

# Diseño de un Sistema SCADA para un invernadero destinado a la investigación Escolar

Informe Final Practica Académica Presentado Como Requisito Para Optar al Título de  
Ingeniero Electrónico

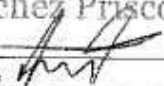
Modalidad Trabajo de Grado

Alejandro Giraldo Quintero



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
1893  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Andrés Sánchez Prisco

Asesor Interno   
Profesor de Cátedra 1017.153.677.

Asesor externo \_\_\_\_\_  
Cargo \_\_\_\_\_

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
OCTUBRE DE 2017  
MEDELLÍN



## Agradecimientos

*“Si queremos un mundo de paz y de justicia hay que poner decididamente la inteligencia al servicio del amor”  
Antoine de Saint-Exupery*

Dedicado a mi madre María, mi padre Hernando, mis hermanos Juan David y Bibiana y en memoria a María del Carmen Quintero (QEPD-2016)

Agradecimientos al maestro Andrés Sánchez por su confianza y apoyo.

Agradecimiento especial a todas las personas y voluntarios de CORUM que apoyaron este proceso con su trabajo, actitud moral, capacidad intelectual y compromiso social:

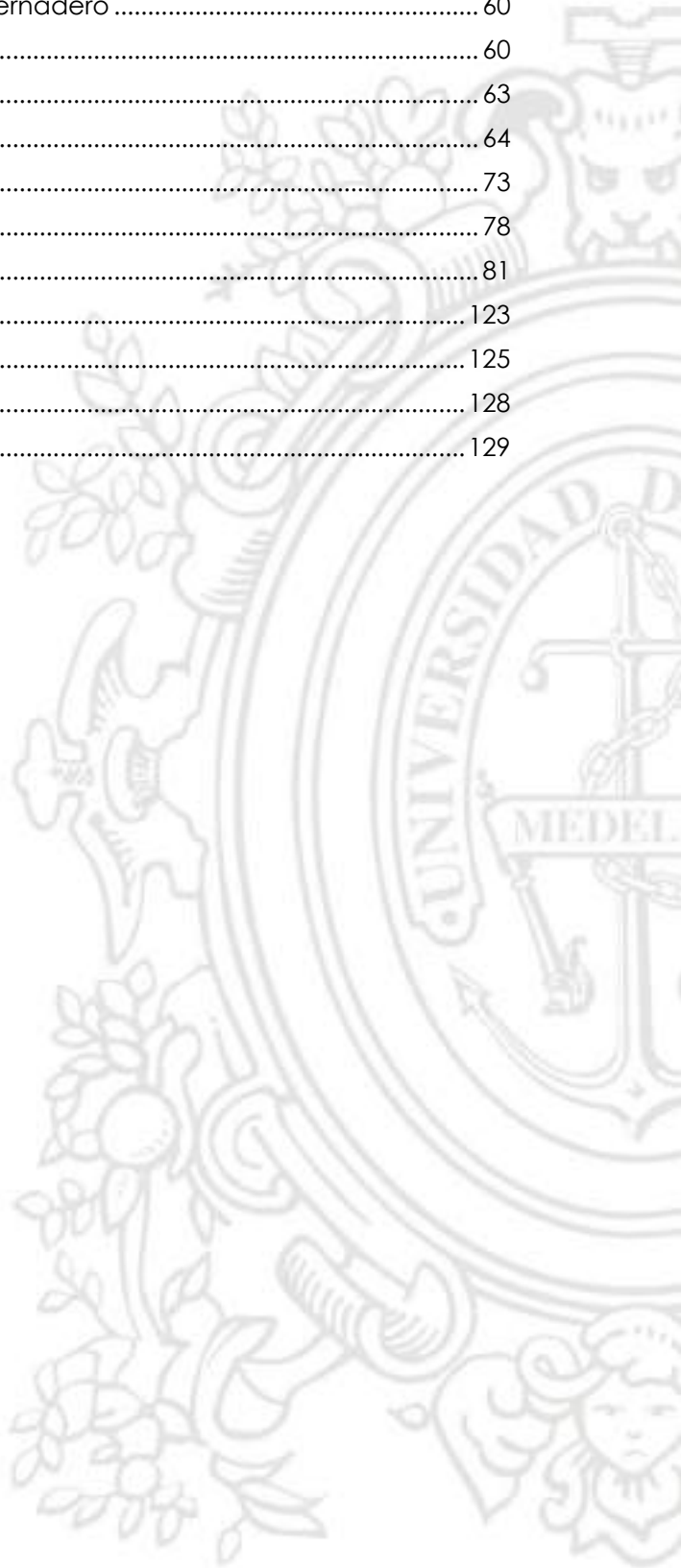
Sergio Castrillón, Santiago Rojas, Marcela Castaño, Carlos Ramírez, Dubian Hoyos, John Gómez, Alexandra Serna, Andrés Sáenz y Juan José Taborda

Igualmente, un agradecimiento especial a los patrocinadores Upper, Cotrafa y Administración Municipal de Marinilla y a los estudiantes de la IE Rural Técnico de Marinilla que con su trabajo hicieron posible este proyecto.

## Contenido

1	Resumen .....	9
2	Introducción .....	11
3	Objetivos.....	12
3.1	General .....	12
3.2	Objetivos Específicos .....	12
4	Marco Teórico .....	13
4.1	Justificación del proyecto .....	13
4.2	Enfoque de desarrollo .....	14
4.3	Impacto Social, Económico y Ambiental .....	14
4.3.1	Social .....	14
4.3.2	Crecimiento de la minería .....	18
4.3.3	Impacto Ambiental .....	19
4.3.4	Impacto Económico .....	22
4.4	Apuesta por la educación y la investigación .....	23
4.5	Hidráulica - Sistema de riego tecnificado .....	26
4.5.1	¿Qué es el Riego?.....	26
4.5.2	Cultivos tradicionales .....	30
4.5.3	Sistema SCADA.....	33
4	Metodología .....	43
4.1	Actividades de Gestión Comunitaria .....	43
4.1.1	Realización de reuniones con líderes comunitarios .....	43
4.1.2	Actividades de Integración con los estudiantes.....	43
4.1.3	Articulación con Maestros .....	45
4.1.4	Voluntarios para el proyecto.....	46
4.1.5	Realización de prácticas de los estudiantes.....	47
4.2	Actividades de Gestión Administrativa y Financiera .....	49
4.3	Dificultades .....	50
4.3.1	Elección de los beneficiarios del proyecto: .....	50
4.3.2	Obtención de los recursos necesarios para la realización del proyecto. ....	50
4.3.3	Retrasos por Incumplimiento en tiempos de entrega de materiales y servicios contratados. ....	50
4.3.4	Coordinar el trabajo con la realización del proyecto .....	51
4.4	Búsqueda de artículos en bases de datos de la IEEE .....	52
4.5	Búsqueda de trabajos de grado afines en el CENDOI .....	56
4.6	Búsqueda de asesorías en temas agrícolas y ambientales .....	57

4.7	Realización de visitas a diferentes espacios de referencia .....	58
4.8	Análisis y diseño de los componentes del Invernadero .....	60
	Descripción General .....	60
4.8.1	Plano de Instrumentación .....	63
4.8.2	Elementos Mecánicos.....	64
4.8.3	Elementos Hidráulicos .....	73
4.8.4	Elementos Eléctricos.....	78
4.8.5	Implementación del Sistema SCADA .....	81
5	Resultados y análisis .....	123
6	Conclusiones.....	125
7	Anexos.....	128
8	Bibliografía.....	129



## Índice de Gráficos

Ilustración 1	Cantidad de personas por tipo de trabajo en el mundo .....	13
Ilustración 2	Índice de ruralidad en Colombia (PNUD, 2011), pág. 55 .....	15
Ilustración 3	Objetivos del Milenio en el área Rural (PNUD, 2011) pág. 64. ....	16
Ilustración 4	Títulos mineros en Colombia(PNUD, 2011), pág. 98. ....	19
Ilustración 5	Consumo de Agua en Actividades Agrícolas.....	20
Ilustración 6	Consumo de energía en actividades agrícolas .....	20
Ilustración 7	Áreas de cultivo efectivamente regadas en Colombia .....	21
Ilustración 8	Aporte de la Agricultura al PIB en Colombia .....	21
Ilustración 9	Tomado de: Logros indispensables para los estudiantes del siglo XXI .....	25
Ilustración 10	Bomba con inyector venturi conectada a tubería principal .....	27
Ilustración 11	Sistema de Riego Californiano .....	28
Ilustración 12	Riego por Aspersión .....	28
Ilustración 13	Riego por Microaspersión .....	29
Ilustración 14	Riego por nebulización .....	29
Ilustración 15	Cinta de Riego por Goteo .....	30
Ilustración 16	Ejemplo de un sistema de agricultura de precisión (Rodolfo Bongiovanni, 2006), pág. 21 .....	32
Ilustración 17	Pirámide de Control (Universidad Santo Tomás, s.f.) .....	33
Ilustración 18	Pirámide de Automatización (Rodríguez Penín, 2008) .....	34
Ilustración 19	Idea Básica de un Sistema SCADA (Rodríguez Penín, 2008) .....	37
Ilustración 20	Arquitectura del software de un sistema SCADA (Rodríguez Penín, 2008) .....	40
Ilustración 21	Invernadero en la situación inicial.....	44
Ilustración 22	Invernadero en su situación inicial .....	44
Ilustración 23	Construcción Casetas .....	46
Ilustración 24	Construcción casetas .....	46
Ilustración 25	Voluntarios .....	46
Ilustración 26	Voluntarios construyendo zanjas para tubería eléctrica .....	46
Ilustración 27	Estudiantes pintando tubería de hidroponía .....	47
Ilustración 28	Estudiantes instalando el riego por goteo .....	47
Ilustración 29	Estudiantes instalando el riego por goteo .....	47
Ilustración 30	Riego por goteo .....	47
Ilustración 31	Estudiantes instalando el tanque en pozo.....	48
Ilustración 32	Estudiantes realizando las adecuaciones para el pozo de agua .....	48
Ilustración 33	Estudiantes instalando el tanque en pozo.....	48
Ilustración 34	Estudiantes instalando el tanque en pozo.....	48
Ilustración 35	Estudiantes instalando el tanque en pozo.....	48
Ilustración 36	Estudiantes instalando el tanque en pozo.....	48
Ilustración 37	Vista general y ubicación del invernadero .....	60
Ilustración 38	Primera propuesta: Plano caseta e interior del invernadero .....	61
Ilustración 39	Ubicación Actual del invernadero, Google Maps 2015 .....	62
Ilustración 40	Plano de instrumentación .....	63
Ilustración 41	Estructura antigua del invernadero.....	65



Ilustración 42	Proceso de desmontaje del invernadero antiguo .....	65
Ilustración 43	Proceso de readecuación de los postes de soporte .....	65
Ilustración 44	Proceso de readecuación y ubicación de los postes de soporte .....	65
Ilustración 45	Cubierta con plásticos nuevos y estructura renovada .....	65
Ilustración 46	Cubierta con plásticos nuevos y estructura renovada .....	66
Ilustración 47	Sujeción de la cortina de cada extremo.....	67
Ilustración 48	Mecanismo de giro de la guaya superior para subir y bajar cortinas .....	67
Ilustración 49	Sistema de piñón con dos chumaceras, eje y sistema de soporte para el movimiento de las cortinas.....	68
Ilustración 50	Sistema de sujeción móvil de la cortina reutilizado del invernadero antiguo .....	68
Ilustración 51	Sistema de sujeción móvil de las cortinas en la esquina del invernadero .....	68
Ilustración 52	Sistema de sujeción móvil de las cortinas en la esquina del invernadero .....	68
Ilustración 53	Chavetero .....	69
Ilustración 54	Collar y Tornillo de Bloqueo.....	69
Ilustración 55	Sprocket con ranura de chaveta.....	69
Ilustración 56	Dimensiones de la Cortina .....	70
Ilustración 57	Fuerza Sobre el Eje Superior de la Cortina .....	70
Ilustración 58	Placa del motor.....	72
Ilustración 59	Placa de la Reducción del Motor .....	72
Ilustración 60	Variador con Gabinete y Motorreductor .....	72
Ilustración 61	Motorreductor, Sprocket, Eje y Cadena de Transmisión.....	72
Ilustración 62	Vista General del Isométrico de Riegos .....	73
Ilustración 63	Detalle "flautas" de ingreso y de distribución del riego .....	74
Ilustración 64	Detalle Tanques y Motobomba de Distribución.....	74
Ilustración 65	Detalle Filtros de Grava y Arena de Flujo Inverso .....	74
Ilustración 66	Detalle Instalación Electrobomba .....	74
Ilustración 67	Sistema de hidroponía .....	75
Ilustración 68	Lechugas Cultivadas sobre el Sistema de Hidroponía .....	75
Ilustración 69	Aspersor instalado en tubería de 16mm .....	76
Ilustración 70	Electrobomba de 1hp, con el sistema de selección de la succión. ....	77
Ilustración 71	Filtro de anillos y "flauta" de salida con cada una de las electroválvulas.....	78
Ilustración 72	Vista de instalación de caseta.....	80
Ilustración 115	Vista de la interfaz del sistema SCADA.....	81
Ilustración 116	Vista de la Interfaz de Administración .....	82
Ilustración 117	Explicación de fragmento de Programación en Labview .....	83
Ilustración 97	Gabinete construido para el PLC .....	84
Ilustración 98	Esquema del gabinete del PLC .....	84
Ilustración 99	Conexiones realizables para la comunicación entre el PLC, PC y los variadores .....	85
Ilustración 73	Variador Sinamics V20.....	86
Ilustración 74	Conexión Típica Variador (SIEMENS, 2013).....	86
Ilustración 75	Foto del Gabinete de 1/2hp.....	87
Ilustración 76	Para todos los motores se usó la Conexión tipo Delta o Triángulo .....	89
Ilustración 77	Partes del Panel BOP del Sinamics V20 (SIEMENS, 2013), Pag 37 .....	89
Ilustración 78	(SIEMENS, 2013) Pág. 39 .....	90
Ilustración 79	Configuración Mando con Pulsos (SIEMENS, 2013) Pág. 59 .....	91

Ilustración 80 Pulsos para el mando (SIEMENS, 2013) Pág. 59 .....	91
Ilustración 81 Parámetros de Configuración del SINAMICS V20 para comunicación vía RS 485 USS P.128 (SIEMENS, 2013) .....	93
Ilustración 82 Parámetros de Configuración del SINAMICS V20 para comunicación vía RS 485 USS P.129 (SIEMENS, 2013) .....	93
Ilustración 83 Kit estación Meteorológica Vantage Pro2 .....	95
Ilustración 84 Visualización en el Software WeatherLink 6.0.3 .....	97
Ilustración 85 Visualización de las variables en la consola .....	98
Ilustración 86 Esquemas de configuración .....	99
Ilustración 88 Consola Instalada en zona externa, para medición de variables ambientales .	100
Ilustración 89 Consola y sensores para la medición de variables internas .....	101
Ilustración 90 Consola y sensores para la medición de variables internas .....	101
Ilustración 91 Electroválvula .....	102
Ilustración 92 Electroválvula .....	102
Ilustración 93 PC Comunicado con Interfaz de potencia y Estación Meteorológica .....	103
Ilustración 94 PC comunicado con interfaz de potencia y Estación Meteorológica .....	103
Ilustración 95 Montaje de interfaz de potencia para electroválvulas con Arduino .....	103
Ilustración 96 Interfaz en Scratch 4 Arduino para estudiantes .....	104
Ilustración 101 Arduino UNO .....	104
Ilustración 106 Estructura de la comunicación USS con el PLC s7 1200 (SIEMENS, 2014) .....	109
Ilustración 107 Bloque USS_DRV (Elaboración Propia) .....	109
Ilustración 108 Bloque USS_PORT (Elaboración Propia) .....	110
Ilustración 109 Tabla de tiempos de interrupción (SIEMENS, 2014) .....	111
Ilustración 110 Módulo de Comunicaciones CM 1241 .....	111
Ilustración 111 Detalle de la conexión entre el CM1241 y el Variador .....	112
Ilustración 112 Configuración de los pines DB para RS485 (SIEMENS, 2014) p 977 .....	112
Ilustración 113 Conexión del bus para USS (SIEMENS, 2014) .....	113
Ilustración 114 Interfaz de Usuario creada con Processing .....	119

## Índice de Tablas

Tabla 1 Análisis Artículos Académicos.....	52
Tabla 2 Datos Cubierta del Invernadero .....	64
Tabla 3 Cálculos Eje de la Cortina .....	70
Tabla 4 Cálculos Tiempos y Pérdidas.....	71
Tabla 5 Cálculos Motor .....	71
Tabla 6 Cálculos Comparación de Motores .....	72
Tabla 7 Cálculo de Conductores .....	79
Tabla 8 Variadores Motorreductores .....	88
Tabla 9 Variador Motobomba de Distribución .....	88
Tabla 10 Variador Mototomba de Suministro.....	88
Tabla 11 Parametros configuración Sinamics V20.....	92
Tabla 12 Parámetros configuración Sinamics V20.....	92
Tabla 13 Variables Estación Meteorológica .....	96
Tabla 14 Variables Estación Meteorológica .....	97
Tabla 15 Costos Hacking.....	100



## **1 Resumen**

Este proyecto se enfocó en una de las principales problemáticas sociales y económicas de Colombia, **las escasas posibilidades de desarrollo que existen para los campesinos agricultores del país**. Enfoque que implicó la participación en espacios académicos, sociales y productivos, en aras a entender las necesidades y problemáticas que podía solucionar la propuesta planteada en el contexto campesino.

El enfoque aplicado tuvo en cuenta aspectos técnicos, sociales y económicos, orientados a impactar las poblaciones campesinas de más bajos recursos mediante una propuesta de largo plazo y con enfoque educativo.

El informe de Desarrollo Humano para Colombia presentado a finales del 2011 por las Naciones Unidas dio cuenta que el 32 % de los colombianos son pobladores rurales y que en tres cuartas partes del territorio de Colombia predominan el tipo de relaciones características de las sociedades rurales, las cuales han estado excluidas históricamente de las oportunidades de progreso y bienestar, haciéndose necesario volver la mirada al campo y concebirlo como un todo integral e integrado a la ciudad, de tal forma que se puedan realizar proyectos estratégicos que permitan crear equidad y desarrollo para el campo.

Sobre el modelo de desarrollo rural Colombiano dicho informe concluye que:

1. No promueve el desarrollo humano y hace más vulnerable a la población rural.
2. Es inequitativo y no fortalece la convergencia
3. Invisibiliza las diferencias de género y discrimina a las mujeres.
4. Es excluyente
5. No promueve la sostenibilidad ambiental
6. Concentra la propiedad rural y crea condiciones para el surgimiento de conflictos.
7. Es poco democrático.
8. No afianza la institucionalidad rural
9. Todo está por hacer

La propuesta de este trabajo encaja primordialmente en los puntos 1, 2, 4 y 5, que pueden ser abordadas desde campos de la ingeniería, en la medida en

que permitan a los campesinos de bajos recursos económicos el acceso a mejores, más avanzados **y ecológicos** métodos de producción agrícola, lo cual solo es posible y sostenible en la medida que se apropien herramientas tecnológicas adecuadas para **la formación de futuras generaciones campesinas**.

Por tratarse de una práctica cuyo objetivo final es el impacto social, se realizaron actividades de participación de la comunidad impactada y actividades administrativas orientadas a la consecución de recursos para la implementación del proyecto.

Las actividades realizadas se descomponen entonces en cuatro elementos:

1. Gestión comunitaria.
2. Gestión Administrativa y Financiera del proyecto.
3. Dificultades para la realización del proyecto.
4. Actividades de Diseño e Ingeniería.

Como resultado se obtuvo la construcción del proyecto en la IE Rural Técnico de Marinilla, vinculando estudiantes, profesores, directivos y otras instituciones y que aportaron dinero, equipos y asesorías complementarias para el desarrollo del proyecto.

## 2 Introducción

La crisis del campo en Colombia es histórica (Lopez, 1927) y ha dado como resultado grandes migraciones de campesinos a la ciudad, violencia armada, desplazamiento y pobreza (Borda, 1975). Informes de universidades e instituciones, así como las continuas manifestaciones y protestas de la población campesina confirman la vigencia y agudización de esta exclusión histórica.

En el momento encontramos entonces un entorno campesino que se ha quedado sin tecnologías de producción modernas, con pocas vías de acceso para la comercialización de productos, baja calidad educativa, inseguridad social, poco acceso a la propiedad privada y un sistema de cultivos tradicionales cada vez más contaminante y agresivo con el medio ambiente.

Es por esto que se plantea el monitoreo de variables bajo invernadero, como una herramienta para mejorar la producción, evitar el uso de agroquímicos y pesticidas, ahorrar agua y mejorar la productividad de los cultivos principalmente los pertenecientes a asociaciones de campesinos.

## 3 Objetivos

### 3.1 General

- Diseñar e implementar un sistema SCADA para el control de un riego tecnificado bajo invernadero en la IE Rural Técnico de Marinilla, como herramienta para la investigación escolar.

### 3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento y organización de la información técnica del invernadero para identificar elementos importantes que harán parte del diseño del sistema SCADA.
- Realizar el esquema de monitoreo y visualización de la planta del invernadero para ser implementada en el programa Labview del microcomputador.
- Configurar los dispositivos y tarjetas (PLC, Variadores, Microcomputador) según los protocolos de comunicación de cada uno de ellos para garantizar el envío y recepción de datos.
- Realizar la programación de las tarjetas y dispositivos basada en el esquema de monitoreo y visualización.
- Realizar las pruebas de implementación en campo para verificar el funcionamiento del sistema.
- Realizar 3 sesiones de capacitación, una con profesores y dos con estudiantes para el manejo del sistema desarrollado.

## 4 Marco Teórico

### 4.1 Justificación del proyecto

El proyecto nace con el objetivo de responder y analizar una de las principales problemáticas sociales y económicas de Colombia, las escasas posibilidades de desarrollo de los campesinos agricultores del país. La propuesta se embarca entonces en la profundización de los análisis expuestos en la propuesta realizada para la realización del presente trabajo. Fue todo un recorrido por espacios académicos, sociales y productivos, todo con el objetivo de entender las verdaderas necesidades y problemáticas que se podían solucionar a través de la aplicación de la ingeniería electrónica. El reto en un principio sencillo, no fue fácil de resolver, ya que el enfoque aplicado no solo pretendía tener en cuenta aspectos técnicos, sino también aspectos sociales y económicos, fundamentales para el desarrollo de propuestas que tengan un impacto en las poblaciones de más bajos recursos y no solo para la gran industria agrícola o los grandes terratenientes del país; se enfoca entonces el análisis de la propuesta en el pequeño campesino, en sus posibilidades y en la apuesta por propuestas de largo plazo que dejen de lado el “cortoplacismo” y el inmediateismo que caracteriza normalmente la propuesta de soluciones para este tipo de problemas.



Ilustración 1 Cantidad de personas por tipo de trabajo en el mundo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <http://fundersandfounders.com/what-7-billion-world-population-does/>



## **4.2 Enfoque de desarrollo**

Cuando se habla de desarrollo hay que tener el cuidado de no confundir algunas perspectivas desarrollistas con lo que denominamos el progreso y el bienestar, es por esto que hablar de desarrollo rural implica entre otras cosas el saber nivelar y recontextualizar lo que se ha planteado como desarrollo ideal en la sociedad contemporánea. En este caso he preferido acercarme a la definición del desarrollo rural como el conjunto de actividades culturales, económicas y sociales que le permiten a los individuos y a sus colectividades habitar en el mundo de una manera sostenible, teniendo a su vez herramientas que les permitan exigir sus derechos como ciudadanos de un mundo globalizado.

En este sentido se considera de vital importancia que las comunidades rurales sean capaces de establecer procesos para el desarrollo, acceso y validación de conocimientos y tecnologías propias y foráneas, para así poder establecer criterios claros para su uso y establecimiento e implementación.

En tal sentido se propone como uno de los pilares fundamentales el modelo educativo, allí hemos de tener en cuenta que las TIC's han planteado nuevos paradigmas y retos a los modelos tradicionales, uno de los más importantes es quizá la misma comprensión y adecuado uso de las TIC's así como los nuevos modelos de acceso al conocimiento; un conocimiento que dejó de ser algo estático y guardado en los libros, para constituirse en algo dinámico, colectiva y constantemente construido y deconstruido.

Se vuelve entonces indispensable el desarrollo, la implementación de estrategias que permitan a los habitantes del área rural del municipio de Marinilla iniciar procesos tanto para el desarrollo de sus propios conocimientos como de la comprensión y uso de las TIC's.

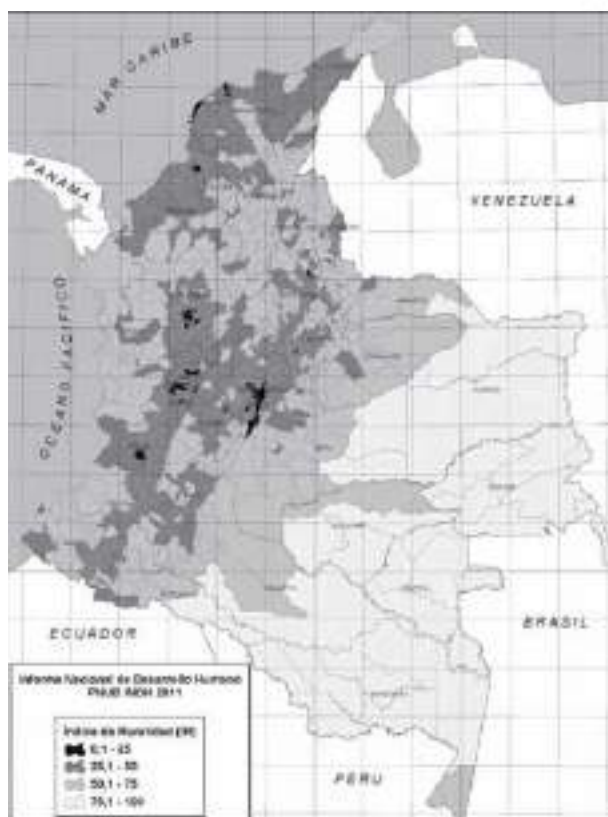
## **4.3 Impacto Social, Económico y Ambiental**

### **4.3.1 Social**

En el informe de Desarrollo Humano para Colombia presentado a finales del 2011 por el PNUD dio cuenta de que el 32 % de los colombianos son pobladores rurales y que en tres cuartas partes del territorio de Colombia predominan el tipo de relaciones características de las sociedades rurales. El informe señala que el área rural en Colombia ha estado excluida históricamente de las oportunidades de progreso y bienestar y que se hace necesario volver la mirada al campo y concebirlo como un todo integral e integrado a la ciudad, precisa además que este es el momento en el

que Colombia todavía puede realizar proyectos estratégicos que permitan crear equidad y desarrollo para el campo.

Para el informe el PNUD desarrolló un índice de ruralidad por municipios, con el objetivo de analizar ¿Qué tan rural es Colombia?, los resultados se presentan en el siguiente mapa, donde se puede observar que muy pocas zonas del país tienen connotaciones fuertemente urbanas, y que lo que predomina en Colombia es el área rural:



*Ilustración 2 Índice de ruralidad en Colombia (PNUD, 2011), pág. 55*

El desconocimiento de Colombia de estas realidades ha llevado a que el enfoque de las políticas implementadas en el país haya sido prioritariamente urbano, lo cual tiene como consecuencias la exclusión de las áreas rurales de Colombia de las principales políticas de desarrollo dejándolas a merced de diferentes actores ilegales y armados los cuales han impuesto el ordenamiento territorial, económico y social de los mismos.

Otra de los impactos del desconocimiento de esta realidad por parte de la sociedad colombiana es que el área rural siempre ha sido menospreciada no solo culturalmente sino también en su papel para garantizar y fortalecer el país en los aspectos económicos y sociales.

En términos generales se plantea que el modelo de desarrollo rural colombiano:

1. No promueve el desarrollo humano y hace más vulnerable a la población rural.
2. Es inequitativo y no fortalece la convergencia
3. Invisibiliza las diferencias de género y discrimina a las mujeres.
4. Es excluyente
5. No promueve la sostenibilidad ambiental
6. Concentra la propiedad rural y crea condiciones para el surgimiento de conflictos.
7. Es poco democrático.
8. No afianza la institucionalidad rural
9. Todo está por hacer

En cuanto a los objetivos del milenio trazados por las Naciones Unidas, podemos observar que entre más rurales son los municipios en Colombia más atrasados están en cuanto a poder superarlos o visibilizarlos (Como el caso de la violencia contra la mujer):

**CUADRO 3.1** Les OAM por grupos de municipios según el índice de ruralidad

Categorías	Personas en pobreza por MHI (total)	Tasa de cobertura bruta en educación media, 2009	Tasa de violencia de pareja contra la mujer por 10.000 mujeres	Mortalidad en menores de 5 años por 1000 nacidos vivos, 2008	Atención institucional del parto, 2008	Tasa de mortalidad por VIH/SIDA per 100.000 habitantes	Hogares en déficit cualitativo, 2005
Centros urbanos	11,41	74,39	17,21	12,34	91%	3,62	26,12
Centros intermedios	50,34	58,10	11,62	23,07	85%	1,34	54,23
Municipios de alta ruralidad	74,66	27,52	9,03	39,09	72%	2,37	61,85

Fuente: cálculos PNUD, proyecto OAM, con base en cifras oficiales.

Ilustración 3 Objetivos del Milenio en el área Rural (PNUD, 2011) pág. 64.

Otro de los elementos que más dio a conocer la realidad que se vive en el campo fue el paro Nacional Agrario realizado en el año 2013, paro realizado por una gran parte de los productores campesinos de la nación el cual en resumen pedía lo siguiente:

1. Implementación de medidas y acciones frente a la crisis de la producción agropecuaria.
2. Acceso a la propiedad de la tierra.
3. Reconocimiento a la territorialidad campesina.
4. Participación efectiva de las comunidades y los mineros pequeños y tradicionales en la formulación y desarrollo de la política minera.

5. Adopción de medidas y se cumplan las garantías reales para el ejercicio de los derechos políticos de la población rural.
6. Se exige una inversión social en la población rural y urbana en educación, salud, vivienda, servicios públicos y vías.

Nuestro caso se acopla más en los puntos 1 y 6, que tienen que ver con problemas en su gran mayoría de **diseño e ingeniería adecuadas**, que permitan el acceso a mejores, más avanzados y ecológicos métodos de producción agrícola para los campesinos de bajos recursos económicos, así como la facilitación de herramientas tecnológicas para la formación de la futura generación para una correcta adopción de dichas tecnologías

### **Acuerdos de Paz**

Finalmente otro de los elementos importantes para entender el contexto actual del campesinado son los acuerdos de paz logrados con las FARC-EP, los cuales en el punto 1 incluyen una **Reforma Rural Integral** cuyo objetivo principal es el siguiente:

*“...Reforma Rural Integral, que contribuirá a la transformación estructural del campo, cerrando las brechas entre el campo y la ciudad y creando condiciones de bienestar y buen vivir para la población rural. La “Reforma Rural Integral” debe integrar las regiones, contribuir a erradicar la pobreza, promover la igualdad y asegurar el pleno disfrute de los derechos de la ciudadanía.”<sup>2</sup>*

Esta reforma Rural incluye los siguientes puntos principales:

#### **1. Acceso y Uso de la Tierra:**

- a. Fondo de tierras para campesinos sin tierra o con tierra insuficiente y plan masivo de formalización de la propiedad para aquellos que tienen tierra pero no escrituras.
- b. Actualización y modernización del catastro rural, y que el uso de la tierra concuerde con su vocación.
- c. Protección de las áreas de especial interés ambiental.
- d. Jurisdicción agraria para resolver los conflictos en torno a la tierra.

#### **2. Planes nacionales rurales, Contempla acciones de gran escala para proveer bienes y servicios públicos en materia de:**

- a. Infraestructura y adecuación de tierras: Vías terciarias, distritos de riego y drenaje, electrificación y conectividad a internet.
- b. Acceso a vivienda y agua potable.

---

<sup>2</sup> <http://www.altocomisionadoparalapaz.gov.co/Documents/informes-especiales/abc-del-proceso-de-paz/politica-de-desarrollo-agrario-integral.html>



- c. Educación
- d. Salud
- e. Estímulos a la productividad:
- f. Planes para fomentar la economía familiar y solidaria, y para facilitar la comercialización de los productos campesinos al acercar al productor con el consumidor.
- g. Proveer asistencia técnica, tecnológica y en investigación
- h. Ofrecer garantías de seguridad social para los trabajadores del campo.
- i. Sistema especial de alimentación y nutrición y así erradicar el hambre en el campo colombiano.
- j. Acceso a crédito

### **3. Programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET):**

- a. Consisten en implementar los planes nacionales con mayor celeridad en las regiones más afectadas por el conflicto, con mayor pobreza, menos institucionalidad y la presencia de economías ilegales, con la activa participación de las comunidades.

Los anteriores puntos del acuerdo dan cuenta de la precaria situación de la vida en el área rural, donde prácticamente está todo por hacer. Es por esto que este trabajo se pone como meta el tema agrario, para contribuir desde la academia al logro de por lo menos uno de estos puntos: **Proveer asistencia técnica, tecnológica y en investigación**. Siendo este insumo académico parte importante para guiar a los jóvenes rurales a vivir y desarrollar el campo con una nueva mirada, desde la investigación, la tecnología y la ecología.

#### **4.3.2 Crecimiento de la minería**

En los últimos años la minería ha venido incrementándose de una forma desproporcional en el territorio colombiano, y se ha dado en gran medida con una regulación muy pobre y en algunos casos anacrónicos. Este auge minero ha creado de nuevo grandes problemas en el campo ya que entre otras consecuencias ha desplazado a muchas poblaciones campesinas ya sea porque la agricultura se vuelve inviable en esos territorios o porque las escasas oportunidades económicas los obligan a migrar detrás de las explotaciones mineras, que en su gran mayoría son ilegales.



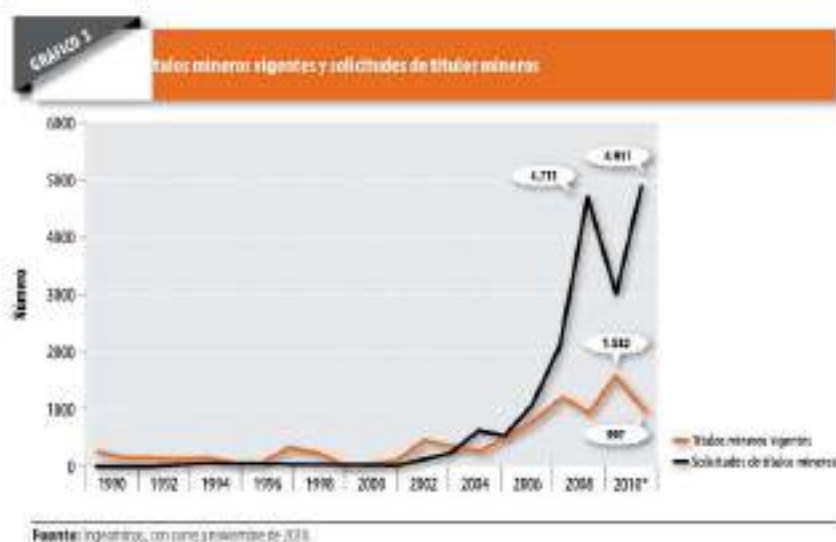


Ilustración 4 Títulos mineros en Colombia(PNUD, 2011), pág. 98.

### 4.3.3 Impacto Ambiental

La agricultura es una actividad antrópica que sin importar el método que se utilice constituye un desequilibrio ambiental; es por esto que el problema se aborda en cómo lograr un menor impacto ambiental con diferentes métodos agrícolas.

#### Consumo de recursos

Uno de los impactos más grandes de las actividades agrícolas es el consumo de agua, se calcula que aproximadamente el 70% del agua que se consume a nivel global, es usada en labores agrícolas, por otro lado se calcula que el 30% de la energía producida en el mundo es usada en dichas labores. (Agricultura, s.f.)

## Consumo de Agua

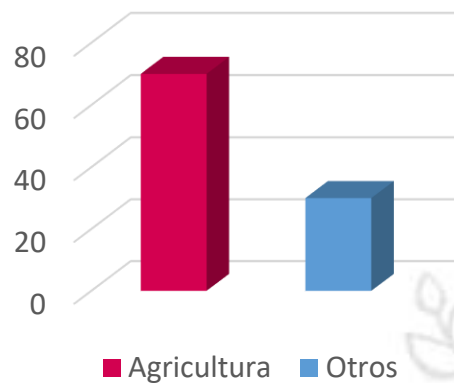


Ilustración 5 Consumo de Agua en Actividades Agrícolas

## Consumo de Energía

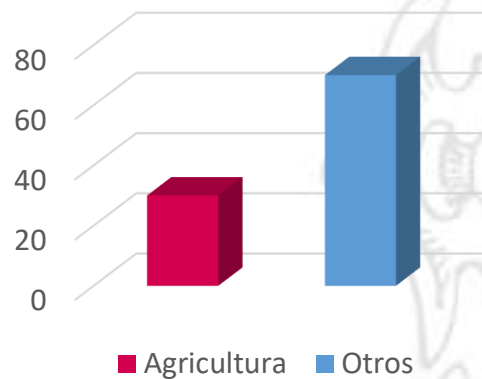


Ilustración 6 Consumo de energía en actividades agrícolas

Para el caso colombiano sabemos que la extracción hídrica total anual es de 11.767 km<sup>3</sup> de agua, de ellos el 50% es usado en agricultura, es decir 5.883 Km<sup>3</sup>/año. Ese porcentaje que es usado en agricultura tiene que ver mucho con la forma en que se gestiona el agua en las labores agrícolas, tenemos entonces que del área total cultivada en Colombia, sólo un 14%, tienen disponibles equipos para el riego, de los cuales el 36% es el área efectivamente regada, lo cual nos da como resultado que sólo el 5% de las áreas cultivadas en Colombia están siendo efectivamente regadas, esto es un porcentaje muy bajo.

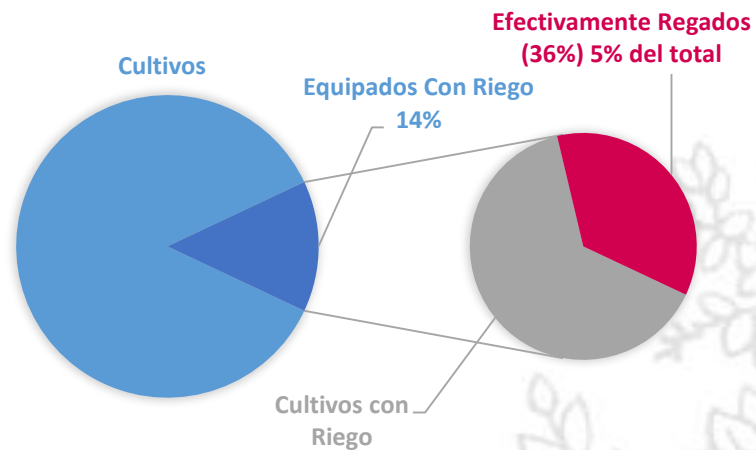


Ilustración 7 Áreas de cultivo efectivamente regadas en Colombia

A pesar del elevado consumo del agua, recurso vital, el impacto económico de ésta actividad es apenas del 6,11%. (Dinero, s.f.)

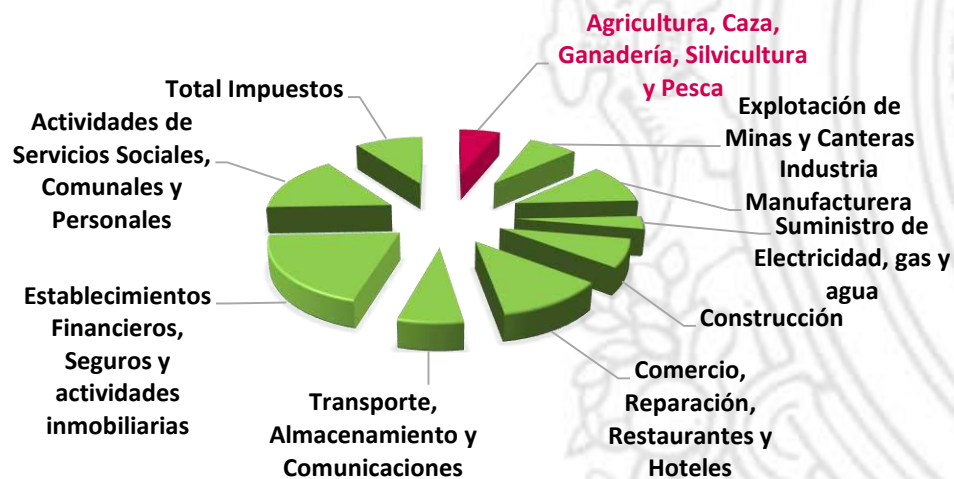


Ilustración 8 Aporte de la Agricultura al PIB en Colombia

Además del uso del agua otros de los impactos ambientales de la agricultura, sobre todo la tradicional, son los siguientes:

- Herbicidas, fungicidas y pesticidas
- Transgénicos
- Ampliación de la frontera agrícola

- Sobre explotación de los recursos

En el caso específico de los invernaderos hay que tener en cuenta que los invernaderos en sí no son ni una solución ni un problema, sino que dependiendo de la forma en que sean utilizados pueden convertirse en lo uno o en lo otro, tal es el caso de Almería en España, donde por la sobrepoblación de invernaderos se ha creado un problema de abastecimiento de recursos hídricos.

Es entonces en este caso de vital importancia que la implementación de las tecnologías de cultivo bajo invernaderos sea regulada correctamente a través de las instancias y planes de ordenamiento territorial, para que se puedan aprovechar las grandes ventajas que puede tener la agricultura de precisión:

- Aumento de la productividad: Menor tiempo de crecimiento.
- Producción constante durante todo el año.
- Seguimiento y control de variables ambientales
- Reducción de insumos agrícolas.
- Menor consumo de agua
- Reducción de pesticidas y herbicidas.
- Menor área de cultivo
- Mayor número de cosechas al año.
- Permite la implementación de soluciones alimentarias en agricultura urbana y periurbana.

#### **4.3.4 Impacto Económico**

A la hora de evaluar la implementación de un cultivo bajo invernadero y otro al aire libre, hay que tener en cuenta que la primera inversión que se debe realizar es sumamente grande ya que la estructura del invernadero es costosa comparada con la simple implementación por ejemplo de un cultivo al aire libre de forma tradicional.

Es por esto que la producción bajo invernadero está normalmente destinada a grupos o asociaciones de campesinos, las cuales pueden solventar los costos de la inversión inicial. Sin embargo, estas acciones asociativas y las ventajas que presenta un cultivo protegido por su estabilidad durante el año, presenta una gran ventaja en la rentabilidad de los negocios agrícolas.

## **4.4 Apuesta por la educación y la investigación**

### **Educación, TIC's e Investigación Escolar**

*“En un mundo donde la ciencia y la tecnología nos rodean  
y casi nadie sabe de ambas está condenado al fracaso”*

*Carl Sagan*

El mundo actual es el fruto de una gran cantidad de transformaciones que se gestaron principalmente durante los últimos 60 años; la invención del transistor en 1947, el posterior desarrollo de circuitos integrados, aparatos de comunicaciones y finalmente la consolidación del internet, ha dado como resultado un mundo de hiperconexión y comunicación que a su vez ha creado un avance científico y tecnológico sin precedentes en la historia de la humanidad.

En este contexto la robótica se ha ido consolidando como una ciencia interdisciplinaria en la cual se han ido involucrando los avances científicos de las diferentes ramas del conocimiento tales como la mecánica, la electrónica, los sistemas, entre otros, encontrando aplicaciones que atienden necesidades sociales, ambientales, educativas, cuidado de la salud, entre otros; convirtiéndose así en un elemento fundamental y cotidiano para el desarrollo actual de la humanidad.

Se deben crear entonces espacios de formación que le permitan a las nuevas generaciones interactuar y comprender adecuadamente los alcances, ventajas y problemas que acarrea este nuevo contexto. Estas herramientas deberán permitir la creación e interacción de los mismos con el mundo, así como el fortalecimiento de una cultura de investigación, divulgación y creación colectiva de conocimiento aprovechando las diferentes herramientas y espacios que ofrece el internet.

Se piensa entonces en un sujeto activo frente a su proceso de aprendizaje y acceso al conocimiento, allí aporta, crea y avanza acorde a sus deseos y capacidades, es entonces un cambio significativo en la forma de acceder al conocimiento, una posibilidad que se abre gracias al desarrollo tecnológico y la liberación del conocimiento. Este sujeto debe entonces contar con las herramientas adecuadas para que este mar de conocimientos y herramientas no le absorba o lo sature; herramientas pedagógicas, sociales y tecnológicas que le permitan establecer un punto de vista crítico sobre el mar de conocimientos e información sobre el cual se desarrollará su vida.



En este sentido, se han planteado metas que los currículos educativos deben considerar para los procesos de enseñanza y aprendizaje de las Nuevas Tecnologías, entre las que vale la pena destacar: (Eduteka, 2009)

- Las tecnologías digitales son herramientas posibilitadoras del desarrollo personal y social, ya que estas pueden potenciar el desarrollo de capacidades en las personas, con el fin de propiciar relaciones más armónicas y propositivas con el mundo y en ese sentido, contribuir a la construcción de los cambios sociales necesarios para incrementar el bienestar humano.
- Las herramientas tecnológicas requieren de un manejo responsable por parte de todas las personas, alineado con el respeto por las leyes, los derechos, la dignidad, el medio ambiente y el bien común. Para ello, es preciso desarrollar conocimiento sobre la naturaleza de estas tecnologías, y sobre las implicaciones sociales, éticas, ambientales y económicas de sus diversos usos posibles.
- La operación competente de las tecnologías digitales por parte de las personas es necesaria para acceder a mejores oportunidades laborales y sociales, incrementar la productividad, contribuir al crecimiento económico y mejorar la calidad de vida.
- La importancia de desarrollar en las personas las competencias requeridas por las dinámicas económicas y sociales del siglo XXI, a saber: investigar, plantear y resolver problemas, innovar, crear productos, comunicarse y trabajar de manera colaborativa, local o globalmente, con el apoyo de las tecnologías digitales.

En tal sentido, la implementación de un espacio de investigación escolar basado en la robótica y la automatización y aplicado al contexto rural, posibilitará el fortalecimiento del currículo educativo, facilitando procesos que permitan la interacción y la creación de tecnología, estimulando en los estudiantes la creatividad, el auto-aprendizaje, la investigación, el trabajo en equipo y la gestión autónoma del conocimiento.

Por tal razón, la perspectiva pedagógica que se acoge en el proyecto sigue los planteamientos del Constructivismo en la comprensión del aprendizaje como un descubrimiento práctico que emerge de procesos individuales y colectivos de resolución de situaciones y problemas concretos. En tal sentido, se pretende dar vida en el proceso al pensamiento de Jean Piaget: *"El niño no almacena conocimientos, sino que los construyen mediante la interacción con los objetos circundantes"*.

Diferentes tendencias a nivel internacional han señalado la necesidad de alcanzar los *"Logros indispensables para el siglo XXI"*; un conjunto de saberes que son considerados

de suma importancia para el acceso equitativo de todas las naciones y los ciudadanos al nuevo siglo y en esa medida a las nuevas tendencias sociales.

Uno de los elementos transversales de dichos logros indispensables son las “*Competencias en aprendizaje e innovación*” que son consideradas como punto articulador de diferentes áreas del conocimiento. El esquema a continuación es una muestra de la concepción que se acompaña las pretensiones articuladoras del **aula de investigación escolar** y que sigue los planteamientos de diferentes tendencias a nivel internacional:



Ilustración 9 Tomado de: Logros indispensables para los estudiantes del siglo XXI

(Eduteka, 2009)

El aporte del proyecto se da en la medida en que la herramienta a diseñar se pueda adecuar las necesidades pedagógicas del maestro, y en la medida en que dé respuesta a las necesidades productivas y cognitivas de los que serán los próximos agricultores de la zona. Es por esto que complementario al diseño e implementación del Invernadero (Aula de Investigación Escolar Rural), se realiza por parte de la Corporación un proceso de *talleres de Robótica e investigación Escolar* que facilitará el uso y apropiación de las herramientas por parte de docentes y estudiantes.

## **4.5 Hidráulica - Sistema de riego tecnificado**

Un sistema de riego tecnificado se diseña e implementa con el objetivo de crear unas condiciones óptimas de suministro de agua, fertilizantes y pesticidas (Según el caso), que garanticen a las plantas las mejores condiciones de crecimiento, con el menor uso de recursos y las condiciones necesarias para prevenir al máximo el desarrollo de enfermedades y plagas.

El diseño del sistema de riego tecnificado, parte de unas necesidades que son dadas por el tipo de cultivos que se pretenden implementar, las características del suelo y las condiciones ambientales del lugar, estas condiciones lo convierten en un proceso complejo, ya que muchas de las variables a tener en cuenta son muy variables y amplias, por ejemplo, la falta de uniformidad en los suelos, lo poco predecibles que son las condiciones ambientales y la complejidad de los sistemas biológicos de las plantas (Profundidad de las raíces, necesidades de agua y fertilizantes, etc.).

El diseño agronómico es entonces el primer y fundamental paso para el diseño de un riego tecnificado, este es un componente fundamental ya que de un mal diseño agronómico se desprenden consecuencias como la salinización del suelo o la insuficiencia en el volumen del suelo humedecido (Pizarro, 1996). Existen diferentes metodologías para el diseño agronómico de los riegos, para el caso se usará la metodología propuesta en el libro **“Riegos localizados de alta frecuencia”** (Pizarro, 1996), el cual se complementará con el **“Manual de Diseño de Sistemas de Riegos Tecnificado”** (Leonardo Gaete Vergara, 2001), del cual seguiremos la metodología para el cálculo de las presiones y pérdidas del sistema hidráulico, la elección de los diámetros de las tuberías y la elección de los sistemas de bombeo y goteo apropiados.

### **4.5.1 ¿Qué es el Riego?**

Por riego se entiende la aplicación artificial de agua en un cultivo con el objetivo de mantener las condiciones de humedad necesarias para su crecimiento. La obtención y distribución de agua para el riego de las plantas ha sido un trabajo y desarrollo constante desde los inicios de la agricultura en la humanidad, poco a poco y con el paso del tiempo el ser humano fue utilizando las herramientas tecnológicas que poseía para evitar la muerte de las plantas y mantener el cultivo en las condiciones adecuadas para su desarrollo.

En la actualidad existen una gran cantidad de sistemas y elementos para la aplicación de riegos en los cultivos, estos han abierto las posibilidades a la aplicación, no solo del agua necesaria para el cultivo, sino también de nutrientes, fertilizantes y plaguicidas a través del riego, a estos sistemas se les ha dado el nombre de **Fertirriegos**.

#### **4.5.1.1 Fertirriegos**

Se conoce como fertirriegos a los sistemas en los cuales se combina la aplicación de fertilizantes y otros componentes como pesticidas, conjuntamente con el agua. Para poder realizar este tipo de riegos se utilizan normalmente sistemas de inyección de diferente tipo combinados con filtros para evitar la obturación de algunos sistemas.



*Ilustración 10 Bomba con inyector venturi conectada a tubería principal<sup>3</sup>*

#### **4.5.1.2 Sistemas de riego tecnificados**

Los riegos tecnificados son sistemas que utilizan la tecnología de diferentes ramas de la ingeniería para mejorar y optimizar los sistemas y recursos en el riego y fertirriego aplicado a un cultivo. Los sistemas de riego tecnificado suelen diferenciarse principalmente en la forma en la que se distribuye y entrega el agua, en la actualidad se destacan los siguientes tipos de riego tecnificado:

#### **4.5.1.3 -Riego Californiano**

Este sistema consiste en la implementación de tuberías y mangueras para la conducción y distribución del agua en el cultivo, este sistema aprovecha los

<sup>3</sup> <http://www.espores.org/es/agricultura/fertirrigaci%C3%B3n-per-a-estallar-nutrientes-i-energ%C3%ADa.html>



desniveles del terreno para hacer circular el agua, tiene una eficiencia aproximada del 65% (Leonardo Gaete Vergara, Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado, 2001).



*Ilustración 11 Sistema de Riego Californiano<sup>4</sup>*

#### **4.5.1.4 -Riego por Aspersión**

Este tipo de riego aplica el agua emulando una pequeña lluvia sobre el terreno, esto se logra mediante aspersores que poseen en su estructura pequeños orificios y estructuras para el giro constante de la aspersión, debido a esto necesitan grandes presiones en el suministro de agua, este sistema tiene una eficiencia de aplicación del agua de un 80% aproximadamente (Leonardo Gaete Vergara, Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado, 2001).



*Ilustración 12 Riego por Aspersión<sup>5</sup>*

<sup>4</sup> <http://www.eldinamo.cl/ambiente/2013/10/02/apoyo-en-tiempos-de-sequia-agricultores-aumentan-sus-cultivos-mediante-riego-eficiente/>

<sup>5</sup> <http://www.vyrsa.com/catalogo/sport-golf/aplicaciones/campos-de-golf.aspx>



#### 4.5.1.5 -Riego por micro Aspersión

Este sistema es similar al de aspersión pero se realiza a baja altura y con aspersores más pequeños que requieren a su vez presiones de trabajo más pequeñas, estos producen gotas finas que se esparcen a lo largo del terreno, tiene una eficiencia aproximada del 85% (Leonardo Gaete Vergara, Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado, 2001). Este tipo de sistemas suelen ser muy usados en sistemas de obtención de plántulas.



*Ilustración 13 Riego por Microaspersión<sup>6</sup>*

#### 4.5.1.6 -Riego por nebulización

Es un sistema de riego que utiliza un tipo de elementos llamados nebulizadores, que generan una especie de nube de gotas muy pequeñas para irrigar el cultivo, es muy útil para el control de humedad y temperatura en invernaderos y por el tamaño de las gotas produce pocos daños en las plantas y no compacta el suelo del cultivo. Últimamente es muy usado para cultivos aeropónicos.



*Ilustración 14 Riego por nebulización<sup>7</sup>*

<sup>6</sup> [https://c1.staticflickr.com/5/4009/4550064376\\_c3cbe8e883\\_z.jpg](https://c1.staticflickr.com/5/4009/4550064376_c3cbe8e883_z.jpg)

<sup>7</sup> <http://1.bp.blogspot.com/-OfbPFJzxgew/TteYWWyB4RI/AAAAAAAAAbk/Gk1Urtz33ZY/s1600/IMG-20111130-00873.jpg>

#### **4.5.1.7 -Riego por goteo**

Este sistema de riego utiliza unos dispositivos llamados goteros que se encargan de crear unas pérdidas grandes de carga en el punto de salida lo cual permite la entrega de pequeños caudales de forma constante en un punto específico, tiene una eficiencia del entre el 90 y 95% aproximadamente (Leonardo Gaete Vergara, Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado, 2001). Más adelante profundizaremos sobre este riego ya que será el de mayor uso en el invernadero.



*Ilustración 15 Cinta de Riego por Goteo<sup>8</sup>*

### **Metodologías de cultivo**

#### **4.5.2 Cultivos tradicionales**

Los cultivos tradicionales, utilizan el suelo para el soporte y alimentación de las plantas, sin embargo se han desarrollado otros tipos de sistemas o metodologías de cultivo:

##### **4.5.2.1 Cultivos sin sustrato**

Además de los cultivos sobre sustratos (Tierra, aserrín, otros) existen otros tipos de cultivos que se realizan sin la necesidad de sustratos, entre ellos se encuentran la hidroponía y la aeroponía, dos sistemas en los cuales las raíces de las plantas quedan suspendidas en el agua o en el aire respectivamente; esto conlleva como todo sistema ventajas y desventajas para los cultivos, a continuación se describen brevemente:

##### **4.5.2.1.1 Hidroponía:**

---

<sup>8</sup> [http://azu1.facilísimo.com/ima/i/3/9/9e/am\\_79225\\_5430792\\_535848.jpg](http://azu1.facilísimo.com/ima/i/3/9/9e/am_79225_5430792_535848.jpg)

Es un tipo de cultivo que utiliza el agua en vez de la tierra para alimentar y sustentar las plantas, podría pensarse que es un método nuevo, sin embargo se tiene conocimiento de la existencia de jardines flotantes en la civilización Azteca y la de los jardines colgantes de Semíramis, los cuales funcionaban con los mismos conceptos y principios de la hidroponía. Para que el sistema funcione correctamente se necesita de la circulación periódica del agua a través de las raíces de las plantas, lo cual implica la inyección de nutrientes a través de diferentes metodologías.

#### **4.5.2.1.2 Aeroponía**

Es un tipo de agricultura en la cual las raíces de la planta permanecen suspendidas en el aire y por medio de nebulizadores se rocían las raíces con agua y nutrientes necesarios para la planta.

#### **4.5.2.2 Agricultura Protegida**

Se entiende por agricultura protegida como el tipo de agricultura que se realiza bajo algún tipo de cobertura que permite crear y controlar unas condiciones de temperatura, humedad y riego enfocadas al óptimo desarrollo y crecimiento de las plantas. Normalmente se realizan bajo invernaderos de diferentes formas, alturas y materiales según las condiciones climáticas que se quieran crear.

#### **4.5.2.3 Agricultura de precisión**

La agricultura de precisión parte del hecho de que las características del suelo y del cultivo varían en el espacio y en el tiempo, y es por esto que se define como el conjunto de técnicas orientadas a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, fertilizantes, abonos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola (Rodolfo Bongiovanni, 2006. Para poder lograr este objetivo la agricultura de precisión utiliza lo más moderno de la tecnología incluyendo por ejemplo sensores de GPS, visión artificial para la detección de plagas y enfermedades, sistemas de sensores remotos, sistemas de fertirriegos de gran precisión y escalabilidad entre otros.

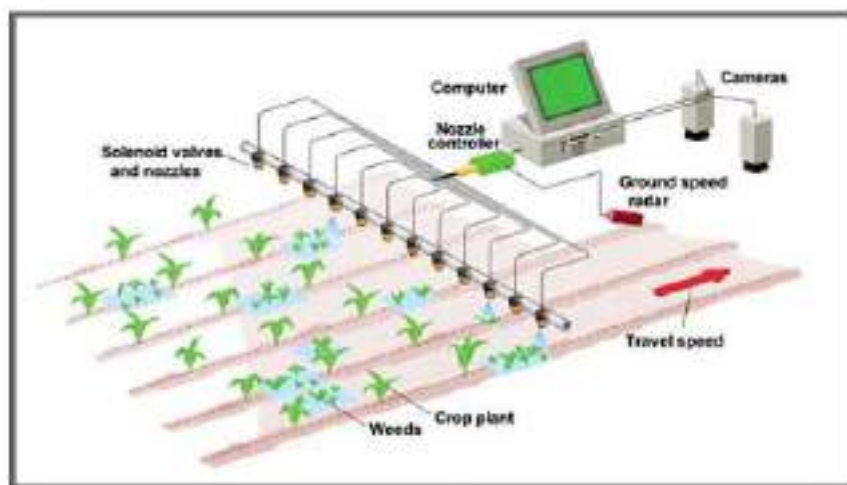


Figura 1.5: Esquema de un pulverizador para control localizado de malezas basado en el procesamiento y análisis de imágenes (UIUC, 2005)

Ilustración 16 Ejemplo de un sistema de agricultura de precisión (Rodolfo Bongiovanni, 2006), pág. 21.



### 4.5.3 Sistema SCADA

El propósito principal de este trabajo es la implementación de un sistema conocido como SCADA, Sistema de Supervisión de Control y Adquisición de Datos, estos sistemas permiten la gestión y control de cualquier sistema local o remoto a través de una o varias interfaces gráficas (Rodríguez Penin, 2008) que son accedidas por el operador del sistema.

Se implementan a través de una aplicación o diversas aplicaciones de software que se articulan con un objetivo común que es la supervisión de toda una planta. Estos sistemas se caracterizan por recoger información directamente de la planta a través de sensores, que puede pasar a través de uno o varios nodos de más nivel o llegar directamente hasta un sistema central, el cual recoge, compila y analiza esta información de tal forma que se convierta en información útil para la toma de decisiones de producción.

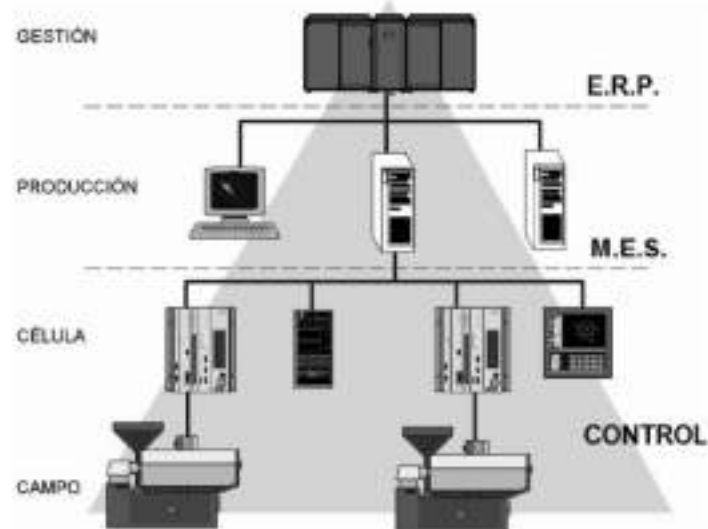


*Ilustración 17 Pirámide de Control (Universidad Santo Tomás, s.f.)*

Los sistemas SCADA se encuentran en el tercer nivel de la pirámide de control, por encima de estos se encuentran los DCS, MES, ERP/SAP, que son sistemas que se encargan de generar una supervisión a mayor nivel, el control de los procesos de producción y manufactura y en el último nivel donde se puede articular elementos administrativos, como la utilidad percibida y la planeación de las ventas, con el control de la producción en planta, dando órdenes directas a operadores y coordinadores.



Cada uno de estos niveles tendrá asociada una función principal dentro de la estructura de una empresa, así como se observa en el siguiente gráfico:



*Ilustración 18 Pirámide de Automatización (Rodríguez Penin, 2008)*

Generalmente los sistemas SCADA se caracterizan por tener los siguientes deben cumplir con los siguientes objetivos:

- **Economía:** Capacidad que tiene el sistema para reducir los tiempos de supervisión del personal al tener toda la información accesible en un solo punto.
- **Accesibilidad:** Capacidad que presenta el sistema para que se puedan ejercer acciones de control directas sin necesidad de desplazarse a la planta.
- **Mantenimiento:** Se refiere a la facilidad en la obtención y visualización de datos para cualquier usuario que no sea experto, con elementos como el anuncio de fechas de mantenimiento y de los posibles fallos que se estén presentando acorde a las estadísticas.
- **Ergonomía:** Se refiere a la comodidad y buena presentación de los datos y los controles necesarios de tal forma que el supervisor no se canse o se le vuelva monótono el uso del sistema. Aquí será necesario tener en cuenta temas de distribución de color, tamaño de las letras, simbología de los instrumentos y elementos de campo, generación de sonidos, convenciones de colores, etc.

- **Gestión:** Se refiere a la capacidad del sistema de presentar gráficos estadísticos y de manera comparativa de tal forma que se genere información útil y asertiva para el análisis del proceso.
- **Flexibilidad:** Capacidad del sistema para añadir piezas gráficas con indicadores y otros elementos de control y monitoreo de manera intuitiva y rápida.
- **Conectividad:** Capacidad del sistema para ser compatible y ofrecer protocolos de comunicación claros que le permitan articularse con otros sistemas.

#### 4.5.3.1 Criterios de diseño

Para el diseño de un sistema SCADA será necesario tener en cuenta una serie de criterios que orientarán las capacidades, elementos, arquitectura y parámetros que tendrá deberá incluir o no dicho sistema. A continuación describimos cada uno de ellos (Rodríguez Penin, 2008):

- **Disponibilidad:** Se refiere a la capacidad que tiene el sistema para seguir operando cuando alguno de los elementos falla, estos elementos pueden ser de hardware o de software, para cada uno de ellos se pueden definir estrategias de disponibilidad en diferentes niveles.

Para garantizar niveles de disponibilidad será necesario que el sistema implemente elementos de redundancia, la cual es entendida como la capacidad de un elemento del sistema para asumir las funciones de otros de tal forma que sea transparente al sistema que sirve. Esta redundancia se logra de diferentes formas dependiendo del elemento del sistema para el cual se requiera suplementar la función este puede ser por ejemplo: un servidor de soporte o Back up, un controlador secundario como un PLC por ejemplo que reemplace a otro similar en caso de fallo, un bus en paralelo para que no se interrumpan las comunicaciones, entre otros.

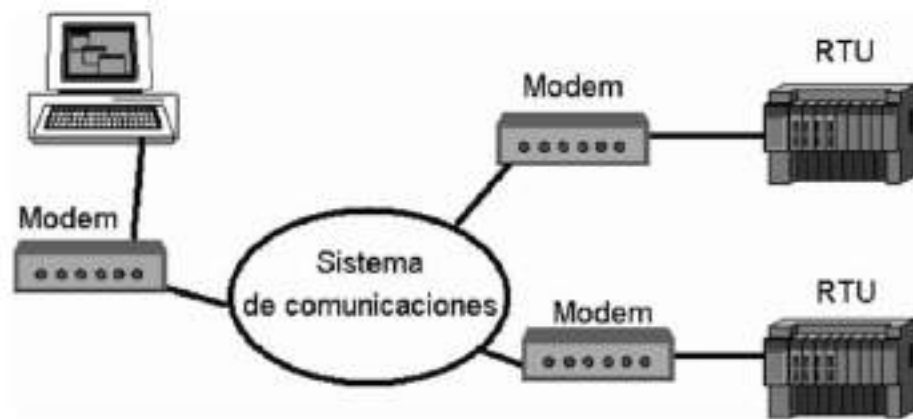
Este nivel de redundancia dará como resultado la disponibilidad del sistema y dependerá directamente de los objetivos para los cuales se halla creado el mismo, es decir que si se requiere por ejemplo de un sistema vital para un proceso este deberá tener redundancia en todos los niveles posibles, si no es el caso, bastará solamente con que se incluya redundancia en algunos o en ninguno de ellos.

- **Robustez:** Se refiere a la capacidad del sistema de permanecer operativo ante la presentación de un fallo. Un ejemplo de esto es que un sistema sea capaz de mantener operativa una parte del proceso a pesar de romperse los enlaces de comunicación con el sistema central basándose en los últimos datos recibidos. Otro ejemplo puede ser la capacidad de reinicio de tareas de un autómata después de un fallo en la electricidad.
- **Seguridad:** La seguridad del sistema se puede analizar desde dos puntos de vista: el primero tiene que ver con la seguridad interna del sistema, la cual estará dada por la capacidad del sistema para verificar los datos que son enviados y recibidos así como de la verificación de las acciones de los actuadores dentro de los parámetros establecidos. Esto se puede lograr por ejemplo estableciendo límites para las variables, codificaciones específicas para cada uno de los autómatas, e informes de errores a través de elementos de programación como el Watch Dog, entre otros. El segundo nivel tiene que ver con elementos externos que pueden ser ataques mal intencionados, virus o usuarios con autorizaciones de control indebidas. Para esto se pueden implementar por ejemplo firewalls, encriptación de la comunicación, permisos de usuarios, contraseñas, entre otros.
- **Prestaciones:** se refiere básicamente al tiempo de respuesta que tenga el sistema, este debe ser acorde al proceso que se esté controlando y debe permitir que en caso de fallos y en momentos en los cuales la comunicación y configuración son intensas el sistema no deje perder los datos y asegure las comunicaciones entre los diferentes dispositivos.
- **Mantenibilidad:** Se refiere a la capacidad que tiene el sistema de tener elementos que faciliten el mantenimiento del sistema, teniendo en cuenta herramientas de diagnóstico específicas según las funciones asignadas en el sistema a cada uno de las partes que lo estructuran, un ejemplo de esto son las estadísticas de funcionamiento de un motor que permitan realizar un mantenimiento preventivo antes de la falla del mismo.
- **Escalabilidad:** Se refiere a las posibilidades que ofrece el sistema para ser ampliado en lo referente a: Espacio físico, capacidad de los equipos de control y capacidades del sistema de comunicaciones. Esta escalabilidad será más alta en la medida en que se descentralicen las funciones del sistema y se les garantice mayor redundancia y compatibilidad.

#### 4.5.3.2 Arquitectura de un sistema SCADA

La arquitectura de un sistema SCADA estará definida por tres elementos fundamentales:

1. La unidad central o MTU (Master Terminal Unit).
2. Dispositivos de Campo o RTU (Remote Terminal Units)
3. El Sistema de Interconexión o Comunicaciones.



*Ilustración 19 Idea Básica de un Sistema SCADA (Rodríguez Penín, 2008)*

Y a su vez estos tres elementos están compuestos por combinaciones de Hardware y software, lo cual da como resultado una gran cantidad de posibilidades de implementación.

1. **MTU:** Es donde se centraliza el mando del sistema. Allí se debe permitir la interoperabilidad de multiplataforma y multisistemas, posibilitando el intercambio de información entre los centros de control y subestaciones. En términos generales se encarga de:
  - Gestionar las comunicaciones
  - Recopilar y enviar datos a las RTU.
  - Comunicación con los operadores del sistema.
  - Análisis, impresión y visualización de Datos.
  - Realizar el mando del sistema.
  - Garantizar la seguridad del sistema.
2. **RTU:** Las estaciones remotas son un conjunto de elementos que se dedican a labores de control y supervisión del sistema y que se encuentran alejados del centro de



control y comunicaciones. Estos elementos se dedican a operaciones específicas dentro de la planta y los elementos de procesamiento de información que los conforman son robustos y de acuerdo a los ambientes en los cuales trabajan pudiendo operar por ejemplo en entornos ruidosos o de altas temperaturas. Elementos de este tipo pueden ser: PLC, Microcontroladores, Variadores, Procesadores de comunicaciones entre otros.

3. **Sistemas de comunicación:** Los sistemas de comunicación se encargan de llevar los datos entre todos los elementos de un sistema SCADA. Estos sistemas son muy variados dado que se pueden tener sistemas y protocolos de comunicación estándar o desarrollados por fabricantes específicos. El reto del sistema SCADA consiste entonces en articular todos estos flujos de datos y permitir la interacción entre todos ellos. Para lograr esto existen diferentes elementos de software que facilitan y estandarizan la comunicación:

- **OPC (OLE for Process Control):** Es un estándar abierto de intercambio de datos que permite acceder a los mismos desde aparatos de campo partir de un método de acceso que es siempre el mismo sin depender del tipo y ni el origen de los datos. Se basa en la tecnología COM (Component Object Model) de Microsoft, que permite definir cualquier elemento de campo mediante sus propiedades convirtiéndolo en una interface.

Este estándar define un cliente y un servidor OPC el primero solamente usa los datos mientras que el segundo se encarga de almacenar los datos y tenerlos disponibles para los clientes que los soliciten.

- **ODBC (Open Data Base Connectivity):** También de Microsoft, es un estándar que permite acceder a sistemas de gestión de bases de datos mediante la inclusión de un controlador en la aplicación correspondiente que accede a los datos. Esta interfaz define:
  - a) Una Librería de llamadas a las funciones ODBC.
  - b) La Sintaxis SQL necesaria.
  - c) Códigos de error estándar.
  - d) El método de conexión a un sistema de Gestión de Bases de Datos (DBMS).
  - e) El formato de presentación de los datos.

El acceso a los datos necesita de un controlador específico (DLL en Windows).



- **SQL (Structured Query Language):** Es un estándar para la comunicación con bases de datos permite una interfaz común para cualquier programa que se ciña al estándar SQL. Las posibilidades mas importantes que ofrece este estándar son:
  - a) **Procedimientos:** Son bibliotecas de comandos almacenados en la base de datos que permiten reducir el tráfico de la red y simplificar los procesos de acceso.
  - b) **Eventos:** Son comandos que se activan automáticamente para mantener la integridad de los datos.
  - c) **Replicación:** Permite la fácil sincronización y actualización de las bases de datos.
  - d) **Accesibilidad:** Permite el intercambio de información basado en eventos. Un ejemplo es, el envío automático de mensajes al cumplirse ciertas condiciones.
- **ASCII:** Es un formato común a todas las aplicaciones pero complejo de implementar.
- **API (Application Programming Interfaces):** Permite que el usuario pueda adaptar el sistema a sus necesidades, esto requiere la compilación de códigos, por lo cual es complejo de implementar.

Una arquitectura general de comunicación en un sistema SCADA tendrá un aspecto similar al siguiente:

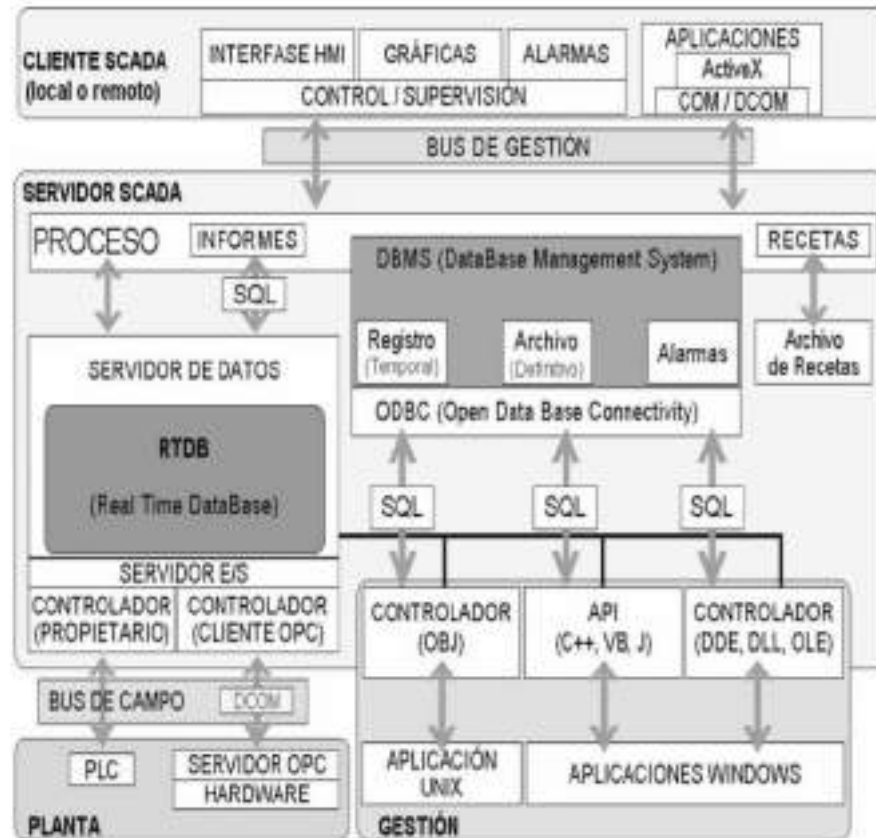
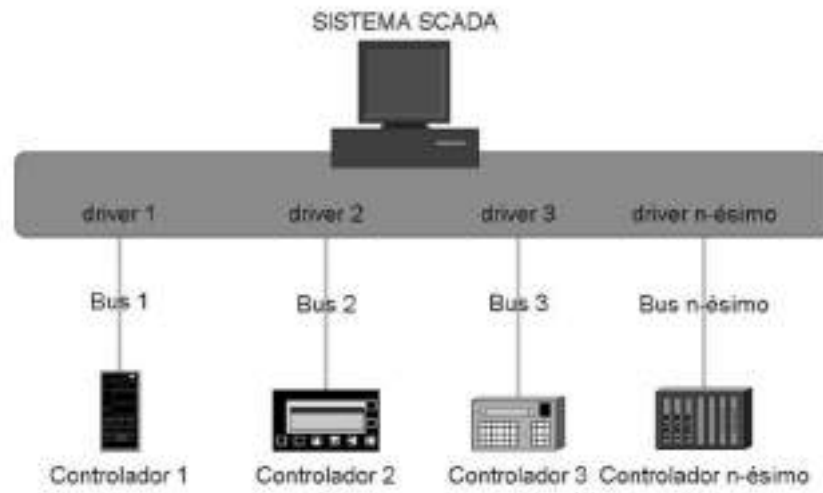


Ilustración 20 Arquitectura del software de un sistema SCADA (Rodríguez Penín, 2008)

## Implementación de la comunicación

### Comunicación mediante controladores específicos

Son controladores que solo permiten la comunicación con un determinado tipo de dispositivo, generalmente según la marca de cada uno. Este tipo de comunicación es bastante desgastante en la implementación y poco flexible.



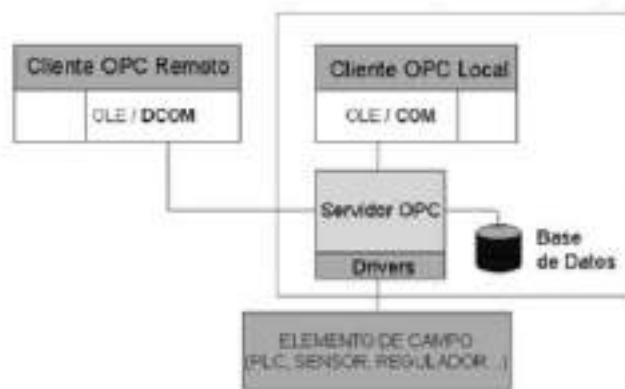
### Comunicación mediante controladores genéricos.

Son controladores que usan especificaciones de dominio público y facilitan enormemente la implementación de la comunicación al interior de un sistema SCADA incluso hacia afuera de este de ser necesario.

## OPC

OPC (Ole for Process Control) nació con el objetivo de solucionar el problema de intercambio de datos entre dispositivos de diferentes fabricantes, creando un estándar abierto el cual está al nivel de las comunicaciones industriales y que permite grandes ahorros en los costos de implementación.

OPC establece un estándar para la interconexión de sistemas basados en Windows y hardware de control de procesos. La estructura básica de un OPC es la que se observa en la siguiente figura:



De la figura se puede ver que un OPC trabaja sobre la estructura de red Cliente – Servidor y no sobre una red Distribuida Tipo Mesh.



## **4 Metodología**

### **4.1 Actividades de Gestión Comunitaria**

Este proyecto es el fruto de varios años de intervención comunitaria, es por esto que la realización del sistema SCADA es la fase final del mismo, es por esto que a continuación se describen las diferentes situaciones que llevaron poco a poco a la consolidación de este proyecto.

#### **4.1.1 Realización de reuniones con líderes comunitarios**

Para iniciar el análisis de la implementación de la propuesta, fue estratégico primero realizar reuniones con diferentes líderes sociales y ambientales del municipio de Marinilla.

De estas reuniones salieron como resultados recomendaciones y precauciones, que le fueron dando a la propuesta de implementación un rumbo diferente al inicialmente propuesto.

El cambio de enfoque fue principalmente en cuanto al espacio en donde debía implementarse la propuesta planteada, en un principio se pensó en realizar el proceso en un espacio de producción como una asociación de campesinos, para finalmente implementarse en una institución educativa rural. Este cambio creó nuevas necesidades que no habían sido tenidas en cuenta en la propuesta inicialmente, necesidades principalmente dirigidas al proceso pedagógico que entra a considerarse.

#### **4.1.2 Actividades de Integración con los estudiantes**

Después de decidirse que lo mejor era impactar una institución educativa rural con la implementación del proyecto, se procedió a buscar cual era la más indicada, para el caso se eligió la IE Rural Técnico de Marinilla, ya que es el punto de confluencia de por lo menos 30 veredas del municipio que tienen una fuerte vocación agrícola y cuenta con espacio suficiente para la implementación del invernadero.

La situación inicial del espacio del invernadero era precaria esto se puede evidenciar en las siguientes fotos:



*Ilustración 21 Invernadero en la situación inicial*



*Ilustración 22 Invernadero en su situación inicial*

En este sentido se desarrolló un proceso de acercamiento a los estudiantes y maestros de la institución educativa mediante la realización de reuniones y talleres de formación y acompañamiento:

**2013**

Reunión 6 de marzo con los estudiantes (ANEXO 15).

Reunión 16 de Marzo con los estudiantes (ANEXO 15).  
Acompañamiento realizado por CORUM al grupo de investigación escolar.  
Proyecto de Ondas Realizado por los estudiantes.

## **2014**

Realización de reuniones con estudiantes (ANEXO 15)  
Apoyo en los trabajos de grado de los estudiantes  
Apoyo a los proyectos de investigación de los estudiantes  
Vinculación de los estudiantes en la construcción del invernadero.

### **4.1.3 Articulación con Maestros**

Los maestros del colegio apoyaron la realización del proyecto, motivando a los estudiantes y coordinando las diferentes actividades que se llevaron a cabo con ellos, igualmente la implementación de actividades dentro del invernadero en el currículo de sus materias, viabilizó la utilización y apropiación del espacio por parte de la institución educativa y los estudiantes.

Con el objetivo de dejar una capacidad instalada en el colegio se realizó una jornada de capacitación con los profesores acerca del funcionamiento del invernadero y de las posibilidades de trabajo que allí encontrarían, como compromiso entre el colegio y la corporación quedó planteada la realización de unas guías pedagógicas para el desarrollo de prácticas en el invernadero.



#### 4.1.4 Voluntarios para el proyecto

Para el desarrollo del proyecto se contó con la vinculación de voluntarios en las diferentes etapas de construcción:

- Jóvenes del semillero de robótica de la corporación se comprometieron con el desarrollo del proyecto y donaron 2 días de trabajo para la construcción de los canales para la tubería eléctrica.
- Colaboración de los ingenieros: Dubian Hoyos Garcia, Sergio Alejandro Castrillón, Marcela Castaño.
- Colaboración de jóvenes voluntarios de la corporación.
- Colaboración de otras organizaciones ambientales: TAFE y Ecos de Naturaleza.



*Ilustración 23 Construcción Casetas*



*Ilustración 24 Construcción casetas*



*Ilustración 25 Voluntarios*



*Ilustración 26 Voluntarios construyendo zanjas para tubería eléctrica*



#### 4.1.5 Realización de prácticas de los estudiantes

En la institución educativa se desarrollaron dos jornadas de voluntariado con los estudiantes:

En la primera un grupo de 10 estudiantes de la institución educativa se unió en conjunto con dos de los trabajadores del colegio para la realización del pozo de succión en el nacimiento que posee el colegio, este grupo trabajó durante dos días.

Posteriormente un grupo de 30 estudiantes del grado 8° y 10 voluntarios de la organización Ecos de Naturaleza realizaron otra jornada de voluntariado en donde se realizaron otras adecuaciones al sistema de succión y se realizó una reforestación de los alrededores del humedal. Finalmente, en septiembre y octubre de 2014 un grupo de 20 estudiantes de la institución educativa desarrollaron sus prácticas agrícolas utilizando el riego por goteo en el invernadero.



*Ilustración 27 Estudiantes pintando tubería de hidroponía*



*Ilustración 28 Estudiantes instalando el riego por goteo*



*Ilustración 29 Estudiantes instalando el riego por goteo*



*Ilustración 30 Riego por goteo*

## Organización del pozo para la succión del agua



*Ilustración 31 Estudiantes instalando el tanque en pozo*



*Ilustración 32 Estudiantes realizando las adecuaciones para el pozo de agua*



*Ilustración 33 Estudiantes instalando el tanque en pozo*



*Ilustración 34 Estudiantes instalando el tanque en pozo*



*Ilustración 35 Estudiantes instalando el tanque en pozo*



*Ilustración 36 Estudiantes instalando el tanque en pozo*

## **4.2 Actividades de Gestión Administrativa y Financiera**

Para la gestión administrativa del proyecto y la consecución de los recursos para el mismo se desarrollaron las siguientes acciones:

- Realización de un primer modelo 3D del invernadero para realizar gestiones con la fundación Concreto, esto al final no dio ningún resultado. (ANEXO 18 3D PROPUESTA)
- Redacción de las cartas para la cooperativa COTRAFA.
- Realización de reuniones con COTRAFA (ANEXO 16 REUNIONES COTRAFA):
  - Acta 28 de Febrero
  - Carta Cooperativa COTRAFA 14 de Marzo
  - Acta 15 de Marzo
  - Acta 10 de Agosto
- Redacción de la propuesta para la secretaría de agricultura del municipio de Marinilla. (ANEXO 17 PROYECTO FINANCIACIÓN)
- Visitas al colegio para la aprobación del proyecto
- Realización de las listas de materiales del proyecto para elaboración de cotizaciones
- Realización y solicitud de cotizaciones según características técnicas, con ellas se realizaron análisis de las opciones de montaje posibles y finalmente se seleccionaron los mas adecuados, la documentación del proceso se encuentra en el ANEXO 14 COTIZACIONES REALIZADAS Y SELECCIONADAS.
- Lista completa de compras de COTRAFA, en el ANEXO 12 APORTES ALIADOS la lista completa de las órdenes de compra realizadas para el invernadero y las respectivas facturas.
- Recepción de los equipos y verificación de su funcionamiento.
- Realización de compras por parte de CORUM, se anexa la lista de las compras realizadas en el ANEXO 12 APORTES ALIADOS.



## **4.3 Dificultades**

Las principales dificultades para llevar a cabo el proyecto se resumen a continuación:

### **4.3.1 Elección de los beneficiarios del proyecto:**

El proyecto se pensó implementar en un principio dentro del proyecto "Cacao y Organización Social para la Paz", un proyecto financiado por la UE y el PNUD, sin embargo el inicio del proyecto se postergó durante dos años por problemas administrativos entre la UE y el PNUD.

Luego se buscó su implementación en ASOCAMPO, una asociación de productores de Marinilla, sin embargo no fue posible que las personas de la asociación aceptaran la realización del proyecto.

### **4.3.2 Obtención de los recursos necesarios para la realización del proyecto.**

La fundación CONCONCRETO en un principio se manifestó interesada en implementar el proyecto conjuntamente con el municipio de Rionegro, sin embargo después de dos meses la fundación canceló el proyecto por falta de compromiso del municipio de Rionegro.

Finalmente los financiadores fueron CORUM, COTRAFA, UPPER, el Municipio de Marinilla, otras donaciones de particulares (María Quintero) y recursos del estudiante. El resumen de los aportes se encuentra en el ANEXO DE RESUMEN DE COSTOS TOTALES DEL INVENADERO

El municipio de Marinilla no pudo financiar los 15'000.000 que había comprometido, entregando solo 3'000.000, los faltantes y los aportes extra fueron asumidos por las otras instituciones.

### **4.3.3 Retrasos por Incumplimiento en tiempos de entrega de materiales y servicios contratados.**

Por un lado los tiempos de entrega de los materiales y herramientas compradas fueron relativamente largos, ya que a pesar de que se dio la orden de compra



en noviembre de 2013, las últimas entregas se hicieron en Marzo de 2014, un lapso de 4 meses.

Por otro lado el servicio que se contrató de construcción de la cubierta e instalación de los tubos de hidroponía fue entregado parcialmente y fue necesario conseguir después otro contratista para terminar de organizar la cubierta y los tubos.

#### **4.3.4 Coordinar el trabajo con la realización del proyecto**

La realización del proyecto tuvo muchas complicaciones debido a la necesidad de responder en el trabajo y a la vez desarrollar las acciones del trabajo de grado, dado que muchas veces fue necesario aplazar actividades por los compromisos laborales adquiridos.

## Actividades de Diseño e Ingeniería

Para llevar a cabo el proyecto se realizaron las siguientes actividades de ingeniería y diseño:

- 4.1 Búsqueda de artículos en bases de datos de la IEEE.
- 4.2 Búsqueda de trabajos de grado afines en el CENDOI.
- 4.3 Búsqueda de asesorías en temas agrícolas y ambientales.
- 4.4 Realización de visitas a diferentes espacios de referencia.
- 4.5 Análisis y diseño de los componentes del invernadero.

### ***4.4 Búsqueda de artículos en bases de datos de la IEEE***

Se realizó una búsqueda de artículos en las bases de datos de la IEEE (ANEXO 13 ARTICULOS IEEE), a continuación, se describen los artículos revisados teniendo en cuenta un puntaje de calidad Q, de 1 a 5, y los aportes de cada uno:

*Tabla 1 Análisis Artículos Académicos*

<b>Tabla 1. Análisis Artículos Académicos</b>		
<b>Título</b>	<b>Q</b>	<b>Aportes Importantes</b>
An Embedded Systems Approach to Monitor Green House (Rangan & Vigneswaran, 2010)	2	Definiciones generales de lo que es un invernadero. Acondicionamientos señales de sensores. Descripción general del módulo de comunicaciones GSM.
A Gadget-Based Information Management System for Environmental Measurement and Control in Greenhouses (Takehiko Hoshi, 2011)	5	Enfoque en el análisis multivariable para invernaderos. Importancia de la búsqueda de un protocolo estandarizado para las comunicaciones de los diferentes sensores y sistemas dentro de un invernadero. Se plantea el aprovechamiento de nuevos integrados que permiten la conexión de sensores a la red LAN. El núcleo del proyecto fue la construcción de un LIS (Low Cost Information Server) servidor de información de bajo costo usando el Kuro-Box/Pro, el cual es un computador basado en Linux y especialmente diseñado para servir como NAS (Network attached Storage) servidor de almacenamiento de archivos.

		El gadget creado para iOS, se conecta al servidor y recibe los datos fácilmente, además los sensores envían los datos al servidor para ser almacenados.
Wireless sensing and control for precision Green house management (Aksahy C, 2012)	3	Se realiza una implementación típica de un monitoreo de variables a través del Labview. Comunicación utilizando Zigbee, entre un microcontrolador y el computador. El microcontrolador recibe las señales de los sensores. Para los sensores de humedad y temperatura se realiza el respectivo circuito de acondicionamiento de las señales para ser llevadas al ADC del microcontrolador PIC 18F452, este utiliza la interfaz serial para comunicarse con el módulo de zigbee y entregar los datos al computador, además el microcontrolador realiza las acciones necesarias sobre los actuadores a través de una interfaz de potencia.
Design and realization of wireless sensor network for vegetable greenhouse information acquisition (Yong, 2010)	5	Se enfoca en la construcción y diseño de un nodo Wireless para una red de sensores inalámbricos en un sistema. Los nodos se conectan con una estación base que posee un Gateway que permite la comunicación con cada uno de los sensores desde un punto remoto o desde el sitio en cuestión. Los datos de los sensores se envían a computadores con el objetivo de realizar cálculos multivariantes y otros tipos de cálculos estadísticos que permitan mejorar y predecir el comportamiento del cultivo. La estación base se encarga de guardar la información y mantener los flujos de información hacia adentro y afuera de la red, esta también debe ser capaz de descubrir la topología de la red y de responder a los diferentes comandos de solicitud de información que llegan y salen hacia la red GSM.
A Wireless Sensor Network Prototype for Environmental Monitoring in Greenhouses (Hui Liu, 2007)		Se describe la realización de una red para el monitoreo de variables en el invernadero, la cual contiene varios nodos de recolección de información por medio de sensores, configurados en una red tipo malla, éstos envían la información a un nodo central el cual se encarga de almacenar la información y enviarla vía GSM a un lugar remoto por medio del servicio de sms. El computador que recibe la información tiene una interfaz programada en Microsoft Visual C++ 6.0. Por los

		elementos usados en cada nodo se concluye que es una red muy costosa y poco viable en la agricultura.
The Design and Implementation of A Low Cost Temperature Control System for Agriculture Greenhouses (Wenlian Li, 2009)	4	Se describe la utilización del ADT14 un control de temperatura con histéresis programable, se encarga de controlar la operación de los sistemas de refrigeración o calefacción teniendo en cuenta un punto de temperatura definido. Se concluye que es un elemento de muy bajo costo que puede ser implementado por cultivadores pequeños.
Modeling Passive Greenhouses. The Sun's Influence (M. M. Balas, 2008)	5	Se analiza el modelado termodinámico de un invernadero, en el cual se pretende el control de la temperatura por medio de un sistema cargas térmicas reduciendo el uso de dispositivos electrónicos o eléctricos. Para el caso se implementa una electrobomba que se alimenta con un panel solar y se encarga de llevar el agua de un tanque a otro con el objetivo de enfriar o calentar el invernadero.
Design of Affordable Greenhouses for East Africa (Min Pack, 2012)	5	Analiza el diseño mecánico, térmico y de durabilidad de pequeños invernaderos accesibles a pequeños agricultores del oriente de África, dado que allí se presentan condiciones climáticas adversas ya sea por exceso de vientos, o de lluvias. Esto con el fin de mejorar la seguridad alimentaria de la población.
Photovoltaic systems for powering Greenhouses (R. Carbone, 2011)	4	Realizan un análisis sobre los diferentes tipos de paneles que se pueden poner en los techos de los invernaderos con el objetivo de evaluar la relación costo beneficio. Se tienen en cuenta tres tipos de paneles solares: Los policristalinos tradicionales, los semitransparentes y los transparentes. Para la implementación del sistema en cuestión se eligen los policristalinos tradicionales dado su bajo costo y teniendo en cuenta que solo se cubrirá la mitad del área del techo. La implementación se realiza en Italia por lo cual la generación de los paneles se conecta a la red eléctrica con el objetivo de vender lo que no se consume en el invernadero. El propósito principal del sistema fotovoltaico es alimentar el sistema de enfriamiento y calefacción del invernadero, por lo cual un sistema como el semitransparente puede ser una muy buena opción ya que en los veranos ayuda a absorber parte de la radiación y regula el



		<p>calentamiento al interior del invernadero. Es por esto que se evalúan opciones que combinen diferentes sistemas alternativos de enfriamiento y calefacción como los sistemas evaporativos de membrana. A toda la gama de dispositivos se le adiciona un control difuso con una red de sensores inalámbricos, con el objetivo de tomar las decisiones de control de temperatura.</p>
<p>FPGA Implementation for humidity and temperature remote sensing system (El-Medany, 2008)</p>	4	<p>Las FPGAs al permitir el diseño de prototipos de hardware complejo, son útiles a la hora de proponer sistemas que pueden ser baratos si se realiza después su maquilación.</p> <p>El uso de GSM permite el monitoreo de variables desde una distancia alejada.</p> <p>Se implementa un sistema que recoge el valor del sensor en la Spartan, lo procesa y puede tomar acciones según su valor, así mismo lo envía a través de serial a un módulo GSM. La señal de la red GSM es recibida en el móvil a través del servicio de SMS, y luego es entregada al computador por medio de un módulo serial.</p> <p>La utilización de GPRS (General Packet Radio Service) puede ser menos costosa que la utilización de SMS.</p>

## **4.5 Búsqueda de trabajos de grado afines en el CENDOI**

En cuanto a la revisión de informes de práctica y trabajos de grado en el CENDOI, se encontraron los siguientes, de cada uno se resumen los principales aportes.

### **Atmosfera semi-controlada en invernadero Cultivo de flores Miramonte**

*Informe de práctica*

JUAN CARLOS MORA MESTRAL

*Estudiante de Ingeniería Mecánica*

*Universidad de Antioquia*

En este se hace un análisis del comportamiento de las variables de temperatura y humedad del ambiente y de las flores en el invernadero, se usa un calentador de radiación infrarroja el cual actúa directamente sobre las flores con muy poca incidencia sobre el aire en general del invernadero. Como resultado del proceso se logró mejorar algunos aspectos del crecimiento y desarrollo de la planta en cuanto a mayor tamaño, menor tiempo de crecimiento y casi nula afección de plagas. (Mestral)

### **Automatización de sistema invernadero por medio de un sistema SCADA**

*Informe de Práctica*

Meldis Ingeniería

Edwín Alexander Torres Martínez

*Ingeniería Eléctrica*

*Universidad de Antioquia*

Se realiza la automatización un invernadero aeropónico por medio del PLC de la familia Trilogic: T100MD1616+, este se encarga de realizar los riegos y fertilizaciones correspondientes en cada una de las zonas del invernadero, de acuerdo a los tiempos que se le definan y diferenciando, aplicaciones para el día y la noche. (Martínez)

### **Resumen Principales Aportes de los artículos IEEE y trabajos encontrados en el CENDOI**

A nivel global hay una gran cantidad de desarrollos y aplicaciones concernientes a la agricultura, muchas de ellas buscan la creación de sistemas de bajo costo, que puedan articularse a sistemas de información en la nube o de acceso remoto. Los avances más importantes se ven en aquellos sistemas que combinan diferentes

estrategias tanto electrónicas, termodinámicas y conocimientos tradicionales en la solución de problemáticas específicas. En términos específicos para Colombia se hace necesario que se realicen una mayor cantidad de investigaciones, estudios y aportes en lo que tiene que ver con sistemas de información geográfica, radares meteorológicos y datos abiertos sobre el desarrollo y necesidades agronómicas de cultivos propios de cada zona del país.

En cuanto a los invernaderos, existen una amplia gama de posibilidades constructivas (Invernaderos pasivos, Solares, Semienterrados, Tipo capilla, Túnel, etc.) que tienen en cuenta la interacción de factores termodinámicos para volver mas eficiente el uso de la energía al interior del invernadero, igualmente la implementación de paneles solares traslucidos y semitraslucidos se ve como una gran opción no solo para cubrir los invernaderos sino para servir de cogeneradores al sistema de energía eléctrica de cualquier país o región.

#### ***4.6 Búsqueda de asesorías en temas agrícolas y ambientales***

Durante el proceso de análisis de la problemática y de consulta sobre diferentes temas agronómicos se tuvo la posibilidad de agendar reuniones con diferentes ingenieros, líderes y organizaciones de carácter ambiental y agrícola:

##### **Asesoría del Ingeniero Agrónomo Dubian Hoyos**

Fueron muy útiles dada las experiencias recogidas por el ingeniero en invernaderos alrededor del mundo especialmente en Israel y en EEUU países con un alto grado de desarrollo en estos temas.

##### **Asesorías de la Ingeniería Agrónoma Marcela Castaño**

Fue muy importante dado el conocimiento que tiene sobre los procesos agrícolas comunitarios que se llevan a cabo en el Oriente Antioqueño, fue muy importante para definir aspectos de carácter práctico para llevar a cabo el proceso.

##### **Realización de reuniones con diferentes corporaciones y líderes ambientales: Corporación CEAM, Corporación TAFA, Corporación Ecos de Naturaleza.**

Con estas reuniones se logró la recolección de un sinnúmero de puntos de vista críticos en cuanto a la implementación de los invernaderos y el enfoque con el

cual deberían ser contruidos así como de los límites que se le deberían poner a los cultivos bajo invernadero. Un aspecto que surgió y que es de gran importancia es que los invernaderos deben servir para facilitar la producción más limpia y orgánica en el territorio y no solo para elevar los niveles de producción agrícola que hacen uso intensivo de plaguicidas y herbicidas.

### **Asistencia a foros técnicos y sociales en temas agrícolas**

#### **Presentación informe del PNUD 2011 Colombia rural, Razones para la Esperanza, Rionegro 2012.**

Fue muy importante la asistencia a este informe así como la lectura de gran parte del mismo, ya que contiene elementos fundamentales para justificar la importancia del proyecto en términos sociales para Colombia, dicho informe sirvió de referencia para la justificación en la primera parte de este informe.

#### **Curso PreCongreso Colombiano de Biotecnología, Universidad Católica de oriente y Universidad Nacional, 9 al 12 de Agosto de 2012.**

Fue un espacio importante para conocer el estado del arte de las iniciativas que están llevando a cabo universidades del departamento y la región en los aspectos agrícolas. Igualmente para conocer las principales limitaciones y características agronómicas de los territorios del oriente antioqueño.

### ***4.7 Realización de visitas a diferentes espacios de referencia***

Con la realización de estas visitas se pudo constatar cual es el nivel de avance y desarrollo de los sistemas bajo invernadero en el oriente antioqueño, se pudo constatar un gran atraso en cuanto a una implementación eficiente de sistemas de medida, monitoreo y automatización en los invernaderos:

- No hay una real valoración de las variables ambientales en el desarrollo del cultivo
- Ausencia de medidas periódicas y estadísticas de los procesos agrícolas.
- En algunos casos por ejemplo la cubierta no cumplía ninguna función real sobre el cultivo.
- Algunos invernaderos tenían los instrumentos de medida como un adorno dentro del cultivo.



- Muchos cultivos poseen instrumentos y equipos como bombas y filtros, pero no hacen uso de ellos.
- Se realiza una implementación muy empírica, o basada en las recomendaciones de vendedores, de los sistemas de riego y fertilización.

Los espacios visitados fueron los siguientes, de la mayoría se anexan fotos o referentes en la WEB, dado que en algunos casos no se permitía tomar fotos del proceso de producción:

Visita al invernadero de la Universidad Nacional en Medellín.

Visita al invernadero de la empresa Aeropónicos **de Colombia**, en Llanogrande: <https://www.youtube.com/watch?v=4T0JqjLeOTw>

Visita a las instalaciones del Corpoica en Llanogrande, Rionegro.

Visita a la empresa Orgaenic en Rionegro.

Visita a invernaderos de cooperativas y pequeños productores:

Invernadero de producción de flores en el Carmen de Viboral

Invernadero de Asocampo, Marinilla

Producción de plántulas en el municipio de Marinilla.

## 4.8 Análisis y diseño de los componentes del Invernadero

### Descripción General

La concepción general del proyecto a implementar en el invernadero se basa en la necesidad de tener un monitoreo y registro de las variables ambientales más importantes para el cultivo, así como de las variables necesarias para el control de elementos hidráulicos y mecánicos en el invernadero. A continuación se encuentra la delimitación del área del colegio por medio de la línea en rojo, la imagen fue tomada de Google Maps.

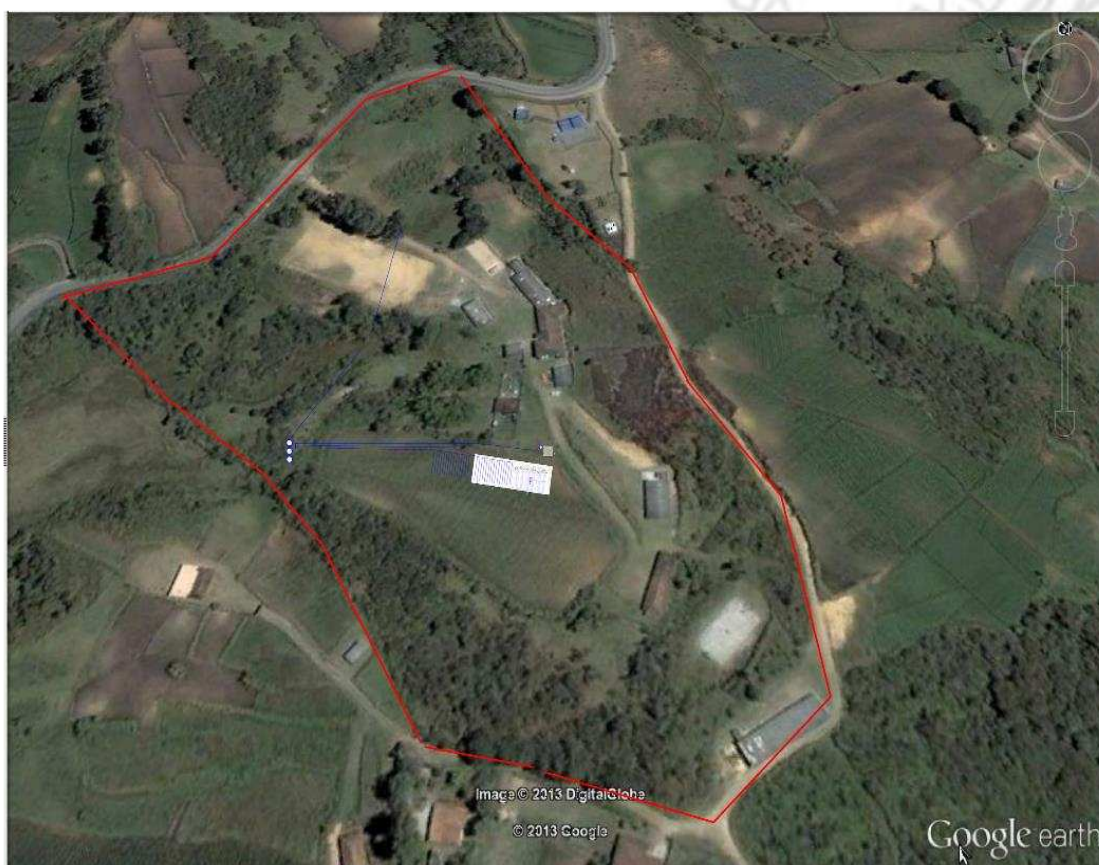
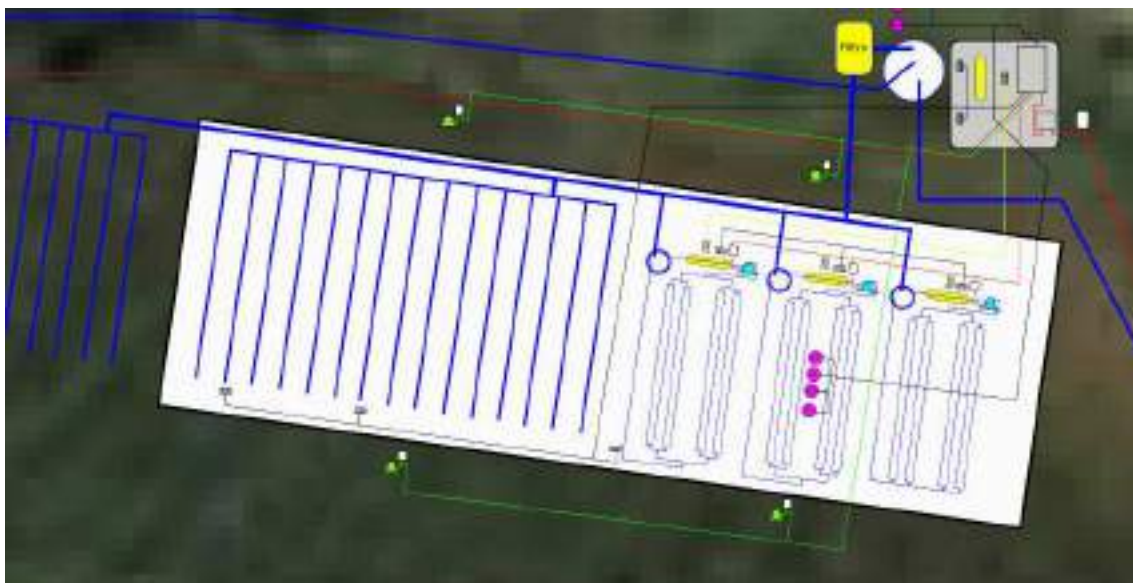


Ilustración 37 Vista general y ubicación del invernadero<sup>9</sup>

<sup>9</sup> <https://www.google.es/maps/@6.1837603,-75.2921736,775m/data=!3m1!1e3>



*Ilustración 38 Primera propuesta: Plano caseta e interior del invernadero*

La distribución de los elementos en el plano, tuvo algunas modificaciones durante el desarrollo del proyecto debido a las condiciones específicas del terreno y a la realización de algunas mejoras al diseño que se planteó en un principio, en las imágenes a continuación podemos observar algunas capturas del plano definitivo, los planos en AUTOCAD se encuentran en la carpeta ANEXO 1 PLANOS AUTOCAD.





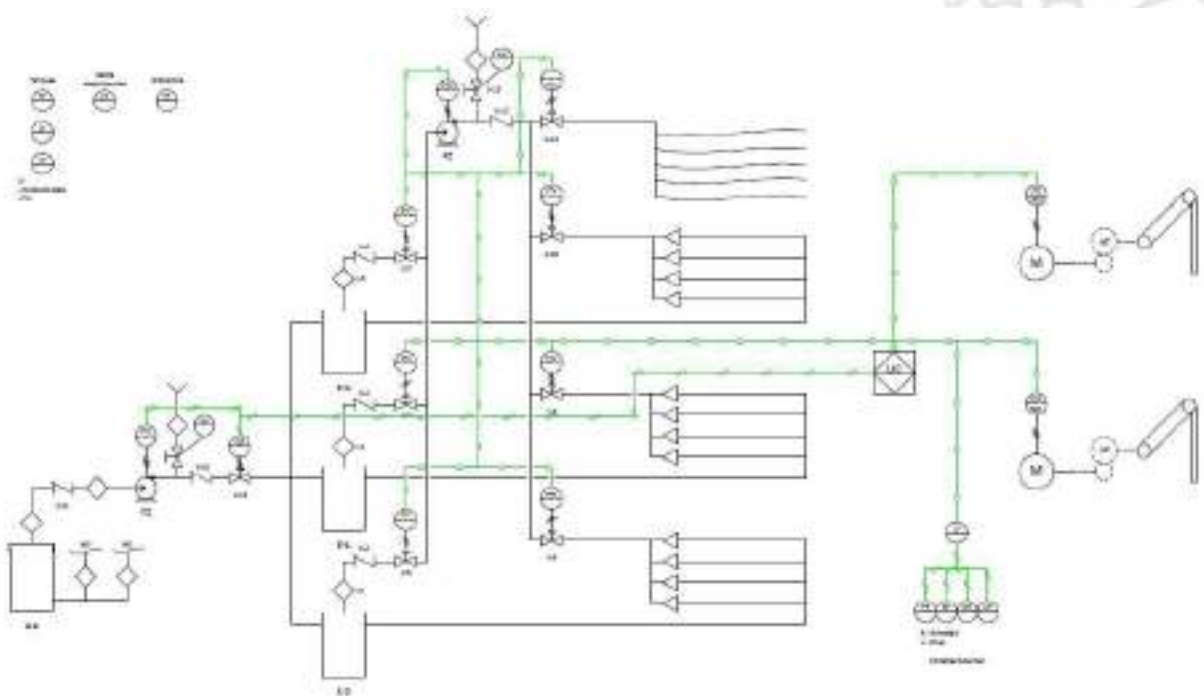
*Ilustración 39 Ubicación Actual del invernadero, Google Maps 2015*





#### 4.8.1 Plano de Instrumentación

Dado que hay una cantidad considerable de elementos en el invernadero, se vio conveniente la realización de un plano de instrumentación para el mismo, contemplando algunos elementos futuros a tener en cuenta para la mejora del mismo, el plano se encuentra en MS VISIO en el ANEXO 2 PLANO DE INSTRUMENTACIÓN, a continuación se muestra una imagen general del mismo:



*Ilustración 40 Plano de instrumentación*

Para tener una idea más clara de cada una de las partes del invernadero se presentará el proyecto dividido en cuatro componentes generales, cada uno de los cuales tiene tres etapas, diseño, instalación y puesta a punto:

- Elementos mecánicos
- Elementos hidráulicos
- Elementos eléctricos
- Elementos electrónicos.

## 4.8.2 Elementos Mecánicos

Dentro de los elementos mecánicos que hicieron parte del invernadero, se encuentran los siguientes:

- Cubierta del invernadero.
- Cortinas del invernadero.

### 4.8.2.1 Cubierta del Invernadero

La cubierta el invernadero está realizada en plástico sus medidas son de 10m x 30m, para un área total de 300 m<sup>2</sup>, en el ANEXO 1 PLANOS DE ACUTOCAD se encuentra el plano 3D se encuentran las medidas del diseño. El tipo de construcción del invernadero es tipo capilla que es una de las formas constructivas más comunes en el medio; los materiales que se usaron se resumen en la siguiente tabla:

*Tabla 2 Datos Cubierta del Invernadero*

Tabla 2. Datos Cubierta Invernadero			
REFERENCIA	ANCHO (m)	ESPESOR (mls)	LARGO (m)
MALLA ANTI TRIPS	3		50
PLASTICO	1,2	6	90
PLASTICO	6	6	60
CANAL	0,90	10	85
PLASTICO	6,20	6	90

Los postes utilizados para soportar la estructura se reutilizaron del antiguo invernadero que se encontraba instalado en el colegio, fueron postes de madera inmunizada para los soportes laterales y para el soporte de la estructura superior del techo se usó guadua común, dada su bajo costo, bajo peso, duración y disponibilidad. A continuación se encuentran algunas fotos del proceso de desmontaje y construcción:



*Ilustración 41 Estructura antigua del invernadero*



*Ilustración 42 Proceso de desmontaje del invernadero antiguo*



*Ilustración 43 Proceso de readecuación de los postes de soporte*



*Ilustración 44 Proceso de readecuación y ubicación de los postes de soporte*



*Ilustración 45 Cubierta con plásticos nuevos y estructura renovada*



*Ilustración 46 Cubierta con plásticos nuevos y estructura renovada*



#### 4.8.2.2 Cortinas del invernadero

Para la instalación de las cortinas del invernadero se retomó la estructura que antiguamente tenía el invernadero pero realizando algunas modificaciones para unir el sistema con los motorreductores, dicho sistema funciona de la siguiente manera: La cortina tiene adosada en la parte superior una guaya, que es tensada por dos poleas móviles, lo cual le permite subir y bajar; esta guaya está sujeta a su vez por cuerdas de nylon que la conectan con la guaya de acero giratoria, como se ve en la figura:

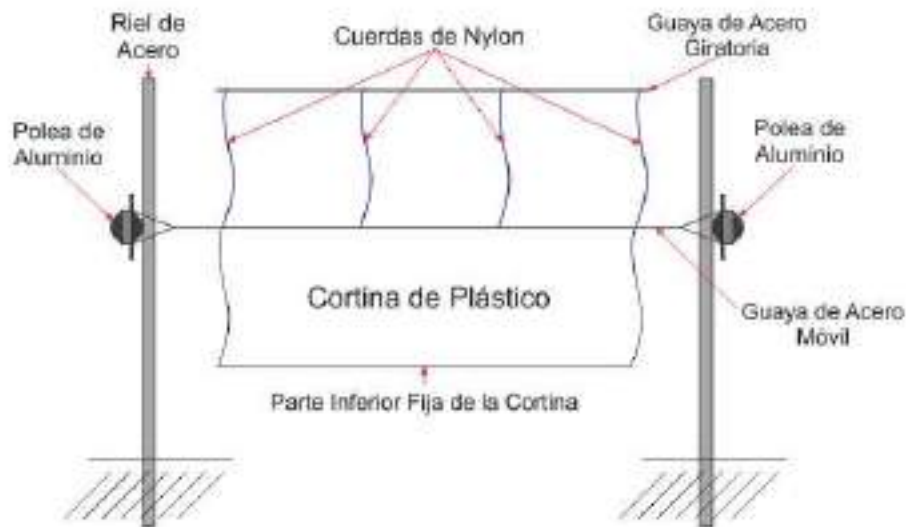


Ilustración 47 Sujeción de la cortina de cada extremo

La guaya superior gira gracias al motorreductor y enrolla las cuerdas de nylon que sujetan la cortina, creando así un movimiento ascendente o descendente dependiendo del sentido de giro.

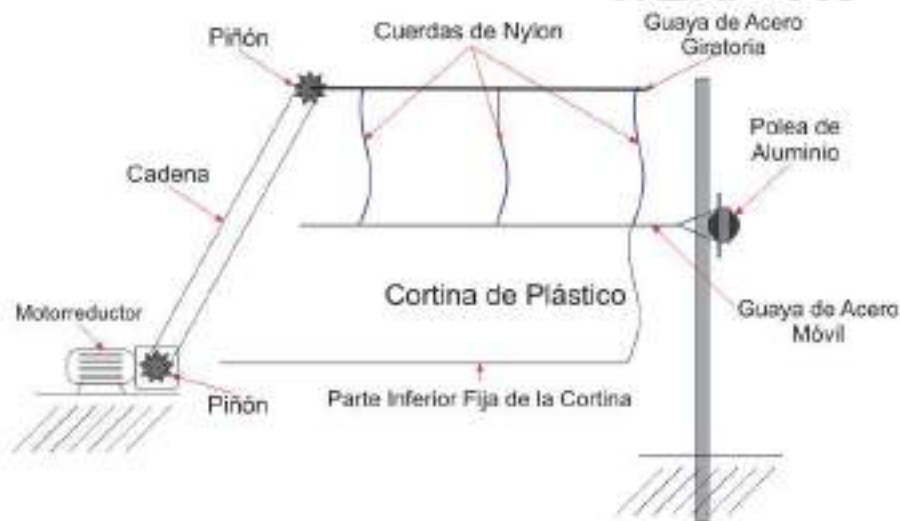


Ilustración 48 Mecanismo de giro de la guaya superior para subir y bajar cortinas

## Fotografías del sistema de cortinas implementado



*Ilustración 49* Sistema de piñón con dos chumaceras, eje y sistema de soporte para el movimiento de las cortinas



*Ilustración 50* Sistema de sujeción móvil de la cortina reutilizado del invernadero antiguo



*Ilustración 51* Sistema de sujeción móvil de las cortinas en la esquina del invernadero



*Ilustración 52* Sistema de sujeción móvil de las cortinas en la esquina del invernadero

### 4.8.2.3 Cadenas y Sprocket

Se realizó una visita a diferentes proveedores de cadenas y sprockets los cuales realizaron varias recomendaciones la más importante fue la de elegir una cadena con un calibre de muy fácil obtención en el mercado para que en el futuro fuera más sencillo conseguir reemplazos o repuestos. Finalmente se eligió la cadena paso 40, con el respectivo sprocket.

El Sprocket se encuentra en el mercado sin maquinar por lo cual es necesario ajustar el sprocket al eje del motorreductor fue necesario mandar a maquinar el eje interno y la ranura para la chaveta, así como la realización de una perforación con roscado interno para la inserción de un tornillo prisionero o de bloqueo, como se muestra en la siguiente figura:

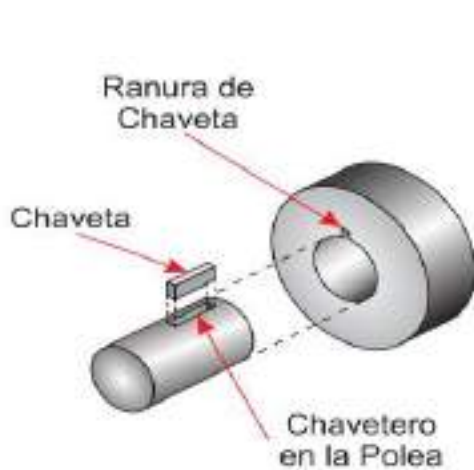


Ilustración 53 Chavetero

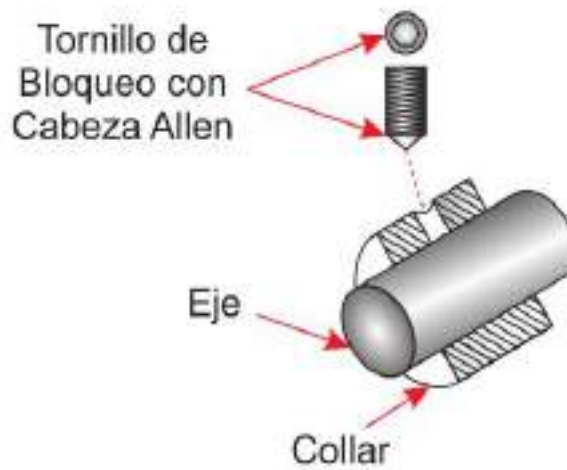


Ilustración 54 Collar y Tornillo de Bloqueo



Ilustración 55 Sprocket con ranura de chaveta

#### 4.8.2.4 Motorreductores

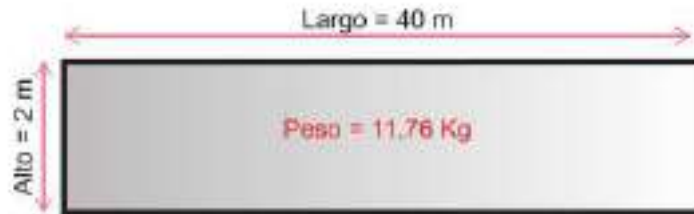


Ilustración 56 Dimensiones de la Cortina

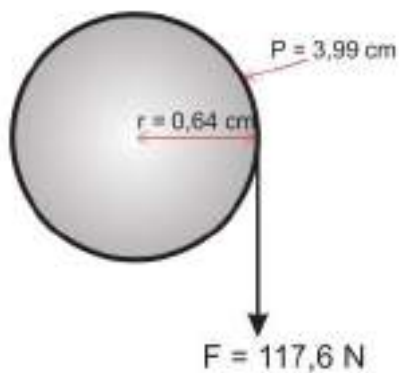


Ilustración 57 Fuerza Sobre el Eje Superior de la Cortina

#### 4.8.2.5 Cuadros de Cálculos

A continuación se presenta el cuadro de cálculos para la potencia necesaria en el motorreductor, en el ANEXO 3 CALCULOS MOTOR, se encuentra el archivo en Excel:

Tabla 3 Cálculos Eje Cortina		
Radio	0,0064	m
Perímetro	0,0399	m
Peso Accesorios	40,00	Kg
Peso Guaya	30,00	Kg
Peso Plástico	11,76	Kg
<b>Peso Total</b>	<b>81,76</b>	<b>Kg</b>

Tabla 3 Cálculos Eje de la Cortina



Tabla 4 Cálculos Tiempos y pérdidas		
Tiempo Apertura	60	s
Velocidad Apertura	0,0333	m/s
RPM	50,1276	rpm
Torque	5,19176	N-m
Pérdidas en Giro	15	N-m
Pérdidas en Guaya	5	N-m

Tabla 4 Cálculos Tiempos y Pérdidas

Tabla 5 Cálculos Motor		
Potencia mecánica	0,1774	Hp
	132,3104	W
FP del motor (Cos $\phi$ )	0,74	
Potencia Eléctrica	178,7979	W

Tabla 5 Cálculos Motor

Según los datos del cálculo del motor se iniciaron la búsqueda de motores con diferentes proveedores, en esa búsqueda estas fueron las opciones más cercanas a las necesidades calculadas:

#### Proveedor: Frecuencia y Velocidad

##### Sin fin corona

372 W, ½ hp trifásico  
42,5 rpm salida  
106 Nm  
40/1

##### Helicoidal

745 W, 1 hp trifásico  
31,2 rpm  
202 Nm  
40/1

#### Proveedor Suconel

Reductor (No se especifica el tipo de reducción)

500 W, 48 VDC  
540 rpm  
9,36 Nm  
6/1

Tabla 6 Cálculos Comparación de los motores				
Tipo	Potencia(W)	RPM	Torque (Nm)	Costo
Sinfín corona	373	42,5	106	\$758.640
Helicoidal	373	31,2	202	\$800.000
Suconel (DC)	500	540	9,36	\$511.792

Tabla 6 Cálculos Comparación de Motores

El motor DC de Suconel requiere además una fuente de 48V, 600W, los otros dos motores requieren un variador para poder controlar el movimiento.

Al comparar las tres opciones se vio que para las cortinas del invernadero el motor de Suconel era muy débil, por lo cual tocaba decidir entre los otros dos, y por precio y velocidad se eligió el motorreductor de tipo **Sinfín Corona**.



Ilustración 58 Placa del motor



Ilustración 59 Placa de la Reducción del Motor



Ilustración 60 Variador con Gabinete y Motorreductor



Ilustración 61 Motorreductor, Sprocket, Eje y Cadena de Transmisión

### 4.8.3 Elementos Hidráulicos

#### 4.5.3.1 Diseño del sistema de riego tecnificado

Un sistema de riego tecnificado se diseña e implementa con el objetivo de crear unas condiciones óptimas de suministro de agua, fertilizantes y pesticidas (Según el caso), que garanticen a las plantas las mejores condiciones de crecimiento, con el menor uso de recursos y las condiciones necesarias para prevenir al máximo el desarrollo de enfermedades y plagas.

El diseño del sistema de riego tecnificado, parte de unas necesidades que son dadas por el tipo de cultivos que se pretenden implementar, las características del suelo y las condiciones ambientales del lugar, estas condiciones lo convierten en un proceso complejo, ya que muchas de las variables a tener en cuenta son muy variables y amplias, por ejemplo, la falta de uniformidad en los suelos, lo poco predecibles que son las condiciones ambientales y la complejidad de los sistemas biológicos de las plantas (Profundidad de las raíces, necesidades de agua y fertilizantes, etc.).

El diseño agronómico es entonces el primer y fundamental paso para el diseño de un riego tecnificado, este es un componente fundamental ya que de un mal diseño agronómico se desprenden consecuencias como la salinización del suelo o la insuficiencia en el volumen del suelo humedecido (Pizarro, 1996). Existen diferentes metodologías para el diseño agronómico de los riegos, para el caso se usará la metodología propuesta en el libro **“Riegos localizados de alta frecuencia”** (Pizarro, 1996), el cual se complementará con el **“Manual de Diseño de Sistemas de Riegos Tecnificado”** (Leonardo Gaete Vergara, 2001), del cual seguiremos la metodología para el cálculo de las presiones y pérdidas del sistema hidráulico, la elección de los diámetros de las tuberías y la elección de los sistemas de bombeo y goteo apropiados.

Dado su extensión se decide incluir todos los cálculos del sistema de riego en el **ANEXO 4 DISEÑO SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO**, además de esto se incluye un plano isométrico en AUTOCAD donde se encuentran todos los elementos que hacen parte del riego y sus dimensiones. Del mismo se presentan a continuación unas vistas generales:

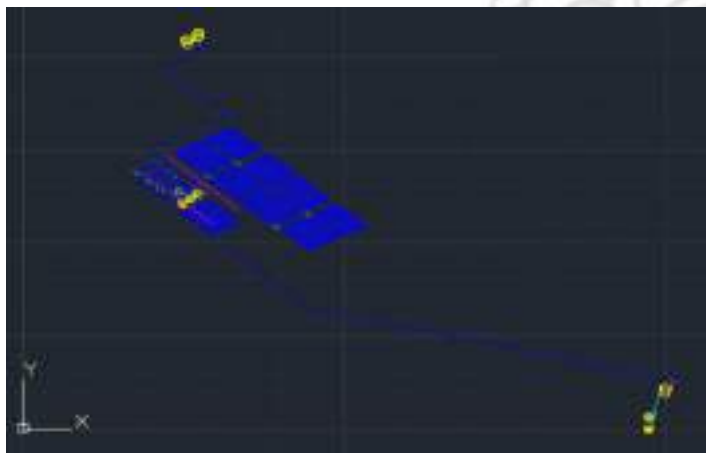
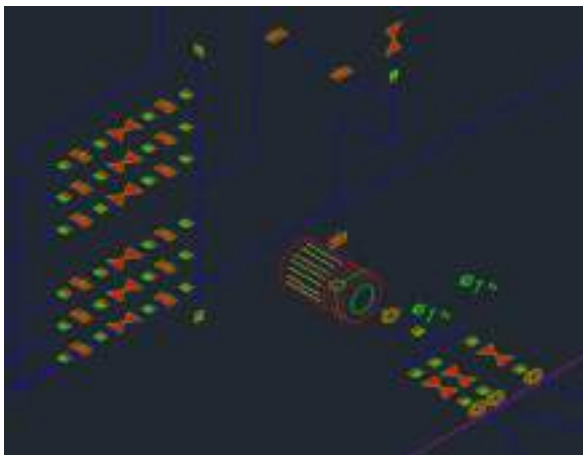


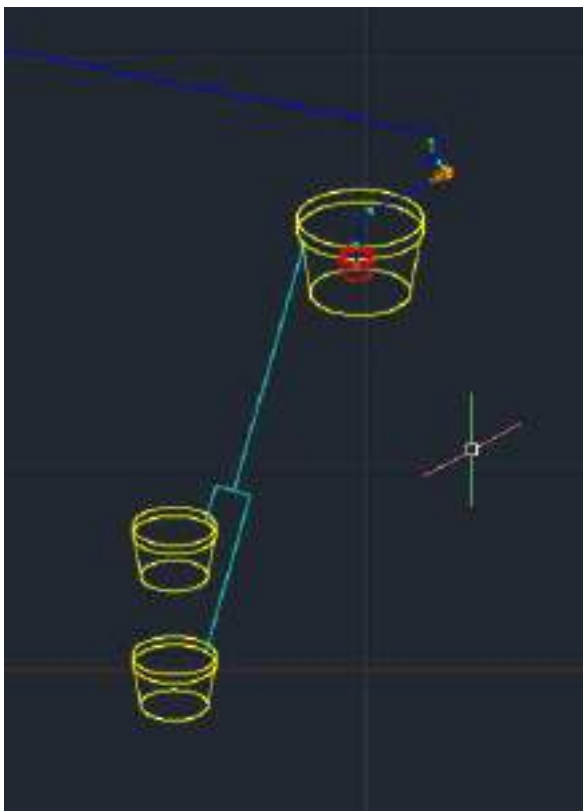
Ilustración 62 Vista General del Isométrico de Riegos



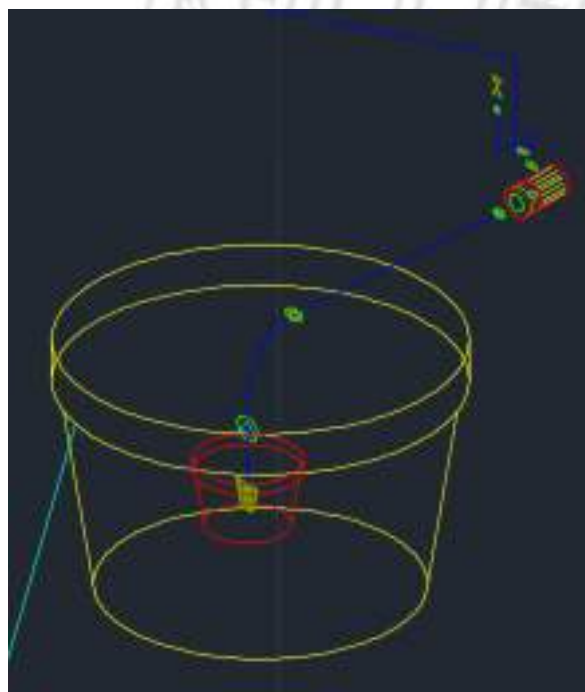
*Ilustración 63 Detalle "flautas" de ingreso y de distribución del riego*



*Ilustración 64 Detalle Tanques y Motobomba de Distribución*



*Ilustración 65 Detalle Filtros de Grava y Arena de Flujo Inverso*



*Ilustración 66 Detalle Instalación Electrobomba*



#### 4.5.3.2 Montaje de hidroponía

En el invernadero se encuentran dos tipos de sistemas de agricultura: Una por hidroponía y otra de riego por goteo, en el punto anterior se desarrolló el diseño del sistema de riego por goteo esto debido a que es el sistema mas grande y complejo, sin embargo para el sistema de hidroponía las necesidades de presión son muy básicas ya que solamente se requiere realizar la recirculación de la solución nutritiva a través de los tubos, los cuales no tienen elementos finales sino que están abiertos y por lo tanto no requieren de presión adicional.



*Ilustración 67 Sistema de hidroponía*



*Ilustración 68 Lechugas Cultivadas sobre el Sistema de Hidroponía*

#### **4.5.3.3 Aspersores dentro del Invernadero**

Los aspersores son elementos de riego que requieren presiones de trabajo entre los 2 y 3 Bares, para el caso no se consideró necesario recalcular las necesidades de presión del sistema dado que comparado con el sistema de riego por goteo este tiene necesidades mucho mas pequeñas.



*Ilustración 69 Aspersor instalado en tubería de 16mm*

#### **4.5.3.4 Instalación de electrobombas**

La instalación de las electrobombas es un aspecto fundamental para tener un correcto funcionamiento de los demás elementos al interior del invernadero, ya que de ellas depende la nutrición e hidratación de las plantas.

Para la realizar correctamente la instalación de una electrobomba es necesario ser cuidadosos con la forma en que se instalan los accesorios ya que la bomba podría no funcionar o funcionar defectuosamente, dentro del proceso de pruebas previas a la instalación de las electrobombas, se tuvieron varios problemas, especialmente con la succión de la bomba, todos ellos estuvieron relacionados con la ubicación de la tubería de succión, y con fugas e ingreso de aire a la tubería de succión por medio de las uniones.

#### 4.5.3.5 Elementos que componen la instalación de una electrobomba

Empezaremos desde el lugar de succión de la electrobomba hasta el punto de salida:<sup>10</sup>

1. Filtro de partículas
2. Válvula de bloqueo
3. Reducción
5. Tubería de succión
6. Acople de entrada a la electrobomba
7. Electrobomba
8. Acople de salida
9. Unión para permitir el cebado y otras pruebas sobre la electrobomba
10. Tubería de salida



*Ilustración 70 Electrobomba de 1hp, con el sistema de selección de la succión.*

---

<sup>10</sup> [http://www.youtube.com/watch?v=LFc1\\_AU0foY](http://www.youtube.com/watch?v=LFc1_AU0foY)



*Ilustración 71 Filtro de anillos y "flauta" de salida con cada una de las electroválvulas*

#### 4.8.4 Elementos Eléctricos

Por tratarse de un sistema que se instala en un área rural, el invernadero requirió la realización de toda la infraestructura eléctrica para su funcionamiento, esta se realizó en tres fases:

##### 4.8.4.1 Cálculos y Diseños

- Medición de las distancias y ubicación de los diferentes elementos eléctricos dentro del invernadero.
- Cálculo de conductores y acometida según las normas de EPM
- Cálculo de los conductores de cada una de las partes del sistema.
- Diseño del plano eléctrico.
- Realización de la lista de materiales y presupuesto de las instalaciones.

En esta etapa se concluyó que era muy costosa la realización de una acometida trifásica, por lo cual se optó por la consecución de variadores de entrada monofásica con salida trifásica.

En el **ANEXO 5 CALCULO DE CONDUCTORES** se encuentran los cálculos realizados para obtener cada uno de los calibres y materiales de los cables a usar de tal manera que se cumplieran las normas de EPM y RETIE (Bermúdez, 2009), a continuación se muestra la tabla realizada:



Tabla 7 Cálculo de Conductores

	Potencia KW	Voltaje V	Corriente A	Distancia m	Caída de voltaje V	AWG	CM Cobre	CM Aluminio	Fase A	Fase B	Ramal	Costo Unitario	Costo Total
Gabinete Motores													
Motor Bomba Grande	1,5	220	7,8	160	4,4	6	20.467,2	33.491,8			Ramal 1	1.500	720.000
Moto Bomba Pequeña	0,75	220	3,9	25	4,4	14	1.599,0	2.616,5			Ramal 2	600	45.000
Persiana 1	0,37	220	2,3	40	4,4	14	1.508,8	2.468,9			Ramal 3	600	72.000
Persiana 2	0,37	220	2,3	25	4,4	14	943,0	1.543,1			Ramal 4	600	45.000
Gabinete Otras Cargas													
												600	-
Fuente 1	0,5	110	2	25	2,2	14	1.640,0	2.683,6	1			600	45.000
Fuente 2	0,2	110	1	30	2,2	14	984,0	1.610,2		1		600	54.000
Fuente 3	0,2	110	1	30	2,2	14	984,0	1.610,2	1			600	54.000
Bombillo 1	0,1	110	0,9	20	2,2	14	596,4	975,9		1		600	36.000
Bombillo 2	0,1	110	0,9	20	2,2	14	596,4	975,9	1			600	36.000
Bombillo 3	0,1	110	0,9	20	2,2	14	596,4	975,9		1		600	36.000
Bombillo 4	0,1	110	0,9	20	2,2	14	596,4	975,9	1			600	36.000
Bombillo 5	0,1	110	0,9	20	2,2	14	596,4	975,9		1		600	36.000
Bombillo 6	0,1	110	0,9	20	2,2	14	596,4	975,9	1			600	36.000
Computador 1	0,5	110	4,5	5	2,2	14	745,5	1.219,8		1		600	9.000
Toma 1	0,1	110	0,9	20	2,2	14	596,4	975,9	1			600	36.000
Computador 2	0,5	110	4,5	2	2,2	14	298,2	487,9		1		600	3.600
Toma 2	0,1	110	0,9	2	2,2	14	59,6	97,6	1			600	3.600
Toma 3	0,1	110	0,9	2	2,2	14	59,6	97,6		1		600	3.600
Acometida	5,79	220	38	60	4,4	4	36.971,6	60.498,9				2.300	414.000
													1.720.800

Tabla 7 Cálculo de Conductores

#### 4.8.4.2 Adecuaciones previas a la instalación de conductores eléctricos y demás elementos finales del sistema

- Realización de las excavaciones de zanjas necesarias para la instalación de la tubería eléctrica subterránea.
- Adecuación interna de las paredes de la caseta principal para los tubos conduit, salidas para tomacorrientes y switches.
- Adecuación de las casetas de los motores y electrobombas.
- Instalación de 4 postes de madera inmunizada para la alimentación de la motobomba de suministro de aguas.

#### 4.8.4.3 Instalación de Accesorios y elementos Eléctricos

- Instalación de los accesorios de las salidas del circuito.
- Instalación de la caja de Breakers y contador
- Instalación de cables por la tubería.
- Instalación del cable trenza #4 para la motobomba de suministro de aguas.
- Instalación de elementos finales del circuito eléctrico en las casetas.

Los planos eléctricos se encuentran en Autocad y en Visio, en los anexos:

ANEXO 6 ISOMETRICO ELECTRICOS - Autocad

ANEXO 7 PLANO ELECTRICO – Ms Visio

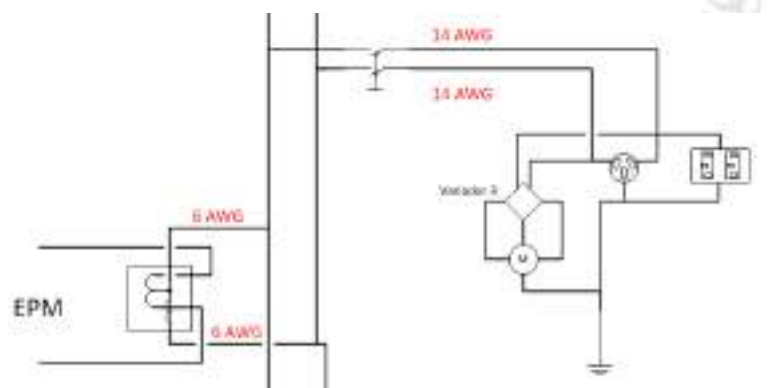


Ilustración 72 Vista de instalación de caseta

## 4.8.5 Implementación del Sistema SCADA

La estructura del sistema SCADA, se describe parte por parte a continuación:

### 4.8.5.1 MTU del SCADA

El MTU del sistema está conformado por el Microcomputador y su interfaz en labview, para la implementación en el microcomputador se realizó un algoritmo bajo el programa LabView, esta interfaz es la encargada de mantener la información de todas las variables de monitoreo del sistema Scada. A continuación, la vista que tiene el usuario del sistema:



Ilustración 73 Vista de la interfaz del sistema SCADA

A través de esta interfaz el usuario puede configurar la programación de los riegos, definiendo el punto de salida y el tanque de entrada de los riegos. Igualmente puede conocer el nivel de los tanques y recibir alarmas de nivel en cada uno de ellos. Se pueden controlar la posición de las cortinas y conocer el estado de las 12 variables ambientales que tiene la estación meteorológica. Finalmente se dejó un espacio adicional para la configuración de los elementos de administración y de las estadísticas del proceso.



Ilustración 74 Vista de la Interfaz de Administración

La interfaz de administración cumple los requisitos de comunicación para poder calibrar los sensores, así como las velocidades de operación, tiempos de arranque de los motores y configuraciones para la comunicación.

El vínculo de las estadísticas vincula con un archivo csv que puede ser usado para la realización de análisis sobre el sistema.

