedan abiertas por olvido y se termina regando en exceso, resultando en un mayor consumo de agua, lo que también influye en un menor consumo de potencia promedio del sistema automático.

15. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA