

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



SEP

INFORME TECNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

INGENIERÍA ELECTRICA

PRESENTA:

Campos Linares Saúl De Jesús 12270609
Cruz Ruiz Javier De Jesús 12270616
Torres Velázquez Luis Roberto 12270854

EL TEMA:

CONTROL DE UN CONCENTRADOR SOLAR

ASESOR INTERNO

DR. RAFAEL MOTA GRAJALES

PERIODO:

Agosto – Diciembre 2016

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, DICIEMBRE 2016.

Contenido

1. Introducción.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Estado del Arte	10
1.3 Justificación.....	13
1.4 Objetivos.....	14
1.5 Metodología.....	14
2. Fundamento teórico	15
2.1 Energía Solar Térmica	15
2.2 Sistema SCADA	22
2.3 SCADA TCP/IP.....	27
2.4 Modbus	36
3. Desarrollo	48
3.1 Descripción de los circuitos realizados	48
3.2 Descripción de los programas realizados	49
3.2.1 Diagramas de flujo de los programas utilizados.....	52
3.3 Descripción de las pruebas, correcciones y validación	55
4. Resultados y Conclusiones	57
Referencias bibliográficas	58
Anexos.....	59

1.1 Antecedentes

La generación de energía eléctrica en Chiapas cuenta con el sistema hidroeléctrico más importante del país, integrado por cuatro presas construidas sobre el cauce del Río Grijalva, las cuales son Malpaso, La Angostura, Chicoasén y Peñitas. Dichos sistemas generan casi 4 mil Mega watts, ósea el 45% total de energía hidroeléctrica generada en el país.

Hacia el año 2000, la Comisión Federal de Electricidad reportó que en Chiapas existían un poco más de 760 mil usuarios, los cuales consumieron alrededor de 1500 Mega watts. Siendo el sector doméstico, el mayor usuario con 92% del total de usuarios, con un consumo eléctrico del 50%.

Seguido por el comercio con el 7.5% de usuarios, teniendo un consumo del 13%; la mediana industria llegó al 0.18% de usuarios con un consumo del 26%; el sector agrícola alcanzó el 0.12% de usuarios, con un consumo del 3.25% de los Mega watts generados. El sector de otros servicios constituye al 0.16% de usuarios, consumiendo el 4% de la electricidad.

Sin embargo, atrás de estas cifras globales, se encuentra el inequitativo hecho de que el 8% de los usuarios (de todos los sectores) consume el 50% del total de la energía generada en Chiapas. Lo cual con lleva al problema de la eficiencia energética con una acelerada búsqueda de nuevas fuentes de energía.

Con la intención de desarrollar tecnologías que permitan aprovechar energías alternas, y tener como resultado beneficios sobre el tan discutido impacto ambiental y a su vez el aspecto económico, se desarrollan, validan y aplican esfuerzos, en los sistemas de generación térmica solar, ósea los sistemas concentradores disco-parabólicos.

Han llevado a investigar e implementar nuevas aplicaciones, en los sistemas disco-parabólicos al interrelacionarlos, con un motor de ciclo Stirling con un generador en su salida mecánica, obteniendo la transformación de la energía térmica en mecánica y así mismo se convierte en energía eléctrica.

El principal objetivo de cualquier sistema térmico solar, será el de captar la energía que proviene del sol, para así transformarla y transportarla de la manera más económica y eficaz posible. Algunas de las aplicaciones del aprovechamiento solar pueden ser de una forma directa, es decir en forma de calor.

Otro aprovechamiento es de forma indirecta, utilizando el calor para obtener trabajo mecánico sobre un eje y finalmente transformarla en electricidad. Entre estos destacan 3 diferentes sistemas, los sistemas colectores cilindro parabólicos (CCP), los sistemas de receptor central (SRC) o sistemas de torre central (STC), y los discos parabólicos (DP).

También existen los sistemas de concentradores parabólicos compuestos (CPC). Los primeros concentran la radiación solar en un eje (dos dimensiones), mientras que los sistemas de torre y los discos parabólicos lo hacen en un punto (tres dimensiones), alcanzando por ello mayores relaciones de concentración.

Los campos de aplicación de los Sistemas Termo solares de Concentración (CSTS) son diversos, el campo de la generación de electricidad, es donde alcanza un mayor grado de desarrollo, dando lugar a Centrales Energéticas Termo solares (CETS). Dichos sistemas son basados en el aprovechamiento de energías renovables de mayor contribución, es decir cubren por completo la demanda energética, especialmente si están en regiones situadas en el llamado “cinturón solar”, regiones ubicadas entre las latitudes 35° norte y 35° sur.

El paralelo 35 Norte, está ubicado a 35° grados del plano ecuatorial de la Tierra. Visto de otra forma, en el país de los Estados Unidos de América, este paralelo norte define a la frontera sur de Tennessee, y la frontera entre Carolina del Norte y Georgia. El Paralelo 35 Sur es el paralelo que está 35° grados del plano ecuatorial terrestre hacia al sur. En Argentina este paralelo indica, el límite entre las provincias de Córdoba y La Pampa.

Los concentradores solares Tanto en Europa como en EE.UU. han desarrollado unidades autónomas conectadas a motores Stirling situados en el foco del concentrador parabólico, con potencias de entre 1 y 25 kW. Según documentos de referencias y bajo determinadas condiciones se obtienen rendimientos que llegan a máximos de hasta 30%.

Estos sistemas Disco-Stirling presentan una eficiencia muy alta en la conversión de la radiación solar en energía eléctrica, en donde se alcanza entre el 25 y 30% en condiciones nominales de operación. Para alcanzar estos valores de rendimientos se deben obtener relaciones de concentración entre 2500 y 3500. Estos rendimientos son alcanzados por las temperaturas en el

receptor del motor que oscilan entre los 650°C y 850°C, con eficiencias nominales puntuales en los motores Stirling entre 30-40%.

Lo que convierte a este sistema de generación eléctrica en uno muy eficiente dentro de las aplicaciones de energías renovables. El objetivo es analizar la viabilidad de este recurso en el ámbito energético, con las condiciones geofísicas de nuestro país buscando si el sistema, Disco Stirling es una alternativa en la generación eléctrica en el mercado mundial.

Dado que la región sureste del país, en particular es beneficiada con una radiación buena, ya que está cerca de los torrentes de radiación solar más importantes del planeta, se define el desarrollo de dispositivos de generación de energía eléctrica basado principalmente en la radiación solar. En este recurso existen dos vertientes, es decir aplicaciones para el aprovechamiento solar, uno es el calentamiento de agua y otro la generación de energía eléctrica, ambos con múltiples aplicaciones, así como comercial, industrial y doméstica.

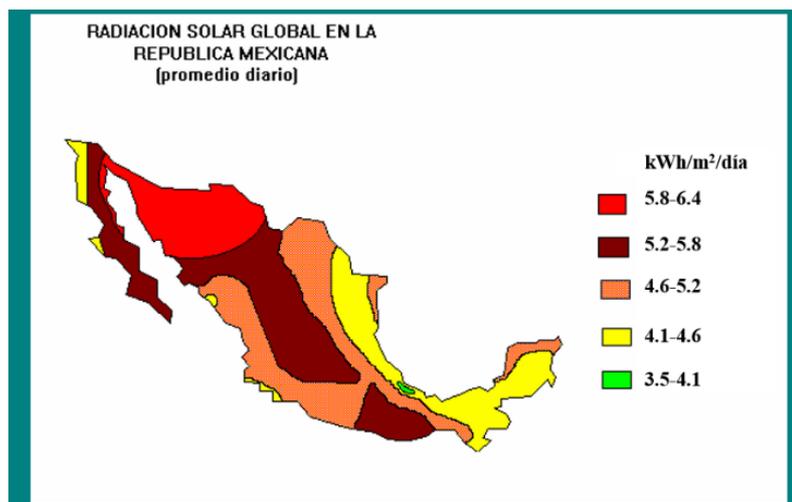


Fig.1: Índice De Radiación Solar Global En La República Mexicana

No obstante la primera referencia histórica que se puede encontrar al uso de la energía solar se encuentra en la antigua Grecia. Durante la batalla de Siracusa en el siglo III a.C. donde se enfrentaron los romanos y los griegos, se relata en algunos escritos como Arquímedes utilizó espejos hexagonales, hechos de bronce para reflejar los rayos solares, concentrándolos en las naves romanas, con el único objetivo de destruirla.

Posteriormente, un genio como Leonardo Da Vinci intentó inventar en 1515 un concentrador de calor de seis kilómetros de diámetro, aunque no logró terminarlo y cien años después, el francés

Salomón de Caux desarrolla una bomba de agua para hacer funcionar una pequeña fuente gracias a la dilatación de un recipiente metálico por efecto del calor del sol.

La aplicación de energía solar para bombear agua se remonta al año 1615, cuando Salomón De Caux, físico e ingeniero francés, desarrolló una máquina que era activada con energía solar. De Caux construye el primer motor solar, este dispositivo contaba con un conjunto de lentes de vidrio. Estos a la vez estaban montados en un marco que concentraba los rayos solares sobre una cámara de metal, la cual se encontraba parcialmente llena de agua y aire.

La luz solar calentaba el aire del recipiente metálico, por lo cual este se dilataba y forzaba al agua a salir en forma de fuente. En las últimas décadas del año de 1700; Lavoisier realizó experimentos con concentradores solares. Dentro de los avances más notables para el desarrollo de la energía solar térmica, destaca el trabajo aportado por Horacle de Saussure en 1767.

Este suizo comprobó que la temperatura que se alcanza al interior de una caja de cristal por el efecto invernadero puede alcanzar los 109°C y así, sin pensarlo había creado el llamado colector solar. Esta aportación sirvió para el desarrollo de sistemas calentadores de agua a través de los rayos del sol. Así también fue él, el encargado de inventar el primer horno solar para preparar comidas. Las aplicaciones realizadas con energía solar por medio de concentradores, los cuales por la necesidad de seguir el sol, eran difíciles de ocupar.

Su uso se extendió en Europa y el Medio Oriente, destacándose un horno diseñado por el científico francés, Antoine Lavoisier que alcanza la temperatura de 1750°C . Durante la segunda mitad del siglo XIX, se comenzó a experimentar la posibilidad de aprovechar la energía solar para fines prácticos.

Muchos lo habían intentado, pero fue el ingeniero francés Agustín Mouchot uno de los primeros, el pionero en la energía solar. En su deseo de lograr una energía alternativa económica y al vapor originado en la combustión del carbón. Mouchot soñó con domar la radiación solar para calentar agua. De estos esfuerzos nació en el año de 1866 el primer colector solar.

El ingeniero Charles Wilson, en la provincia de Antofagasta instaló en 1872 un destilador solar de aproximadamente 5000 m^2 de superficie, que produjo alrededor de 21500 litros por día de agua dulce para la población que trabajaba en las faenas mineras del salitre. Esta instalación funcionó durante casi 40 años, hasta que la mina fue abandonada, siendo esta la primera aplicación industrial de la energía solar.

Durante algunos años este prototipo sufrió mejoras, hasta llegar al generador solar de vapor que fue presentado en la Exposición Universal de París de 1878. August Mouchot opero motores a vapor generado por energía solar. Para la construcción de este generador el científico Mouchot tuvo la colaboración del francés Abel Pifre. Este prototipo fue un éxito, logrando premios y reconocimientos de todo tipo.

Sin embargo en ese momento ninguna industria se interesó por aquella innovadora tecnología. Abel Pifre se sintió defraudado ante el escaso interés que existió en su proyecto. El bajo costo del carbón era la excusa que solían poner las industrias a las cuales estos científicos le proponían invertir en los generadores solares de vapor para un fin comercial.

Ante esta negación Pifre no se dio por vencido, y presenta su imprenta solar el 6 de agosto de 1882 en París. Esta imprenta constaba de un espejo cóncavo de 3,5 metros de diámetro, con caldera cilíndrica de vapor en el eje, el motor solar de Pifre era capaz de realizar su movimiento ante condiciones de nubosidad media por la tarde. Esta imprenta publico cerca de quinientas copias de un periódico llamado “El diario solar”.

En 1912 Shuman, en colaboración con C.V. Boys, construyo el mayor sistema de bombeo solar en el mundo. El sistema fue puesto en operación en 1913 y se ocuparon colectores cilindro-parabólicos, los cuales focalizaban la energía del sol en un tubo de absorción. Cada colector medía 62 metros de largo, formando un área total de colección de 1200 m^2 . Este sistema generaba 40kW.

En 1920 se tuvo otro descubrimiento notable, el diseño era para uso eficiente y estaba desarrollado por el científico William Bailey en 1920. Desarrolla un calentador de agua solar con un método de circulación de agua y de conservación de calor conocido como termosifón. Este sistema era sin embargo más útil en los veranos, haciendo imposible sobrevivir a la baja temperatura durante el invierno.

Desde entonces se han producido muchos avances en el sistema de generación con energía solar. Sin embargo entre los años 1920 al 1950, el interés por el uso de energía solar en generación decayó; debido a los avances en motores de combustión interna y a los bajos precios de los combustibles fósiles. Sin embargo, el uso de celdas solares en los programas espaciales y los crecientes precios de los combustibles, la energía solar se ha convertido en una alternativa válida en la generación eléctrica.

Durante los últimos 50 años, se han dado muchas mejoras a estos sistemas, fueron ideados y construidos; con la idea general, que todos transfieran calor en el foco a un fluido de trabajo el

cual alimenta a un sistema mecánico. Actualmente, dos disposiciones de colectores se encuentran ampliamente difundidas. La primera posee un receptor central y es llamada heliostato. En este un campo de espejos refleja la radiación solar a un receptor situado sobre una torre.

La segunda ocupa concentradores distribuidos, cada concentrador con su receptor en el foco. Entre estos se encuentran concentradores parabólicos, y cilindro-parabólicos. Los concentradores parabólicos pueden realizar un seguimiento solar en dos ejes, mientras que los cilindro-parabólicos solo en uno. Para la concentración de la radiación solar, se es necesario obtener altas temperaturas las cuales son una condición para el funcionamiento del sistema de generación.

Tener estudios teóricos y experimentales de un concentrador parabólico son esenciales previo a la implementación a gran escala. Los sistemas de colectores solares parabólicos necesitan tener un sistema de seguimiento solar, el cual permite tener los rayos solares concentrados en su foco en todo momento.

Dada la baja energía generada por cada colector (del orden de los 500 Wh), es necesario saber cuánta energía se emplea en el seguimiento y la electrónica asociada. Para la implementación del sistema de generación, es relevante conocer la radiación incidente en él y la temperatura a la que puede llegar.

En otras palabras la energía solar concentrada (CSP); son aquellos sistemas que utilizan lentes o espejos para enfocar la zona ancha del sol, o la energía solar térmica a una zona más reducida. Se produce la energía eléctrica cuando la luz concentrada es convertida en calor, tal y como es su principio se ejerce el trabajo sobre un motor de calor conectado a un generador eléctrico.

La energía solar concentrada (CSP) no debe confundirse con los paneles fotovoltaicos en que la energía solar se convierte directamente en electricidad sin el uso de turbinas de vapor. La concentración de la luz solar sobre las superficies fotovoltaicas, al igual que en el CSP, son conocidos por concentración fotovoltaica (CPV).

Los sistemas de energía solar concentrada se dividen en: Solar térmica concentrada (CST), Concentración fotovoltaica (CPV), Energía solar térmica concentrada y fotovoltaica (CPT). La térmica solar concentrada (CST) se utiliza para producir calor, ventilación o electricidad renovable (llamado termoeléctrica, por lo general es producido a través del vapor).

Los sistemas de CST utilizan lentes o espejos y sistemas de dirección para cubrir un área grande de luz solar y redirigirla a un área más pequeña. La luz concentrada se utiliza entonces como calefacción o como fuente de calor para una planta de energía convencional (energía solar térmica). Hay varias tecnologías, incluyendo la concentración parabólica película, disco Stirling, reflector de Fresnel, chimenea solar concentrada y cuarto de torres ERGY solar.

Cada método de concentración es capaz de producir altas temperaturas y también altas eficiencias de energía termodinámica, sino que varían con el fin de realizar el seguimiento del sol y enfocar la luz. Debido a las nuevas innovaciones en la tecnología, la concentración solar se está volviendo más eficiente en cuanto a los costos. La lámina parabólica se compone de un reflector parabólico lineal que concentra la luz, a un receptor situado en la parte larga de los reflectores línea focal.