#### 4.8.5.1.1 Programación de la interfaz

Para la programación de la interfaz fueron necesarios diferentes elementos, uno de ellos fue la comunicación, el cual se explicó en un capítulo anterior, elementos adicionales fueron necesarios para organizar las secuencias de riego y la visualización de los elementos de forma interactiva en dicha interfaz. A continuación, se muestran algunos de los elementos principales usados:

Se hizo un uso intensivo de las estructuras CASE, FLAT SEQUENCE y WHILE, las cuales se usaron de forma combinada para lograr los efectos de secuenciación y verificación de las condiciones de los riegos. La estructura general para el control de los riegos fue:



Un WHILE infinito que engloba una estructura de FLAT SEQUENCE, la cual a su vez anida un WHILE para el control del tiempo y los conteos en cada una de las secuencias a partir de un contador realimentado y un TIMER, esto se observa en la siguiente figura:

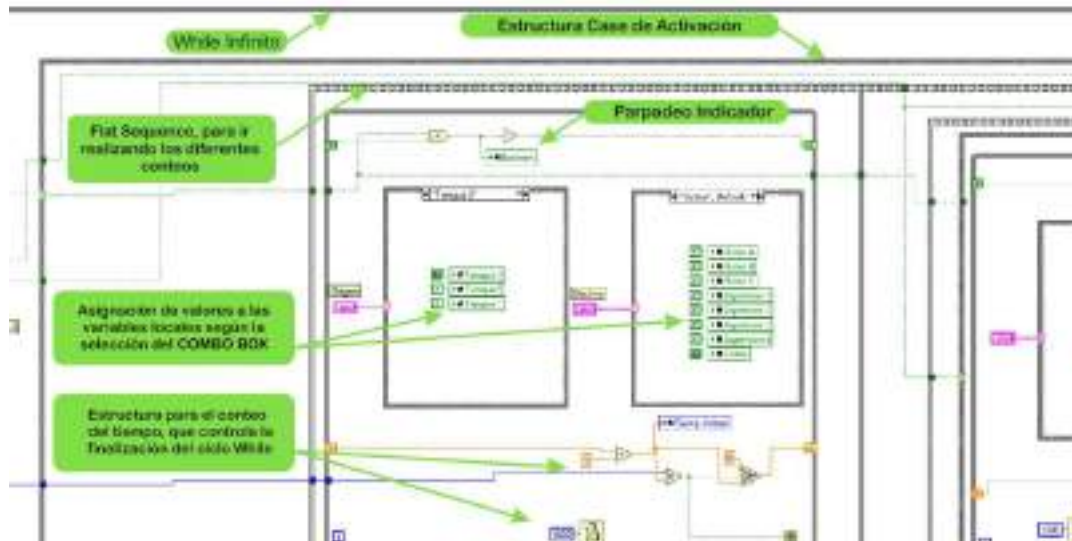


Ilustración 75 Explicación de fragmento de Programación en Labview

Una vista general del código es como se muestra a continuación, sin embargo, esta se anexa en el ANEXO 19 ESQUEMA EN LABVIEW.

#### 4.8.5.1.2 PLC como parte del MTU

El PLC como parte del MTU está encargado de filtrar los comandos que lleguen desde la interfaz principal y darle manejo a los controles de arranque y respuesta a algunos fallos desde su estructura de programación, esto genera las siguientes ventajas:

- Es un elemento que brinda estabilidad, seguridad y robustez a la aplicación creada.
- El sistema de PLC y Variadores funcionará a forma de filtro de entrada a las instrucciones que se envíen por los dispositivos externos al sistema.

Para la implementación fue necesario la realización de un gabinete, para el cual se siguió el esquema de conexiones de los gabinetes que se encuentran en el laboratorio de automatización de la Universidad de Antioquia, ya que es muy práctico y de fácil uso y programación. (Iturrate, 2008)



Ilustración 76 Gabinete construido para el PLC

A continuación, se muestra el plano de conexiones del gabinete del PLC:

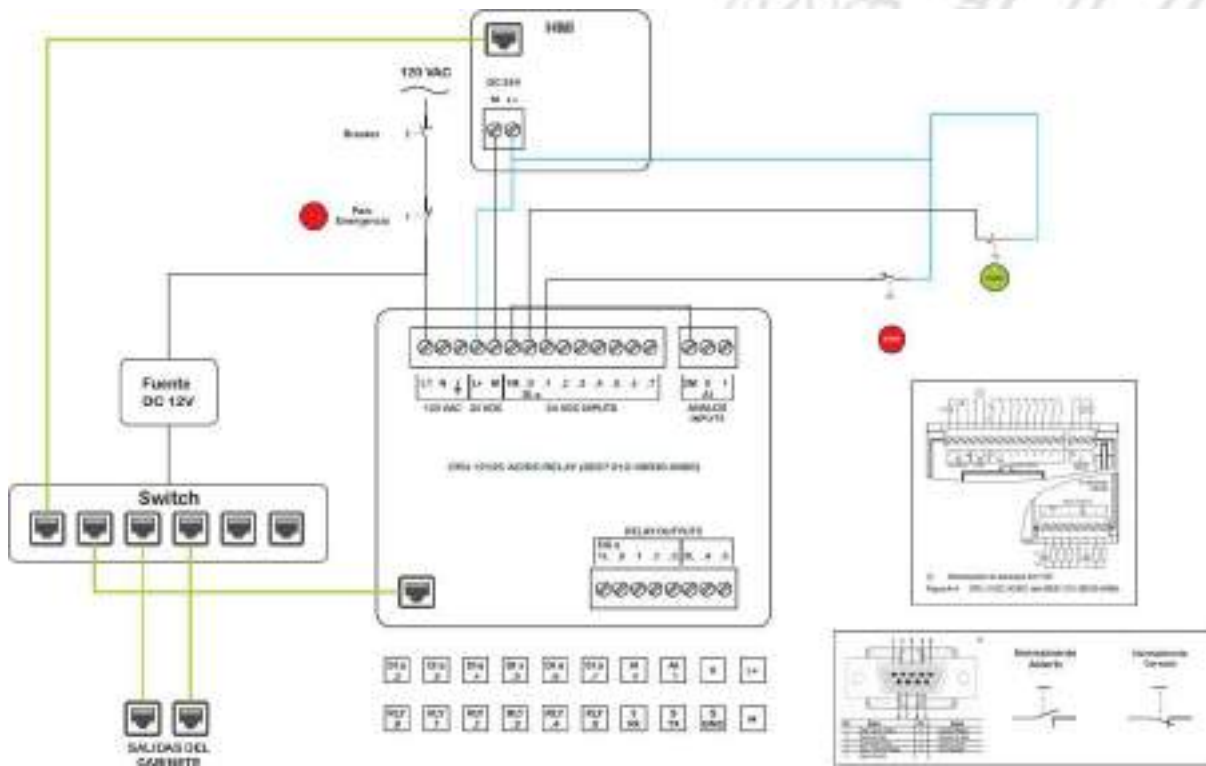


Ilustración 77 Esquema del gabinete del PLC

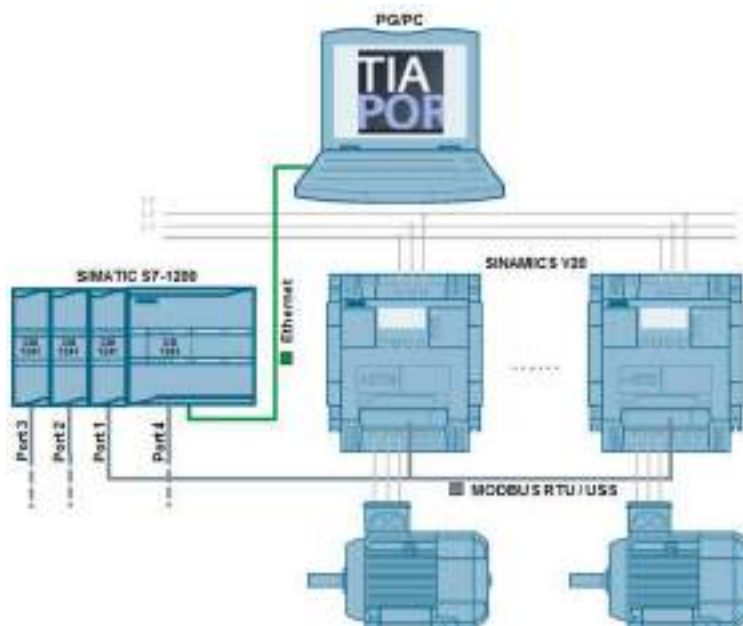


Ilustración 78 Conexiones realizables para la comunicación entre el PLC, PC y los variadores<sup>11</sup>

#### 4.8.5.2 RTU's del SCADA

Conformado por los variadores y las electroválvulas del sistema

##### 4.8.5.2.1 Variadores de Velocidad

Para el control de movimiento en los motorreductores y motobombas se requiere de variadores de velocidad acordes a la potencia de cada uno, en este caso tenemos cuatro, dos de ½ hp de fuerza, uno de 1 hp y otro de 2 hp, acorde a estas potencias se procedió a la verificación de los parámetros de los variadores que serían los indicados para cada uno:

Se tomó la decisión de usar los variadores Siemens Sinamics V20 dado que su costo era menor a otros modelos ya que para el control de los elementos del invernadero no se necesitaba realizar un control muy exhaustivo, toda la configuración de los variadores se realizó acorde al manual que suministra la empresa SIEMENS, este se encuentra en el **ANEXO 8 MANUAL SINAMICS V20** (SIEMENS, 2013) y está disponible para su descarga en la página web del fabricante.

<sup>11</sup> <https://support.industry.siemens.com/cs/document/63696870?lc=en-WW>



Ilustración 79 Variador Sinamics V20

Otra de las características es que son variadores de entrada monofásica a 220V y salida trifásica, esto debido a la imposibilidad de instalar una acometida trifásica en el lugar, dados los elevados costos que conlleva.

Cada uno de los variadores se entregaba en su respectivo gabinete desde la empresa frecuencia y velocidad, estos gabinetes cumplen con la normativa RETIE, Resolución 181294 de agosto 6 del 2008. Los planos eléctricos de cada gabinete se encuentran en el **ANEXO 9 PLANO GABINETES**. Dentro del plano de conexiones sugerido por Siemens se encuentran los siguientes elementos

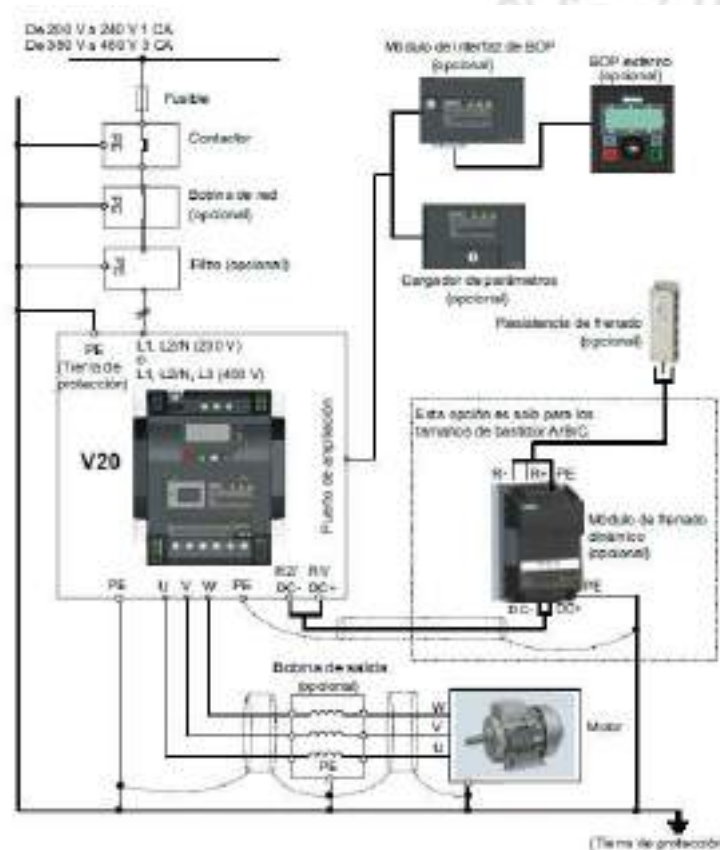


Ilustración 80 Conexión Típica Variador (SIMENS, 2013)





*Ilustración 81 Foto del Gabinete de 1/2hp*



#### 4.8.5.2.1.1 Parámetros de configuración de los variadores

El variador Sinamics V20 está disponible en una gran variedad de potencias, para nuestro caso la variante de 230 V monofásica con salida trifásica viene disponible hasta los 3 kW, en el proyecto se usaron las siguientes referencias:

Tabla 8 <b>Variadores Motorreductores</b>	
<b>MARCA</b>	SIEMENS
<b>TIPO</b>	SINAMICS V20
<b>TIPO DE CONTROL</b>	Control Vectorial
<b>MODELO</b>	6SL3210-5BB13-7UV0
<b>POTENCIA MAXIMA</b>	0.5 Hp
<b>CORRIENTE MAXIMA</b>	2.3 Amp
<b>ALIMENTACIÓN</b>	2F, 200 V – 240 V +10 % / - 15 %, 60Hz
<b>SALIDA</b>	3F, V/f programable

*Tabla 8 Variadores Motorreductores*

Tabla 9 <b>Variador Motobomba de Distribución</b>	
<b>MARCA</b>	SIEMENS
<b>TIPO</b>	SINAMICS V20
<b>TIPO DE CONTROL</b>	Control Vectorial
<b>MODELO</b>	6SL3210-5BB17-5UV0
<b>POTENCIA MAXIMA</b>	1.0 Hp
<b>CORRIENTE MAXIMA</b>	3.9 Amp
<b>ALIMENTACIÓN</b>	2F, 200 V – 240 V +10, 60 Hz

*Tabla 9 Variador Motobomba de Distribución*

Tabla 10 <b>Variador Motobomba de Suministro</b>	
<b>MARCA</b>	SIEMENS
<b>TIPO</b>	SINAMICS V20
<b>TIPO DE CONTROL</b>	Control Vectorial
<b>MODELO</b>	6SL3210-5BB21-5UV0
<b>POTENCIA MAXIMA</b>	2.0 Hp
<b>CORRIENTE MAXIMA</b>	7.8 Amp
<b>ALIMENTACIÓN</b>	2F, 200 V – 240 V +10, 60 Hz

*Tabla 10 Variador Motobomba de Suministro*

La conexión del motor, a la salida del variador, se hace en modo Delta, dado que el voltaje de funcionamiento del motor es de 230 V, y que por ser los variadores alimentados a 230 V, no pueden suministrar un voltaje salida mayor a la carga en la salida.

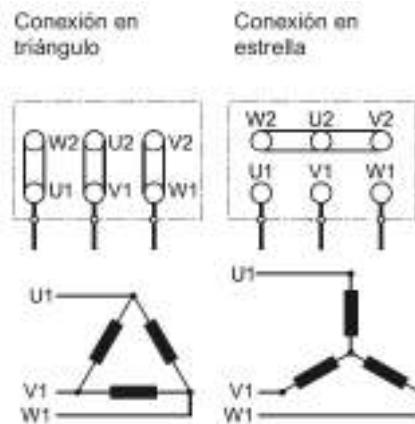


Ilustración 82 Para todos los motores se usó la Conexión tipo Delta o Triángulo

La configuración de los variadores se realizó a través del panel de operador BOP, integrado a los variadores:



Ilustración 83 Partes del Panel BOP del Sinamics V20 (SIEMENS, 2013), Pag 37

La configuración a través del BOP se realiza teniendo en cuenta la secuencia y el nivel de instrucciones, a ellos se accede dependiendo del orden y el tiempo que se deje presionada la tecla "M" que es la que nos ayuda a cambiar entre menús y modos de trabajo, en general el variador posee dos modos de trabajo el modo de CONFIGURACIÓN y el modo RUN; mientras se encuentra en el modo de CONFIGURACIÓN la salida de potencia hacia el motor está deshabilitada y solo se habilita una vez se guardan los cambios de la configuración y se pasa al modo RUN. La descripción del funcionamiento de cada uno de los botones se encuentra en la página 38 del Manual en español del SINAMICS V20 (SIEMENS, 2013). El diagrama de flujo para la configuración del variador es el siguiente:

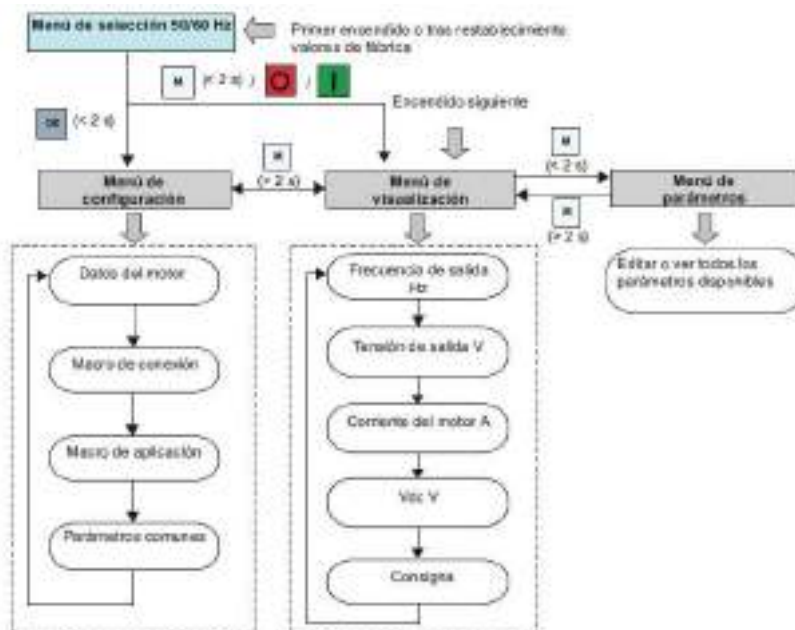


Ilustración 84 (SIEMENS, 2013) Pág. 39

Para los variadores se priorizaron dos tipos de configuraciones, la **Configuración de Mantenimiento** y la **Configuración Automática**, a continuación se describen:

#### 4.8.5.2.1.2 Configuración de Mantenimiento

En esta configuración el control de velocidad, arranque y parada se realiza desde los botones instalados en los gabinetes, el objetivo de esta configuración es que exista la posibilidad de poner en funcionamiento los motores y motobombas para la realización de pruebas, montajes y medidas que luego serán automatizados.

Para esta configuración se usaron dos macros, uno de conexión y otro de aplicación, los macros son configuraciones preestablecidas que permiten una rápida y segura configuración para aplicaciones específicas, en este caso se usó la macro de conexión **“Cn007 – Pulsadores externos con control Analógico”**, y la macro de aplicación **“AP010 Aplicaciones simples de Motobombas”** para las dos motobombas y la **“AP030 Aplicaciones de cintas transportadoras”** para los dos motorreductores. A continuación, se presentan las tablas de configuración de parámetros y los diagramas de conexión respectivos:



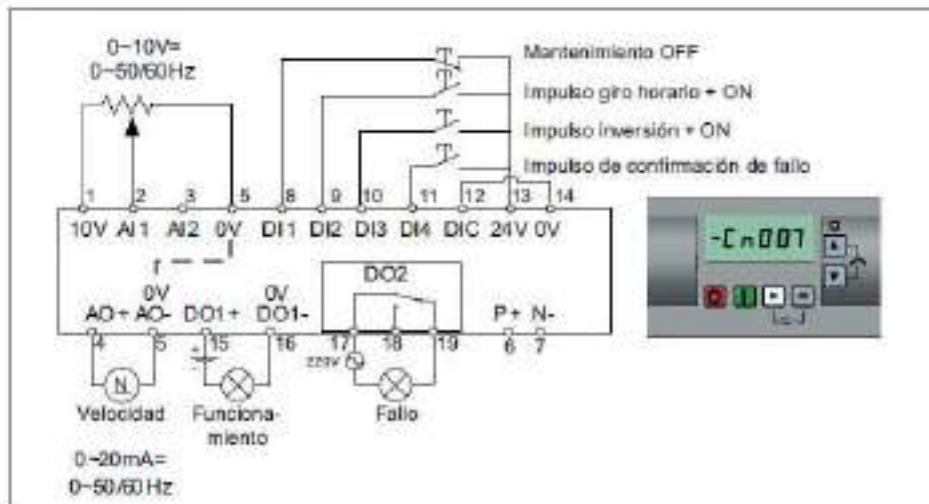


Ilustración 85 Configuración Mando con Pulsos (SIEMENS, 2013) Pág. 59

Se debe tener en cuenta que las señales de mando son señales de impulsos, es por esto que en los tableros de los variadores se incluyeron pulsadores que permiten ingresarlos. Su funcionamiento se describe en la siguiente figura:

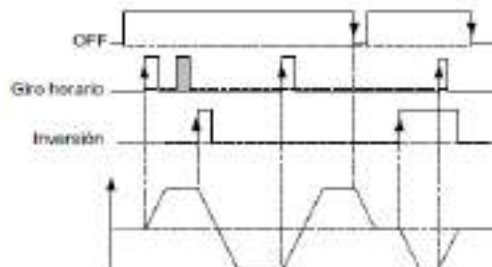


Ilustración 86 Pulsos para el mando (SIEMENS, 2013) Pág. 59

La macro de aplicación de bombas sencillas tiene la siguiente tabla de parámetros, uno de los aspectos más importantes es la inhibición de la rotación inversa, la cual es importante ya que las motobombas no deben funcionar en reversa.

Parámetro	Descripción	Ajustes predeterminados de fábrica	Ajustes predeterminados de AP010	Observaciones
P1080[0]	Frecuencia mínima	0	15	Convertidor funcionando a velocidad inferior inhibido
P1300[0]	Modo de regulación	0	7	U/f cuadrática
P1110[0]	Bt: Inhibición consigna de frecuencia negativa	0	1	Rotación de bomba inversa inhibida
P1210[0]	Reinicio automático	1	2	Confirmación de fallo en el encendido
P1120[0]	Tiempo de aceleración	10	10	Tiempo de aceleración desde cero hasta la frecuencia máxima
P1121[0]	Tiempo de deceleración	10	10	Tiempo de deceleración desde la frecuencia máxima hasta cero

Tabla 11 Parámetros configuración Sinamics V20

#### Parámetros a configurar (SIEMENS, 2013) Pág. 64

La macro de aplicación para cintas transportadoras tiene la siguiente tabla de parámetro, esta macro se utilizó para los variadores que se encargan de subir y bajar las cortinas del invernadero:

Parámetro	Descripción	Ajustes predeterminados de fábrica	Ajustes predeterminados de AP030	Observaciones
P1300[0]	Modo de regulación	0	1	U/f con FCC
P1312[0]	Elevación en arranque	0	30	La elevación solo es efectiva al acelerar por primera vez (parada)
P1120[0]	Tiempo de aceleración	10	5	Tiempo de aceleración desde cero hasta la frecuencia máxima
P1121[0]	Tiempo de deceleración	10	5	Tiempo de deceleración desde la frecuencia máxima hasta cero

Tabla 12 Parámetros configuración Sinamics V20

#### Parámetros a configurar (SIEMENS, 2013) Pág. 65 y 66

##### 4.8.5.2.1.3 Configuración comunicación por RS 485 USS

En esta configuración los variadores reciben las instrucciones a través de la red de comunicaciones bajo el estándar **RS 485** y el protocolo **USS**, con el objetivo de ejercer acciones de control desde el sistema de mando central o **MTU**. Siguiendo los parámetros de configuración, así como el protocolo de comunicación establecido por SIEMENS, se configura desde el PLC o desde el microcontrolador las tramas de configuración necesarias, para esto es necesario configurar en un principio el Variador con los parámetros bajo los cuales se realizará la comunicación. Estos parámetros se configuran siguiendo la configuración descrita en los siguientes cuadros:

Parámetro	Función	Configuración
P0010	Parámetro de puesta en marcha	= 30: Restablece los ajustes de fábrica.
P0070	Restablecimiento de los ajustes de fábrica	Ajustes posibles: = 1: Restablece todos los parámetros (no los ajustes predeterminados del usuario) a sus valores predeterminados. = 21: Restablece todos los parámetros y todos los ajustes predeterminados del usuario a los ajustes de fábrica. <b>Nota:</b> Los parámetros P2010, P2011 y P2023 conservan sus valores tras un restablecimiento de los ajustes de fábrica.
P0003	Nivel de acceso de usuario	= 3
P0700	Selección de la fuente de señales de mando	= 5: USS/MODBUS por RS485 Ajustes predeterminados de fábrica: 1 (panel de mando).
P1000	Selección de consigna de frecuencia	= 5: USS por RS485 Ajustes predeterminados de fábrica: 1 (consigna MOP).
P2023	Selección de protocolo RS485	= 1: USS (ajuste predeterminado de fábrica). <b>Nota:</b> Después de cambiar P2023, desconecte y reconecte el convertidor. Durante este ciclo de desconexión y reconexión, espere a que se haya apagado el LED o la pantalla se haya quedado en blanco (puede tardar unos segundos) antes de volver a conectar la alimentación. Si P2023 se ha cambiado a través de un PLC, asegúrese de que se haya guardado el cambio en la EEPROM mediante P0971.
P2010[0]	Velocidad transmisión USS/MODBUS	Ajustes posibles: = 6: 9600 bps. = 7: 19200 bps. = 8: 38400 bps (valor predeterminado de fábrica). ... = 12: 115200 bps.

Ilustración 87 Parámetros de Configuración del SINAMICS V20 para comunicación vía RS 485 USS P.128 (SIEMENS, 2013)

Parámetro	Función	Configuración
P2011[0]	Dirección USS	Establece la dirección exclusiva del convertidor. Rango: De 0 a 31 (ajuste predeterminado de fábrica: 0)
P2012[0]	Longitud de PZD en USS (datos de proceso)	Define el número de palabras de 16 bits en la parte PZD del telegrama USS. Rango: De 0 a 8 (ajuste predeterminado de fábrica: 2)
P2013[0]	Longitud de PKW en USS (valor de ID de parámetro)	Define el número de palabras de 16 bits en la parte PKW del telegrama USS. Ajustes posibles: = 0, 3, 4: 0, 3 o 4 palabras. = 127: Longitud variable (ajuste predeterminado de fábrica).
P2014[0]	Tiempo de interrupción de telegrama USS/MODBUS (ms)	Si el tiempo está establecido en 0, no se generan fallos (es decir, se deshabilita la vigilancia).
r2024[0]	Estadísticas de errores de USS/MODBUS	Se notifica el estado de la información del telegrama por RS485 con independencia del protocolo establecido en P2023.
r2031[0]		
r2016[0...7]	C0: PZD de USS/MODBUS por RS485	Se muestran los datos de proceso recibidos mediante USS/MODBUS por RS485.
P2019[0...7]	C1: PZD a USS/MODBUS por RS485	Se muestran los datos de proceso transmitidos mediante USS/MODBUS por RS485.

Ilustración 88 Parámetros de Configuración del SINAMICS V20 para comunicación vía RS 485 USS P.129 (SIEMENS, 2013)

Estos parámetros deberán coincidir con los parámetros que se configuren desde el PLC S7 1200, el cual debe contar necesariamente con el módulo de comunicaciones CM 1241.

Es importante mencionar algunos aspectos que se tuvieron en cuenta para que la implementación de la comunicación entre PLC y Variadores fuera exitosa:

1. El uso de los bloques de comunicación USS en el PLC debió configurarse acorde a las configuraciones de los variadores, esto se describe puntualmente más adelante.
2. Es necesario realizar un buen cableado de los pines entre variador y PLC, este es diferente según el estándar que se esté usando ya que por ejemplo es diferente la conexión para un Rs232 que para un Rs485
3. Es muy importante que la longitud de las palabras de mando PKW y PZD sea la misma para ambos dispositivos.

Para este caso se priorizó una comunicación con los siguientes parámetros generales:

Velocidad:	9600 bps
Longitud PZD:	8
Longitud PKW:	4
Tiempo de interrupción en telegrama:	0 (No se realiza)



#### **4.8.5.2 Sensores**

La elección de los sensores se basó en las variables que influyen normalmente en el desarrollo de los cultivos y de las plantas para lo cual se realizaron diferentes averiguaciones sobre los sensores que se ofrecían en el medio, sus características y precios.

En el mercado fue difícil encontrar sensores que se adecuaran a las condiciones que se presentan en un área rural, ya que la mayoría están diseñados para ser implementados en tipos de industrias muy diferentes.

Después de analizar los costos de los sensores se vio que la mejor alternativa era la compra de una estación meteorológica de la cual se pudiera después obtener los datos de los sensores. La estación que se seleccionó fue la Davis Vantage Pro 2, una estación que posee sensores de temperatura, humedad, radiación solar, presión barométrica, anemómetro y lluvia, además de tener implementados cálculos basados en ecuaciones y tablas de correcciones estandarizadas para variables como la evotranspiración, el índice THSW, entre otros.

#### **4.8.5.2.3 Descripción de la estación meteorológica**

Uno de los principales motivos para elegir esta estación meteorológica fue que tenía provisto un sensor de radiación solar, el cual es fundamental para analizar el crecimiento y desarrollo de las diferentes etapas de las plantas tales como la floración y la aparición de los frutos, eventos que dependen de los grados día de desarrollo de la planta, los cuales se calculan a partir de la radiación total recibida y acumulada por la planta.



*Ilustración 89 Kit estación Meteorológica Vantage Pro2<sup>12</sup>*

<sup>12</sup> [http://www.davisnet.com/weather/products/weather\\_product.asp?pnum=06152](http://www.davisnet.com/weather/products/weather_product.asp?pnum=06152)

A continuación se describen las principales características de los sensores de la estación meteorológica, los datos completos y las gráficas respectivas de cada uno de los sensores se encuentran en el **ANEXO 10 Manual de Datos Vantage Pro 2**, además de los datos concretos que viene de los sensores, también se desarrolla el cálculo de otras variables de gran importancia para la medida del clima y para la agricultura, éstas variables son calculadas con diferentes tipos de ecuaciones y tablas de corrección estandarizadas por organismos dedicados a la medida del clima en el mundo, dichas variables se mencionan igualmente a continuación:

Tabla 11 Variables Estación Meteorológica				
Sensor	Temperatura Externa	Temperatura Interna	Humedad Relativa Externa	Humedad Relativa Interna
<b>Resolución</b>	0,1°C ó 1°C	0,1°C ó 1°C	1%	1%
<b>Rango</b>	-40°C a 65°C	0°C a 60°C	1%-100% HR	1%-100% HR
<b>Precisión</b>	± 0,5°C (Varia)	± 0,5 °C (Varia)	±3% (0-90% HR) ±4% (90-100% HR)	±3% (0-90% HR) ±4% (90-100% HR)
<b>Intervalo de Actualización</b>	10 – 12 Seg	1 min	½ - 1 min	1 min

Tabla 13 Variables Estación Meteorológica

Tabla 11 Variables Estación Meteorológica					
Sensor	Velocidad Viento	Dirección Viento	Presión Atmosférica	Radiación	Lluvia
<b>Resolución</b>	Seleccionable (1mph, 1kmh, 0.4 m/s)	1°	0,1mm Hg	1 W/m <sup>2</sup>	0,2 mm
<b>Rango</b>	1 – 200 Mph 0,5 – 89 m/s 1 – 322 km/h	0° - 360°	410 – 820 mm Hg	0 – 1800 W/m <sup>2</sup>	0 – 999.8 mm (Diario)





Ilustración 91 Visualización de las variables en la consola



### Otros datos y servicio importantes que proporciona la estación meteorológica

La estación meteorológica además de obtener los datos de los sensores posee algunas aplicaciones de predicción meteorológica y servicio web para la divulgación y conexión de los datos dentro de un sistema global de estaciones meteorológicas para el estudio del clima.

El software permite la realización de gráficas estadísticas de cada una de las variables, así como el cálculo de por lo menos otras 30 variables, que se calcula desde los datos básicos de los sensores.

### Dificultades que presenta el acceso a los datos de la estación meteorológica

A pesar de ser una estación meteorológica muy completa, este modelo de estación no permite el acceso fácil mediante un protocolo a los datos de los sensores para ser utilizados por los sistemas microcontrolados que se integran a la propuesta. Para esto la empresa ocean controls ofrece una interfaz para obtener los datos esta consta de un Gateway, el cual recibe los datos de la estación meteorológica y los entrega en el protocolo Modbus RTU, se instala acorde a la siguiente gráfica y es de uso muy sencillo:



Ilustración 92 Esquemas de configuración<sup>13</sup>

Otra de las opciones es la de realizar un proceso de ingeniería inversa para obtener las tramas que nos envía la estación, para esto se consultó un manual en internet en el cual se realiza dicho proceso, sin embargo, analizando los costos de los materiales necesarios, el trabajo para realizar dicho procedimiento y además teniendo en cuenta que es un procedimiento que posiblemente no funcione y que puede dañar el instrumento, se decide que lo mejor es usar el Gateway de Ocean Controls.

<sup>13</sup> <https://oceancontrols.com.au/GWY-141.html>

Los principales materiales necesarios para realizar el hacking y sus respectivos costos se resumen a continuación, los precios se toman de la página de la empresa Electrónicas I+D de Medellín:

Tabla 12 Costos Hacking	
Concepto	Costo
<b>ATtiny85 modchip<sup>14</sup></b>	\$ 21.000
<b>FT232RL<sup>15</sup></b>	\$ 44.600
<b>PowerBASIC Console Compiler<sup>16</sup></b>	\$ 300.000
<b>SD card<sup>17</sup></b>	\$ 20.000
<b>RaspberryPi<sup>18</sup></b>	\$ 127.000
<b>WiFi USB dongle<sup>19</sup></b>	\$ 21.500
<b>Total</b>	<b>\$..534.000</b>

*Tabla 15 Costos Hacking*

El costo del Gateway es de \$ 402.000 en la página de Ocean Controls, lo cual es mucho más bajo, no requiere trabajos adicionales y es mucho más estable.



*Ilustración 93 Consola Instalada en zona externa, para medición de variables ambientales*

<sup>14</sup>[http://www.didacticaelectronicas.com/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=2170&category\\_id=169&option=com\\_virtuemart&Itemid=82](http://www.didacticaelectronicas.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=2170&category_id=169&option=com_virtuemart&Itemid=82)

<sup>15</sup>[http://www.didacticaelectronicas.com/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=2812&category\\_id=150&keyword=ft232rl&option=com\\_virtuemart&Itemid=71](http://www.didacticaelectronicas.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=2812&category_id=150&keyword=ft232rl&option=com_virtuemart&Itemid=71)

<sup>16</sup> <http://www.powerbasic.com/>

<sup>17</sup>[http://www.didacticaelectronicas.com/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=1842&category\\_id=197&option=com\\_virtuemart&Itemid=191](http://www.didacticaelectronicas.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=1842&category_id=197&option=com_virtuemart&Itemid=191)

<sup>18</sup>[http://www.didacticaelectronicas.com/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=1334&category\\_id=197&option=com\\_virtuemart&Itemid=191](http://www.didacticaelectronicas.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=1334&category_id=197&option=com_virtuemart&Itemid=191)

<sup>19</sup> [http://www.didacticaelectronicas.com/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=1832&category\\_id=150&keyword=wifi&option=com\\_virtuemart&Itemid=71](http://www.didacticaelectronicas.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=1832&category_id=150&keyword=wifi&option=com_virtuemart&Itemid=71)



*Ilustración 94 Consola y sensores para la medición de variables internas*



*Ilustración 95 Consola y sensores para la medición de variables internas*

#### 4.8.5.2.4 *Electroválvulas*

Con los diámetros de las tuberías definidas a 1" se inició la búsqueda de electroválvulas de tipo solenoide con el requisito de ser económicas para el proyecto. Después de realizar búsquedas por diferentes proveedores se decidió optar por las válvulas ofrecidas por la empresa IRRIDELCO, ya que estaban especialmente diseñadas para ser económicas y aplicarse en sistemas agrícolas.



*Ilustración 96 Electroválvula*



*Ilustración 97 Electroválvula*

Para analizar el comportamiento de las electroválvulas se realizó un montaje pequeño con ayuda del sistema Arduino, una placa de 4 relays aislada con optoacopladores y un transformador TR-3 de 110V a 24V. Se aprovechó el montaje y el sistema de S4A (Scratch for Arduino), para crear una interfaz didáctica para los estudiantes de escuela (3ro a 6to); ésta interfaz se encuentra en el **ANEXO 11 INTERFAZ DIDACTICA**, a continuación, se muestra una instantánea del programa y el montaje realizado:





*Ilustración 98 PC Comunicado con Interfaz de potencia y Estación Meteorológica*



*Ilustración 99 PC comunicado con interfaz de potencia y Estación Meteorológica*



*Ilustración 100 Montaje de interfaz de potencia para electroválvulas con Arduino*



Ilustración 101 Interfaz en Scratch 4 Arduino para estudiantes

#### 4.8.5.2.5 Microcontroladores como elementos terminales de apoyo al sistema

##### Arduino UNO

Se trata de un sistema de desarrollo que posee un microcontrolador Atmega 328, y todo lo necesario para conectar sensores y salidas, así como una interfaz de programación de fácil comprensión y con una gran cantidad de librerías disponibles que facilitan la implementación de tareas complejas, se realizó la programación de este microcontrolador con el objetivo de dejar ejemplos de desarrollo para los estudiantes del colegio, lo cual les permitirá en el futuro la realización de prácticas.



Ilustración 102 Arduino UNO

Las características del sistema de Arduino se pueden encontrar en la página web de dicho proyecto, allí también es fácil encontrar una gran variedad de placas de Arduino diseñadas para aplicaciones específicas.

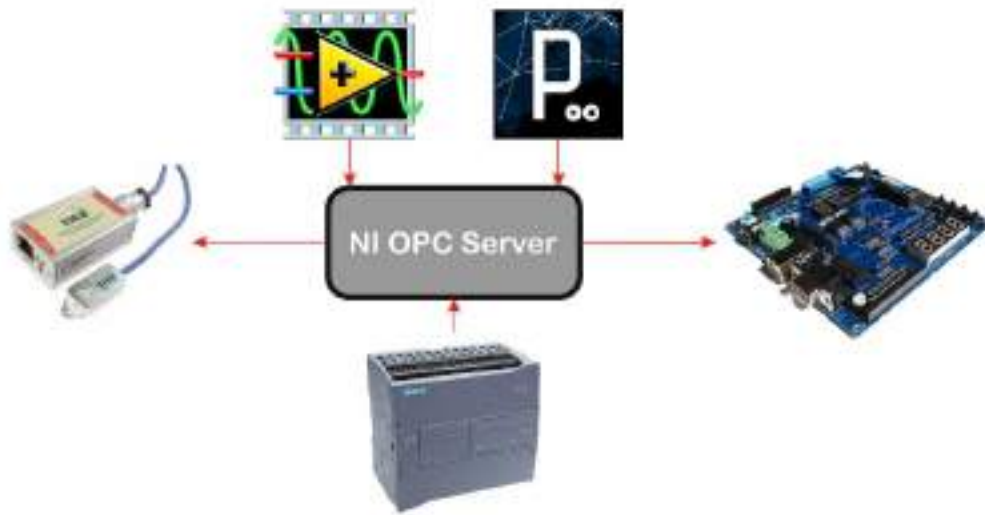
Se dejaron implementados los siguientes programas:

1. Envío de comandos de configuración al variador por medio de serial.
2. Lectura de datos de sensores: Temperatura, Humedad y Flujo.
3. Apertura y cierre de válvulas según tiempos programados.
4. Interfaz sencilla de comunicación con el Arduino.



### 4.8.5.3 Sistema de Comunicaciones del SCADA

Para la implementación del sistema SCADA, se utilizó la siguiente arquitectura de comunicación:



#### Interfaz en LabView

Contienen los elementos de visualización de las variables y botones para ingresar datos y estados, la comunicación desde esta interfaz se realiza enlazando las variables con el servidor OPC, y con la programación de la comunicación serial desde el microcomputador.

#### Servidor OPC: NI OPC Server

Realiza la integración de las variables del programa en Lab View y el programa que se encuentra en la memoria del PLC y otros dispositivos que se quieran incluir en la red de Ethernet: Microcontroladores, sensores especiales, etc, los cuales deben de estar igualmente en la lista de dispositivos compatibles con el servidor OPC.

#### Programa en el PLC con TIA Portal

El programa que en el PLC mantiene las configuraciones de control de los actuadores del invernadero, es decir, las motobombas, los motorreductores, de las cortinas y las electroválvulas. Igualmente es el encargado de realizar el control de estos actuadores a través de la comunicación bajo el estándar RS 485 y el protocolo USS de Siemens con los variadores.

El PLC sirve como un filtro para las acciones que se envíen desde el programa de LabView, y se encarga de enviar notificaciones de errores, igualmente se encarga de darle robustez al sistema de control en general.



El PLC establece comunicación con el servidor OPC por lo cual si se genera alguna alteración en las variables alojadas en el servidor de OPC que se encuentra fuera del rango de actuación, lo que realizará el PLC es una acción de corrección cambiando el valor de dicha variable u omitiéndola.

## **HMI**

**Se plantea en un futuro** realizar la interfaz directa con el PLC que permite realizar cambios a los controles del sistema estando en campo y que igualmente se actualizan al resto del sistema por medio del servidor OPC.

La comunicación entre el PLC y el HMI se realiza mediante Ethernet y no hay necesidad de programarla ya que el TIA Portal de Siemens realiza todo este proceso.

## **Variadores**

Los variadores son otro elemento que dota de robustez el sistema diseñado, estos reciben las instrucciones del PLC por medio de una comunicación bajo el estándar RS 485 y el protocolo USS de Siemens.

Cada uno de los PLC tiene unos límites y un modo de operación configurado, estos modos de operación solamente se pueden cambiar cuando se cambia el nivel de acceso de usuario.

## **Sensores Externos**

Los sensores externos son los elementos que se encargan de tomar las condiciones del medio y convertirlos en variables eléctricas que llegan al sistema como cantidades numéricas, éstos son la base de la toma de decisiones por parte del sistema de procesamiento, acciones como la activación de alarmas, el paro o arranque de algunos elementos, o el envío de información a alguno de los procesos del sistema.

Algunos sensores envían los datos vía ethernet directamente, estos sensores pueden ser conectados a través del servidor OPC como una o varias variables dentro del mismo.

## **Microcontrolador**

El microcontrolador a través de una comunicación por serial o por ethernet puede comunicarse con el resto de los elementos del sistema, en este caso el microcontrolador puede tener a su cargo una serie de elementos terminales como sensores o actuadores que no tengan muchos riesgos para implementarse o que no sean ambientes muy ruidosos.

## **Interfaz en Software libre**

Desde cualquier computador o microcomputador que tenga conexión a internet se puede soportar una interfaz auxiliar con el software libre Processing.

#### **Servidor de Datos**

Será el encargado de realizar el almacenamiento de los datos provenientes de los diferentes sensores que se encuentran en el invernadero.

#### ***4.8.5.3.1 Estructura de programación de la comunicación en TIA Portal***

Para la programación del PLC S7 1200 se utilizó el lenguaje Ladder, y el software TIA Portal de Siemens, el PLC establece comunicación con varios dispositivos, para cada uno de los cuales se implementan diferentes librerías. Esta programación se realizó de la siguiente manera:

#### **Comunicación entre PLC S7 1200 y HMI:**

La comunicación entre PLC y HMI, se realiza a partir de la lectura y escritura en diferentes variables que se encuentran definidas en el PLC y en el HMI.

#### **Comunicación entre PLC S7 1200 y los variadores Sinamics V20**

La comunicación que se implementó entre ambos dispositivos fue RS 485 bajo el protocolo USS de Siemens, esto debido a que ambos dispositivos son de la misma marca y soportan dicho protocolo sin la necesidad de realizar la organización de las tramas.

##### **4.8.5.3.1.1 Capa de Aplicación**

En esta capa es necesario tener como mínimo dos bloques uno que es el encargado de armar el mensaje y que funciona de forma asíncrona en el programa y otro que funciona de forma cíclica y cuyo periodo de repetición debe estar acorde a la velocidad de transmisión de datos para que no se genere un error en la comunicación. La estructura de la comunicación es entonces como se observa en el siguiente diagrama:

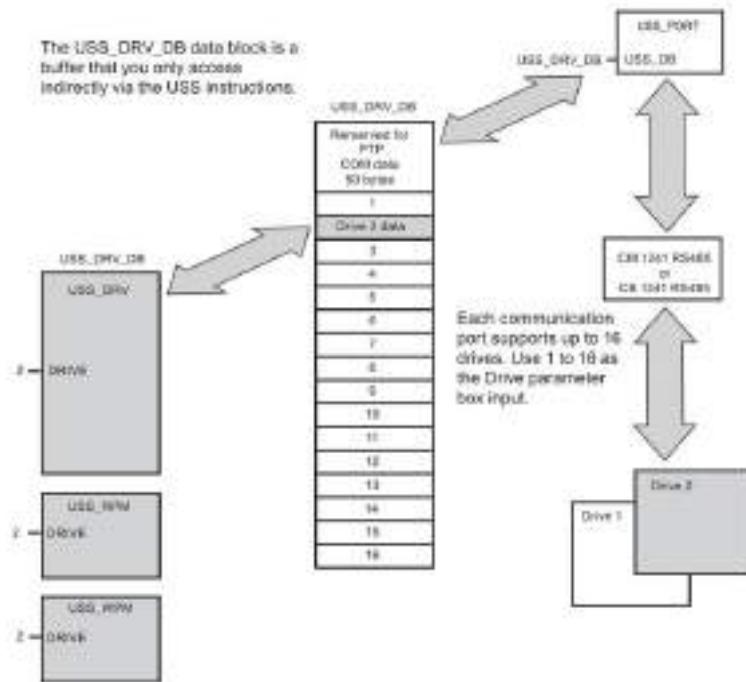


Ilustración 103 Estructura de la comunicación USS con el PLC s7 1200 (SIEMENS, 2014)

## Bloque USS\_DRV

Este bloque es el encargado de armar el mensaje que se enviará al USS\_PORT para ser enviado, este tiene una serie de parámetros de entrada y salida que debe ser configurados para la implementación efectiva de la comunicación, cuando se inserta un bloque USS\_DRV este crea un bloque de datos DB el cual será común para todos los USS\_DRV que se agreguen, es por esto que solamente se tiene un bloque de datos dentro del programa diseñado.

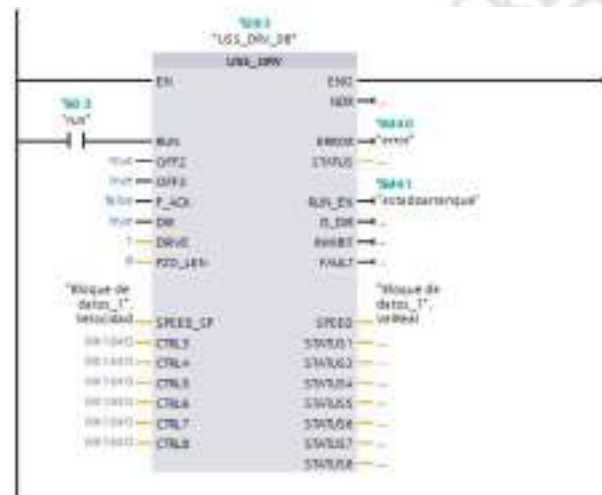


Ilustración 104 Bloque USS\_DRV (Elaboración Propia)

Cada variador con el cual se establece la comunicación tiene que ser configurado con los mismos parámetros que el PLC, en este bloque se configuran los siguientes parámetros de comunicación:

- PZD\_LEN (Longitud de la parte PZD del telegrama): Este pin del bloque define el número de palabras de 16 bits que contiene la parte PZD del telegrama.
- DRIVE (Dirección del dispositivo con el cual se establece comunicación): Este pin define la dirección del dispositivo para el cual se arma el telegrama, debe ser diferente para cada dispositivo conectado a la red.

### Bloque USS\_PORT

Este bloque configura la comunicación que se realiza a través de uno de los puertos del PLC, cada puerto puede tener una configuración diferente y debe corresponderse con un módulo de comunicaciones en este caso un CM1241 RS422\_485, aquí se configuran la velocidad de transmisión de los datos, el bloque DB al cual se enlaza, el cual es el mismo del bloque anterior.



Ilustración 105 Bloque USS\_PORT (Elaboración Propia)

El intervalo al cual se ejecuta el bloque depende del valor que se le asigne al bloque de interrupción cíclica, Cyclic\_Interrupt, tiempo que se define según la velocidad de comunicación como se observa en la siguiente tabla:



Table 12- 34 Calculating the time requirements

Baud rate	Calculated minimum USS_PORT call interval ( milliseconds )	Drive message interval timeout per drive ( milliseconds )
1200	790	2370
2400	405	1215
4800	212.5	638
9600	116.3	349
19200	68.2	205
38400	44.1	133
57600	36.1	109
115200	28.1	85

Ilustración 106 Tabla de tiempos de interrupción (SIEMENS, 2014)

#### 4.8.5.3.1.2 Capa Física

La capa física de implementación del RS485 entre el PLC s7 1200 y el Sinamics V20 se implementó con un módulo de comunicaciones CM1241 RS422\_485:



Ilustración 107 Módulo de Comunicaciones CM 1241<sup>20</sup>

Este módulo posee un puerto DB9, para el cual es necesario seguir las instrucciones de conexión según el modo que se implemente, en nuestro caso

<sup>20</sup> <http://www.automation24.com/control-systems/siemens-cm-1241-rs422/485-6es7241-1ch32-0xb0-i101-1699-0.htm>

se implementó el modo Half-Duplex, por lo cual solo eran necesarios 3 cables. La conexión se realiza como se observa en las siguientes figuras:

Figure 2-2 – Wiring detail for bus connection

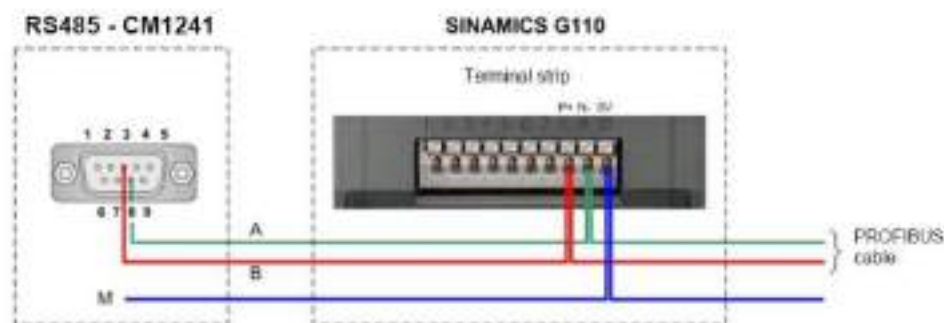


Ilustración 108 Detalle de la conexión entre el CM1241 y el Variador<sup>21</sup>

Table A- 256 RS485 or RS422 connector (female)

Pin	Description	Connector (female)	Pin	Description
1	Logic or communication ground		6 PWR	+5 V with 100 ohm series resistor: Output
2 TXD+ <sup>1</sup>	Connected for RS422 Not used for RS485: Output		7	Not connected
3 TXD-	Signal B (Rx/D/TxD+): Input/Output		8 TXD-	Signal A (Rx/D/TxD-): Input/Output
4 RTS <sup>2</sup>	Request to send (TTL level) Output		9 TXD+	Connected for RS422 Not used for RS485: Output
5 GND	Logic or communication ground		SHELL	Chassis ground

<sup>1</sup> Pins 2 and 9 are only used as transmit signals for RS422.

<sup>2</sup> The RTS is a TTL level signal and can be used to control another half duplex device based on this signal. It is active when you transmit and is inactive all other times.

Ilustración 109 Configuración de los pines DB para RS485 (SIEMENS, 2014) p 977

Igualmente es muy importante realizar bien la conexión del bus y asegurarse de que en la terminación del bus USS se coloquen las respectivas resistencias entre cada uno de los cables, esto se realiza como se observa en la figura:

<sup>21</sup> <https://support.industry.siemens.com/tf/ww/en/posts/modbus-pinout-for-cm1241-comunication-card/39019/?page=0&pageSize=10>

Figure 2-1: Wiring example USS<sup>®</sup> Bus

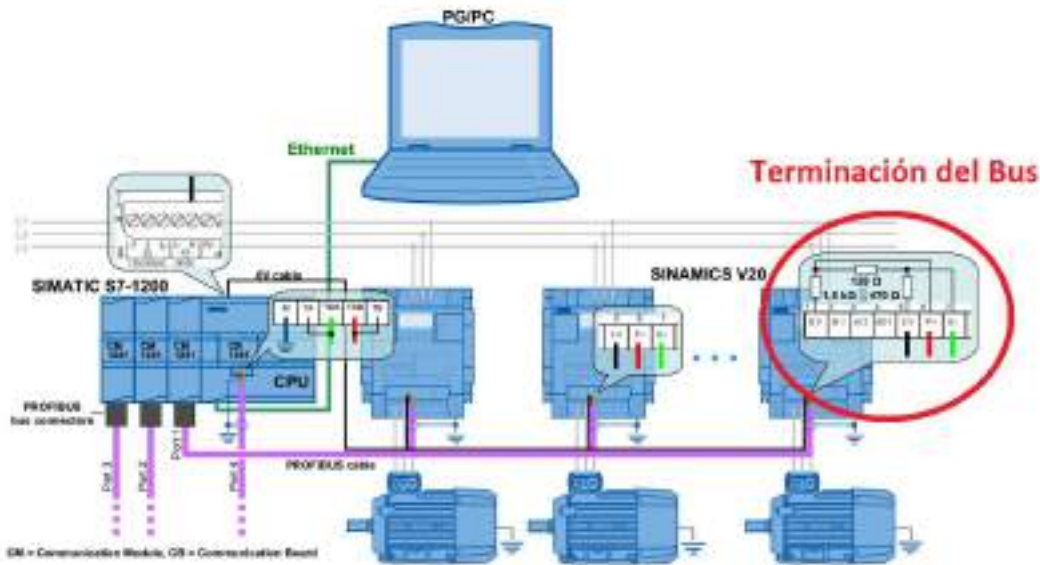


Ilustración 110 Conexión del bus para USS (SIEMENS, 2014)

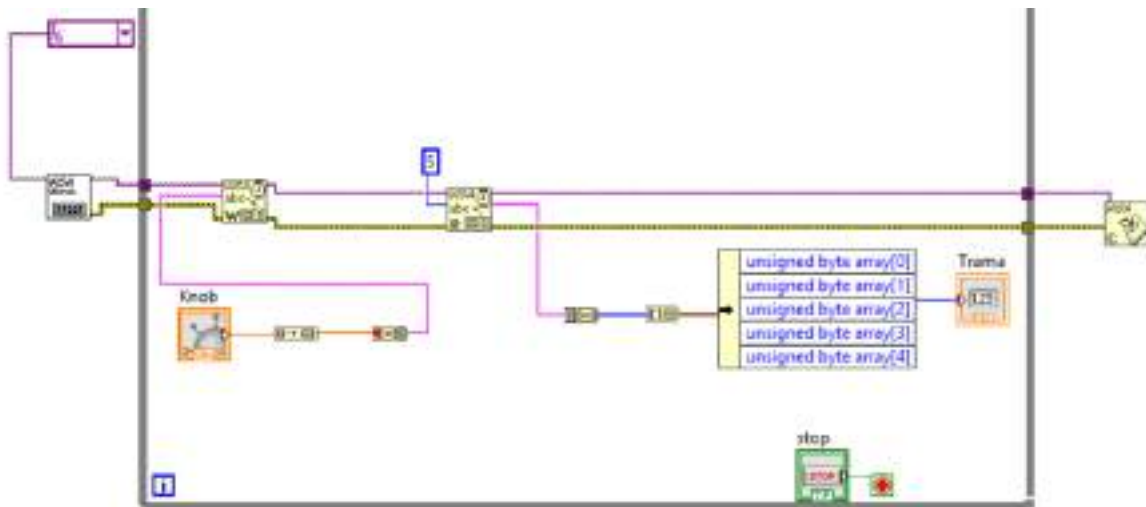
#### 4.8.5.3.1 Programación de la comunicación en Lab View

##### Comunicación Serial (Capa Aplicación, y física)

La comunicación serial se implementó en este módulo con el objetivo de recibir algunos sensores que se conectan con el microcontrolador, ya que por una u otra razón no eran sensores de carácter industrial y requerían realizar el acondicionamiento de las señales así como el envío de información al servidor OPC. Para la implementación de esta comunicación serial por RS232 fue necesario realizar en la capa de aplicación y física las siguientes configuraciones:

##### Capa de Aplicación

En el Labview se cuenta con algunos bloques VISA que realizan la configuración de los puertos y la elaboración de las tramas para ser enviadas vía serial desde el computador, para el caso se usó la siguiente configuración en el Labview:

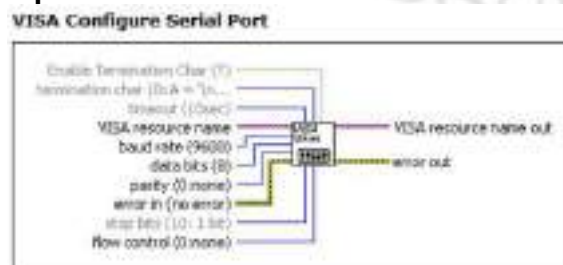


Como se observa en el diagrama de programación del LabView se cuenta con una estructura While Loop dentro de la cual se realizan los procesos de Lectura y escritura a través de los bloques VISA WRITE y VISA READ, esto se debe a que continuamente se establece la comunicación con los demás elementos del sistema.