En el receptor está colocado un tubo por encima del centro del espejo parabólico y está lleno de líquido. El reflector sigue al sol durante varias horas del día. Un fluido (por ejemplo, sal fundida) se calienta a 150-350 °C; mientras se mueve a través del receptor y luego se utiliza como fuente de calor a un sistema de producción de la fuerza de voluntad. Sistemas de hundimiento son los más desarrollados de las tecnologías CSP.

Las centrales de energía solar Sistemas de Producción (SEGS) en California. Los reflectores Fresnel Concentrados son plantas que utilizan muchos de espejos delgados en lugar de tiras de película parabólica espejos para concentrar la energía solar en dos tubos de llenos de fluido. Esa era la ventaja de utilizar espejos de poca profundidad, mucho más barato que las antenas parabólicas.

Sistema móvil platos parabólicos; los platos de motor son sistemas los cuales consisten en aislar un reflector parabólico que concentra la luz, en un receptor situado en el punto focal del mismo reflector. El líquido en el receptor se calienta a 250-700 °C después se emplea en un motor móvil encargado de generar la energía.

Los sistemas de disco parabólico proporcionan la mayor eficiencia eléctrica solar de todas las tecnologías de energía solar concentrada (CSP). Hay dos eventos clave para poder realizar la elección de una antena parabólica. Una es que este tipo de plato se ajusta de tal manera que los rayos paralelos al eje de la placa se dirijan hacia el centro de la misma.

El segundo aspecto es que los rayos del sol que alcanzan la superficie de la Tierra son casi paralelos. Por lo tanto, si el plato se puede alinear sobre su eje con el sol, todos los rayos serán

dirigidos al punto central del plato, es decir la mayoría de las pérdidas están relacionadas con imperfecciones del satélite y la superficie reflectante.

Las pérdidas que se producen entre la placa y su punto central son mínimas, puesto que la placa está específicamente diseñada para ser tan pequeño como sea posible, minimizando de este modo este factor en un día soleado claro. Otro claro ejemplo del aprovechamiento solar, para la generación eléctrica es la torre de energía hacia arriba.

Es decir una torre de energía solar hacia arriba se compone de un área transparente de gran tamaño por lo regular hecha de vidrio, se eleva suavemente a una torre o chimenea central hueca. Y acá el sol calienta al aire en este espacio tipo de horno, que se eleva luego a la chimenea haciendo una turbina de aire de trabajo a medida que asciende. Así en el proceso la turbina genera electricidad.

La concentración fotovoltaica (CPV), es la conversión de la energía solar en energía eléctrica la cual está basada en el principio denominado "efecto fotovoltaico", mejor dicho es la producción de una corriente eléctrica, en un material semiconductor como la consecuencia de la absorción de radiación luminosa.

La luz del sol es transformada en energía eléctrica, por las células solares constituidas por el material semiconductor, como es el silicio. Al incidir la luz (fotones) sobre estas células se origina una corriente eléctrica, aunque el rendimiento de este proceso es pequeño, ya que tan sólo el 25% de la energía luminosa se transforma en eléctrica.

Para obtener el suficiente amperaje, se conectan varias de ellas en serie. A esto se le llama módulos o paneles fotovoltaicos. Las células del panel están protegidas por un cristal y se construyen de forma que se pueden unir con otros paneles. Estas instalaciones están provistas de acumuladores, los cuales almacenan la energía eléctrica no utilizada en forma de energía química.

En algunos casos, también puede estar conectado en paralelo con la red, para emplear la energía de la misma cuando falte el Sol. Otro aspecto de la generación de energía eléctrica basada en el aprovechamiento de la concentración solar es la energía fotovoltaica, pero en alta concentración (HCPV); estos sistemas fotovoltaicos de alta concentración emplean una concentración óptica compuesta de platos reflectores de lentes de Fresnel.

Estos concentran la luz solar a 300 soles o a una mayor intensidad. Las células solares requieren grandes disipadores de calor para evitar la destrucción de la capacidad térmica y las

pérdidas de rendimiento. La eficacia de las células aumenta con la concentración; la eficiencia de multi-unión aumenta rápidamente.

La célula solar de múltiples articulaciones, está diseñada para áreas no concentradas, es decir situadas en el espacio ahora se han rediseñado debido a una alta densidad de corriente (típicamente 8 A / cm² a 500 soles).