Los bloques de VISA Configure Serial Port y el VISA Close se encuentran por fuera del bloque loop ya que solo se realizan una vez durante la ejecución del programa.

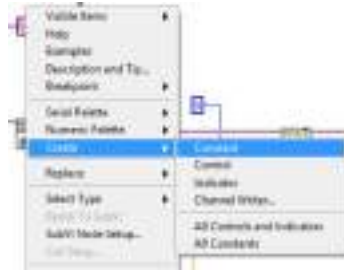
La configuración de cada uno de los bloques se realiza según se explica a continuación:

### Bloque para configurar el puerto serial

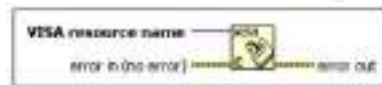


En este caso se usa la configuración por defecto y se ingresa el número del puerto por el cual se trabajará, esto se realiza con el click derecho del mouse sobre el pin y de allí se va a crear constante.





## Bloque para cerrar el puerto serial



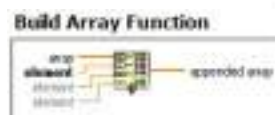
Se realizan las conexiones necesarias para cerrar el puerto y no se gestionan los errores dejando el pin **“error out”** del bloque sin conexión.

Todos los bloques correspondientes a indicadores y visualizadores se ingresan dentro del loop de tal modo que se actualicen constantemente. Igualmente, dentro de este van los correspondientes a la escritura y lectura de tramas a través del puerto serial:

## Bloque de escritura por puerto serial



Para este bloque primero se enlazan los parámetros desde el bloque de configuración del puerto y se define la entrada para el Buffer de escritura, este buffer se crea a partir de un indicador tipo perilla (**Knob**) que arroja un dato numérico, este pasa a una función para la construcción de arreglos **“Build Array Function”** y luego pasa un conversor de arreglos a cadena de caracteres **“Byte Array To String Function”**, esto se hace con el fin de organizar la trama de datos que ingresará al bloque de escritura en el puerto serial.

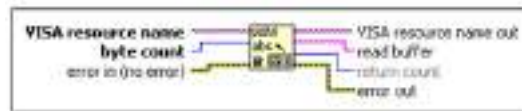




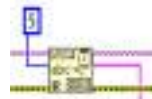
Estos bloques al estar dentro de un bloque de **“While loop”**, se mantienen constantemente escribiendo el valor de la perilla en el puerto.

## Bloque de lectura por puerto serial

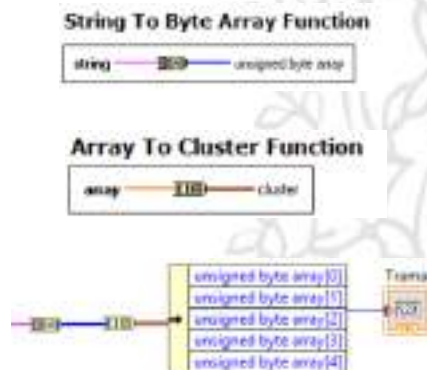
Para leer del puerto lo primero que necesitamos es el bloque de lectura:



El cual en sus parámetros generales va conectado a la configuración del puerto, lo segundo es definir el número de bytes que se recibirán en cada trama a través del pin **“Byte Count”**, en este caso lo definimos en 5. Éste número influirá en el arreglo de salida de datos del buffer, el cual se llenará de acuerdo a lo definido en este pin:



Por último, se configura la lectura de la trama de datos de que se leyó, para este procedimiento lo que se realiza es la reorganización, a la inversa del bloque anterior de escritura, de dichos datos, convirtiéndolos primero de cadena a arreglo de bytes a través de la función **“String to Byte Array Function”**, para posteriormente pasarla a una función que convertirá este arreglo en un cluster que permite diferenciar cada byte de llega, en este caso es un arreglo de 5 bytes.



El cual se visualiza a través de un indicador numérico.

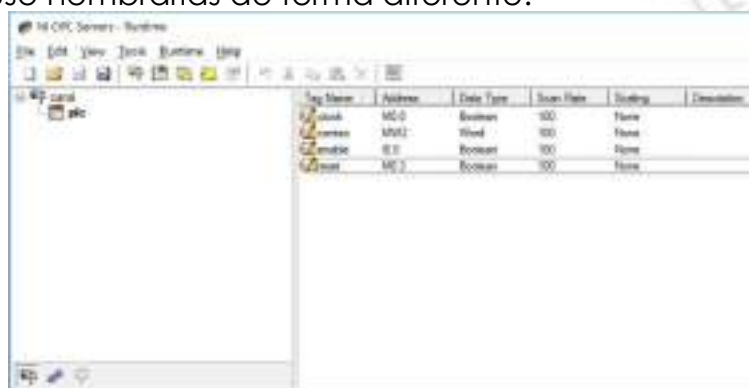
## Comunicación OPC (Aplicación y Física)

El OPC que se utiliza es uno de la marca National Instruments, este OPC se instala y funciona desde un computador, o microcomputador. La configuración se debe realizar según el tipo de dispositivos que estén conectados a la red, allí se definen entonces las variables que serán comunes dentro del sistema SCADA y que serán compartidas. La conexión física entre el servidor y los demás nodos del sistema se realiza mediante cable de Ethernet.

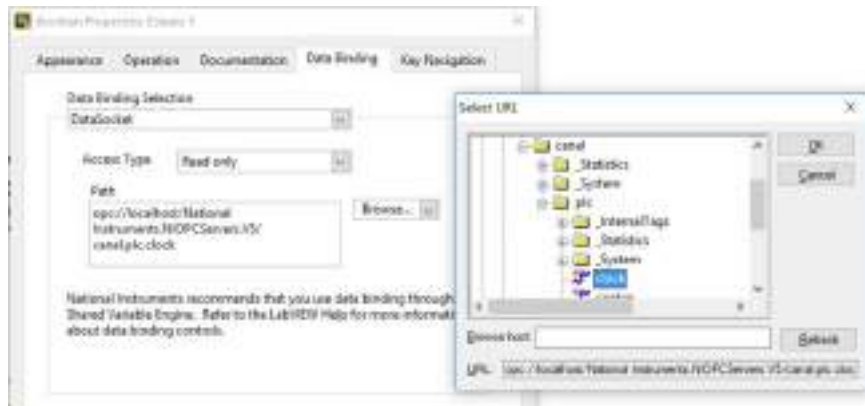
## Vinculación de las variables a través del OPC Server

El último paso que se realiza entonces en este momento es la vinculación de cada una de las variables del PLC con las variables del programa en Lab View, para esto creamos un servidor OPC con el **NI OPC Server**. Allí creamos un nuevo servidor que en este caso enlaza al dispositivo **Siemens TCP/IP Ethernet**, y posteriormente crear el dispositivo con la dirección respectiva del PLC.

Posteriormente creamos las variables que tenemos en el PLC y las direcciones de memoria respectivas de cada una de ellas, los nombres que pongamos en este espacio pueden ser diferentes de los que están en el PLC pero puede ser confuso nombrarlas de forma diferente.



Con el paso anterior y las direcciones de las variables en el PLC quedan referenciadas las variables que allí estén definidas, el paso siguiente es enlazar las variables del Labview. Esto se realiza sobre cada indicador accediendo a sus propiedades y en la pestaña de **"Data Binding"**, se busca la ruta de la variable dentro del servidor OPC:





#### 4.8.5.3.2 Interfaz en Software Libre(Elemento Adicional)

Como parte de la realización del proyecto se implementó una aplicación a través del programa Processing, un software libre desarrollado por el MIT, que posee un gran énfasis en aspectos gráficos. Mediante este programa se desarrolló la interfaz de usuario para el computador, esta cuenta con ventanas gráficas y comunicación serial con los dispositivos de control (Microcontrolador, PLC o Arduino). A continuación, una gráfica de la interfaz:

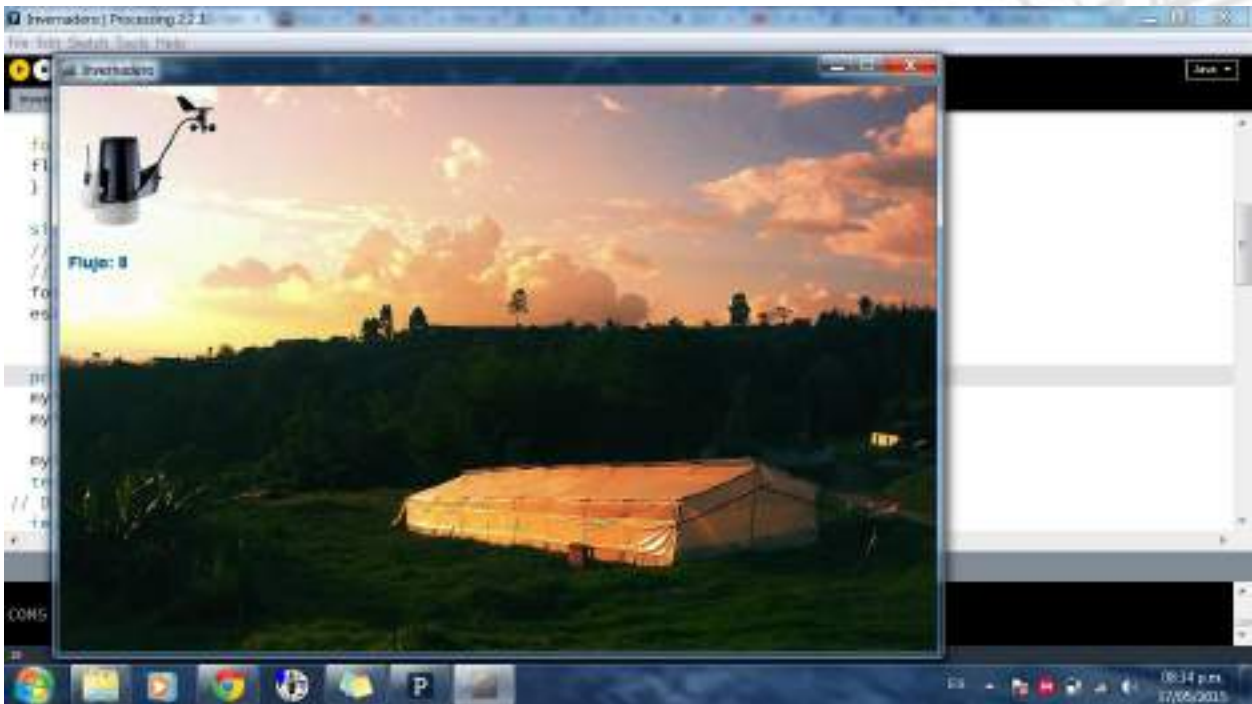


Ilustración 111 Interfaz de Usuario creada con Processing

Parte del código del programa se muestra a continuación:

```
import processing.serial.*;
PImage fondo,estacion; // Declare variable "a" of type PImage
Serial myPort; // The serial port
PFont myFont; // The display font
String inString="0"; // Input string from serial port
int lf = 10; // ASCII linefeed
int cont, valory, conteo,ejex=1;
boolean banserial=false;
int[] flujoarr = new int[50];
float aux=0;

void setup() {
```

```

    for(int i=0; i<49; i++){
        flujoarr[i]=0;
    }
    size(960, 680);
    // The image file must be in the data folder of the current sketch
    // to load successfully
    fondo = loadImage("invernadero2.jpg"); // Load the image into the program
    estacion = loadImage("Estacionpeq.png"); // Load the image into the program
    println(Serial.list());
    myPort = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600);
    myPort.bufferUntil(lf);
    myFont = loadFont("Arial-BoldMT-18.vlw");
    textFont(myFont, 18);
    // Displays the image at its actual size at point (0,0)
    image(fondo, 0, 0);
    image(estacion, 0, 0);
}

void draw() {
    fill(0, 102, 153);
    text("Flujo: " + inString, 10,200);

    if((conteo>48)&&(banserial==true)){

        ellipse(ejex, valory ,5,5);
        conteo=0;
        ejex=ejex+30;
        banserial=false;

    }else if(banserial==true){

        valory = int(aux/10+200);
        println("S "+inString);
        println("y "+valory);

        ellipse(ejex, valory ,20,20);
        ejex=ejex+30;
        conteo++;
        banserial=false;
    }
}
}

```

```
void serialEvent(Serial p) {  
    inString = p.readString();  
  
    if(cont>49){  
        cont=0;  
    }else{  
        cont++;  
    }  
  
    // flujoarr[cont]=int(inString);  
    aux=float(inString);  
    banserial=true;  
  
}
```

#### **4.8.5.4 Características Finales del Sistema SCADA Implementado**

##### **Disponibilidad:**

La disponibilidad del sistema se realizará de la siguiente forma:

1. Los variadores pueden seguir funcionando según la configuración general bajo la supervisión del PLC en el caso en que se desconecte o se caiga el MTU.
2. En el caso de que se caiga el MTU, es posible operar manualmente las motobombas y las cortinas directamente desde los tableros, se incluye igualmente un tablero para el manejo digital de las electroválvulas.

##### **Robustez**

Desde diferentes dispositivos del sistema es posible realizar las configuraciones y operaciones para arrancar elementos del sistema.

Estas operaciones pueden ser realizadas desde elementos a diferente nivel de la pirámide de control.

Igualmente se tienen varias interfaces de acceso a la información y control de los dispositivos

##### **Seguridad**

Watch Dog se encuentra implementado en el programa del PLC.

Se crearon niveles de acceso a cada uno de los elementos, siendo el PLC el encargado de filtrar las decisiones que se le envíen desde el MTU, protegiendo a los variadores, válvulas y tuberías.

Para la realización de acciones complejas se propone en un futuro implementar el requisito de contraseña.

### **Prestaciones**

El sistema tiene la capacidad de detectar fallos en la comunicación y resolverlos automáticamente, a no ser que sea un fallo muy grave y se requiera intervención del supervisor del sistema para la corrección del mismo.

### **Mantenibilidad**

La base de datos del sistema diseñado permite guardar los datos estadísticos que se analizan para crear alarmas de mantenimiento preventivo según el uso y desgaste calculado de los componentes.

### **Escalabilidad**

El sistema se puede escalar desde diferentes puntos:

Aumentar el número de actuadores conectados al sistema: esto es posible desde el PLC, el cual con la tarjeta CM1241, puede controlar 16 variadores, y además de esto es posible añadir otras 2 tarjetas para tener 48 variadores conectados.

El servidor OPC permite ampliar la entrada de diferentes variables y el envío de las mismas a una base de datos, esta capacidad le permite ampliar los datos para hacer un mejor control y monitoreo de la planta.



## 5 Resultados y análisis

A continuación, se encuentran los diferentes resultados obtenidos:

Se logró crear un nuevo espacio para la población objetivo del proyecto en el cual se podrán trabajar los temas referentes a la tecnificación de los cultivos. Dicha población fueron los estudiantes de la institución educativa rural técnico de Marinilla.

Se gestionaron los recursos humanos y técnicos complementarios al proyecto, permitiendo la realización de una intervención más integral y no solo desde el campo específico de la ingeniería electrónica.

Se logró una mejora radical de un espacio de formación que se encontraba descuidado y que después de ser evaluado por el SENA fue elegido como granja piloto en el oriente para realizar y fortalecer los programas que tiene que ver con la promoción del agro.

El proceso logró la vinculación de aliados estratégicos como la administración municipal de Marinilla, La IE Rural Técnico de Marinilla, El SENA, la corporación CORUM, la empresa UPPER, y la cooperativa COTRAFA cuyos aportes y soportes se encuentran en el ANEXO 12 APORTES ALIADOS



El proceso de construcción y diseño vinculó activamente a los estudiantes y profesores de la Institución educativa lo cual redundó en una apropiación social del espacio, que se verá reflejada en el sostenimiento y mejoramiento del espacio creado con el transcurso del tiempo.

Se logró la adquisición de una estación meteorológica la cual servirá para obtener y registrar la información de todo el año, y ésta será de uso público para entidades encargadas de la protección ambiental y el desarrollo rural del municipio y la región.

Se programaron e implementaron los diferentes elementos necesarios para el funcionamiento de un sistema SCADA: MTU, RTU's y sistemas de comunicación, de tal forma que el proyecto final tiene como se mencionó en el capítulo de prestaciones del sistema SCADA, características propias de los sistemas que se implementan a nivel industrial, garantizando su ampliación y mantenimiento.

Finalmente, este proyecto se convierte en un piloto importante para el desarrollo de nuevos procesos tanto a nivel local y formativo como a nivel regional, productivo e investigativo.



## 6 Conclusiones

Con esta práctica se constata el atraso generalizado e histórico que tiene el sector agrario campesino, así como el abandono y la dificultad que representa iniciar procesos que ayuden a la tecnificación del campo. Esto es todavía más grave si se tiene en cuenta la relativa cercanía que tuvo el lugar de realización de la práctica con el área urbana del municipio de Marinilla y la autopista Medellín Bogotá. De tal forma que, si se piensa en zonas rurales más apartadas de los centros de desarrollo, se espera que estos problemas se agudicen todavía más.

Es necesario que el campesino mejore su percepción en cuanto a las nuevas técnicas de cultivo, así como de la tecnificación y medición continua de variables ambientales que lo lleven a una mejor y más científica comprensión de las actividades que realiza. Se piensa en esto toda vez que en los espacios visitados se pudo ver una tendencia muy fuerte a calificar negativamente toda propuesta concerniente a la tecnificación por parte de los campesinos involucrados.

La mayoría de los jóvenes campesinos no ve oportunidades de desarrollo en el campo, esto se constató en la realización del proyecto, e igualmente en los informes que han llevado a cabo ONG's y entidades como el PNUD en Colombia; en éste sentido se vuelve una necesidad la realización de este tipo de proyectos, proyectos para que impacten positivamente en la visión de los jóvenes sobre el campo.

En las veredas cercanas a la IE Rural Técnico de Marinilla, área de impacto indirecto del proyecto, fue posible observar la poca tecnificación que existe para la realización de la labor agrícola, la cual incluye planeación, siembra, cosecha, pos cosecha y transformación de productos.

Se hace necesario que se enfoquen muchos más esfuerzos en el desarrollo de tecnologías adaptadas a las necesidades específicas de los campesinos de nuestras regiones, de tal forma que puedan mejorar sus metodologías de cultivo y puedan realizar labores de transformación de productos agrícolas autóctonos lo cual les permita dar mayor valor agregado a sus productos.

La planeación y seguimiento de las siembras son componentes que los campesinos en la gran mayoría de los casos subvaloran o desconocen. Se

evidencia entonces que se en la mayoría de los casos utilizan criterios que solo tienen en cuenta el uso de fertilizantes o pesticidas químicos que les son "recomendados" por los mismos distribuidores de las marcas y no por mediciones reales del impacto de éstos sobre sus cultivo. En este sentido es de vital importancia que se pueda ir implementando una cultura de medición de variables ambientales en las nuevas generaciones de jóvenes campesinos, de tal forma que les permita decidir mejor sobre la aplicación de riegos y fertilizantes, así como de la predicción de los tiempos de producción cada vez con más precisión.

A la par con la implementación de nuevas tecnologías en el campo, se debe trabajar con programas de formación y sensibilización, que ayuden a que los campesinos acojan y utilicen adecuadamente dichas tecnologías.

El objetivo inicial de esta práctica estaba orientado a la implementación de un sistema SCADA para un aula de investigación escolar bajo invernadero; es necesario anotar que si bien este objetivo se cumplió con la implementación de diferentes módulos disponibles en el mercado, este no fue el único resultado que se logró con el desarrollo de dicha práctica, ya que para que fuera posible una implementación real en terreno, fueron necesarios diversos aspectos entre ellos la gestión de recursos, voluntarios y permisos de intervención ante diferentes entidades y personas, todos ellos realizados por el estudiante.

A pesar de que existen diferentes tipos de sensores y tecnologías apropiadas para la medición en campo de variables como la temperatura, la humedad, la radiación entre otras, que pueden ayudar al mejoramiento de la producción agrícola, éstas por si solas no pueden ser asumidas solamente por los productores campesinos como parte de una inversión para sus cultivos, sino que el gobierno debe mejorar sus políticas de intervención agraria de tal forma que se tengan programas de apoyo continuo en temas técnicos, así como la implementación a nivel nacional de mediciones continuas de las variables locales llevándolas a sistemas de información locales que les permita a los campesinos, tomar decisiones acertadas sobre sus prioridades de producción.

Se hace necesario que se diseñen y masifiquen la producción de elementos que permitan la tecnificación del campo, basados en enfoques de hardware y software libre.

La creación de aplicaciones para la planificación y seguimiento de cultivos, se convierte en un elemento que puede marcar un cambio sustancial en la forma



en que se realizan las labores de producción agrícola siempre y cuando se tenga en cuenta que los dispositivos móviles son elementos que pueden facilitar la relación del campesino con conocimientos técnicos de alto nivel, llevados a un lenguaje común.

La implementación de cultivos bajo invernadero es una actividad que tiene un nivel importante de complejidad sin embargo en muchos lugares se realizan estas construcciones de forma muy improvisada, actividad que puede en el futuro crear complicaciones y problemas dado que la producción en invernadero se realiza de forma intensiva, es por esto que se hace necesario que las autoridades locales y regionales implementen políticas públicas que regulen este tipo de construcciones fijando límites de explotación por porcentajes de área de las fincas, límites de acceso al recurso hídrico, reciclaje de plásticos, cesión de áreas para reforestación entre otros aspectos de fundamental importancia para el sostenimiento de este tipo de cultivos, así como para el cuidado del medio ambiente.

## 7 Anexos

ANEXO 1.	PLANOS AUTOCAD
ANEXO 2.	PLANOS DE INSTRUMENTACIÓN
ANEXO 3.	CÁLCULO MOTOR CORTINAS
ANEXO 4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO
ANEXO 5.	CÁLCULO DE CONDUCTORES
ANEXO 6.	ISOMÉTRICO ELÉCTRICOS
ANEXO 7.	CÁLCULO PLANO ELÉCTRICO
ANEXO 8.	MANUAL SINAMICS V20
ANEXO 9.	PLANOS GABINETE VARIADORES
ANEXO 10.	MANUAL VANTAGE PRO 2 DUO
ANEXO 11.	INTERFÁZ DIDÁCTICA
ANEXO 12.	APORTES ALIADOS
ANEXO 13.	ARTÍCULOS IEEE
ANEXO 14.	COTIZACIONES REALIZADAS Y SELECCIONADAS
ANEXO 15.	REUNIONES ESTUDIANTES
ANEXO 16.	REUNIONES COTRAFA
ANEXO 17.	PROYECTO FINANCIACION
ANEXO 18.	3D PROPUESTA
ANEXO 19.	ESQUEMA LABVIEW

---



## 8 Bibliografía

- Agricultura, F. O. (s.f.). Obtenido de [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/col/indexesp.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/col/indexesp.stm)
- Aksahy C, N. K. (2012). Wireless sensing and control for precision green house management. *Sixth International Conference on Sensing Technology (ICST) - IEEE*.
- Bermúdez, S. m. (2009). *Instalaciones Eléctricas*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Borda, O. F. (1975). *Historia de la Cuestión Agraria en Colombia*. Bogotá: Editora Guadalupe LTDA.
- Dinero, R. (s.f.). Obtenido de <http://www.dinero.com/economia/articulo/composicion-economia-colombiana-2015/214054>
- Eduteka. (25 de 02 de 2009). *Logros Indispensables para estudiantes del Siglo XXI*. Obtenido de <http://www.eduteka.org/articulos/SeisElementos>
- El-Medany, W. M. (2008). FPGA Implementation for Humidity and temperature remote sensing system. *IEEE*.
- Gomez, J. r. (2008). *Temas Especiales de instrumentación y Control*. Cuba: Felix Varela.
- Hui Liu, Z. M. (2007). A wireless sensor network prototype for environmental Monitoring in greenhouses. *IEEE*.
- Iturrate, A. M. (2008). *Control de PLCs Siemens S7-1200 mediante el protocolo MODBUS a través del programa LABVIEW para realización de prácticas de comunicación industria*. Navarra: Universidad Pública de Navarra.
- Leonardo Gaete Vergara, F. E. (2001). *Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado*. TALCA: Universidad de Talca. Obtenido de <http://dspace.utalca.cl/handle/1950/2046>
- Leonardo Gaete Vergara, F. E. (2001). *Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado*. TALCA: Universidad de Talca.
- Lopez, A. (1927). *Problemas Colombianos*. Medellín: Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos.
- M. M. Balas, V. E. (2008). Modeling Passive Greenhouses. The Sun's Influence. *IEEE*.
- Martínez, E. A. (s.f.). *Automatización de Sistema invernadero por medio de un sistema SCADA*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Mestral, J. C. (s.f.). *Atmosfera semi-controlada en invernadero Cultivo de flores Miramonte*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Min Pack, K. M. (2012). Design of affordable greenhouses for East Africa. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference*.
- Pizarro, F. (1996). *Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF) Goteo, Microaspersión, Exudación* (3ra Edición, Revisada y Ampliada ed.). Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa.
- PNUD. (2011). *Colombia Rural Razones para la Esperanza, Informe Nacional de Desarrollo Humano*. Bogotá Colombia: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- R. Carbone, C. D. (2011). Photovoltaic System for Powering Greenhouses. *IEEE*.
- Rangan, K., & Vigneswaran, T. (2010). An Embedded System Approach to Monitor Green House. *IEEE*.
- Rodolfo Bongiovanni, E. C. (2006). *Agricultura de Precisión: Integrando Conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Montevideo, Uruguay: IICA. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=1ef6->

NN2XsAC&printsec=frontcover&source=gbs\_ge\_summary\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Rodríguez Penin, A. (2008). *Sistemas SCADA* (2 ed.). Barcelona: Marcombo.
- SIEMENS. (2013). *Convertidor SINAMICS V20, Instrucciones de Servicio*. NÜRNBERG, Alemania: SIEMENS.
- SIEMENS. (2014). *S7-1200 Programmable controller, System Manual*. NÜRNBERG, Alemania.
- SIEMENS. (2014). *SINAMICS V:Speed Control of a V20 withv S7-1200 (TIA Portal) via USS® Protocol, with HMI*.
- Takehiko Hoshi, R. O. (2011). A Gadget-Based Information Management System for Environmental Measurement and Control un Greenhouses. *IEEE - SICE Annual Conference*.
- Universidad Santo Tomás. (s.f.). *Universidad Santo Tomás*. Obtenido de <http://www.ustabuca.edu.co/post3743988/piramide-automatizacion-mecatronica>
- Vilanova, R. (2007). *Universidad Politécnica de Cataluña*. Obtenido de <https://www.epsevg.upc.edu/hcd/SAF/PDF/2007%20Sistemas%20SCADA.pdf>
- Wenlian Li, Q. L. (2009). The Design and Implementation of a Low cost Temperature control system for Agriculture Greenhouses. *IEEE - International Conference on Energy and Environmental Technology*.
- Yong, H. (2010). Design and realization of wireless sensor network for vegetable greenhouse informacion acquisition. *IEEE*.
-