La energía fotovoltaica térmica concentrada y la energía fotovoltaica (CPVT); los concentrados térmicos (CPVT) producen simultáneamente electricidad y calor térmico en el mismo módulo. Este calor térmico se puede utilizar para el agua, aire de calefacción y aire acondicionado forzado (frío solar) caliente, la desalación o proceso de calentamiento solar.

Los investigadores australianos, estadounidenses y chinos están explorando el potencial de producción combinada de calor y energía solar (CHAPS) y los europeos tienen sistemas de CHAPS en la producción. Las ventajas de este proceso son que alcanza temperaturas elevadas. Las altas temperaturas son adecuadas para la producción de energía utilizando métodos convencionales, tales como turbinas de calor o para algunas reacciones químicas resultantes de las altas temperaturas.

Se obtiene una buena eficacia, al concentrar la luz solar en los sistemas actuales, siendo más eficaces que las células solares, una zona amplia se puede cubrir con el uso de espejos siendo más barato en lugar de utilizar las células solares. La luz concentrada se dirige a un lugar adecuado a través de cables de fibra óptica. Y el almacenamiento de calor para la producción de energía durante condiciones de tiempo nublado o incluso por la noche, se logra por el uso del almacenamiento en tanques subterráneos de fluido caliente.

1.2 Estado del Arte

La historia de las tecnologías solares comienza con la investigación del físico francés Antoine-César Becquerel en 1839. Becquerel observó el efecto fotovoltaico cuando experimentaba con un electrodo sólido en una solución de electrolitos. Notó cómo se producía voltaje cuando la luz incidía sobre el electrodo.

De acuerdo a Encyclopedia Britannica, la primera celda solar la construyó Charles Fritts en 1883, cuando recubrió selenio (un material semiconductor), con una capa muy delgada de oro. Sin embargo estas primeras celdas tenían una eficiencia inferior al 1%.

En 1954, tres investigadores estadounidenses, Gerald Pearson, Calvin Fuller y Daryl Chapin, diseñaron una célula solar de silicio capaz de una eficiencia de conversión energética del seis por ciento de la luz solar directa.

Los tres inventores crearon una serie de varias tiras de silicio (cada uno de aproximadamente el tamaño de una hoja de afeitarse), los colocaron en la luz del sol, capturaron los electrones libres y los convirtieron en corriente eléctrica. Crearon primeros paneles solares.

Laboratorios Bell en Nueva York anunció la fabricación de prototipos de una nueva batería solar. Bell había financiado la investigación. El primer ensayo de servicio público de la Campana de la batería solar comenzó con un sistema de soporte telefónico (Americus, Georgia) el 4 de octubre de 1955. [1]



Fig. 2: Celda solar de los laboratorios Bell

JA Beltrán, Etal, (2013) "Diseño y fabricación de prueba de rendimiento de un seguidor solar hecho por la electrónica de control embebido", Propusieron para el sistema de seguimiento de bucle abierto, el rastreador llevara a cabo el cálculo para determinar la posición del sol y determinar los ángulos de rotación de los dos ejes de seguimiento utilizando una formula especifica sol de seguimiento con el fin de impulsar el colector solar hacia el sol [2].

Actualmente las celdas fotovoltaicas están hechas de materiales semiconductores como el silicio, que es el que se usa más comúnmente. Básicamente, cuando la luz incide en la celda, una cierta parte de ella es absorbida por el material semiconductor. Esto significa que la energía

de la luz absorbida se transfiere al semiconductor. La energía golpea a los electrones libres, lo que les permite circular libremente.

Las celdas fotovoltaicas también tienen uno o más campos eléctricos que actúan para obligar a los electrones liberados por la absorción de la luz a fluir en una dirección determinada. Este flujo de electrones es corriente eléctrica, y mediante la colocación de contactos metálicos en la parte superior e inferior de la celda fotovoltaica, se puede sacar esa corriente para uso externo. Esta corriente, junto con el voltaje de la celda (que es resultado de su base de campo o campos eléctrico(s)), define la potencia que la celda solar puede producir. [3]

La primera patente de la circuitería necesaria para controlar un seguidor solar es de 1975 por Brown Manufacturing Company. A finales de la década de los 79's se crearon los primeros seguidores solares de uno y dos ejes. [4]

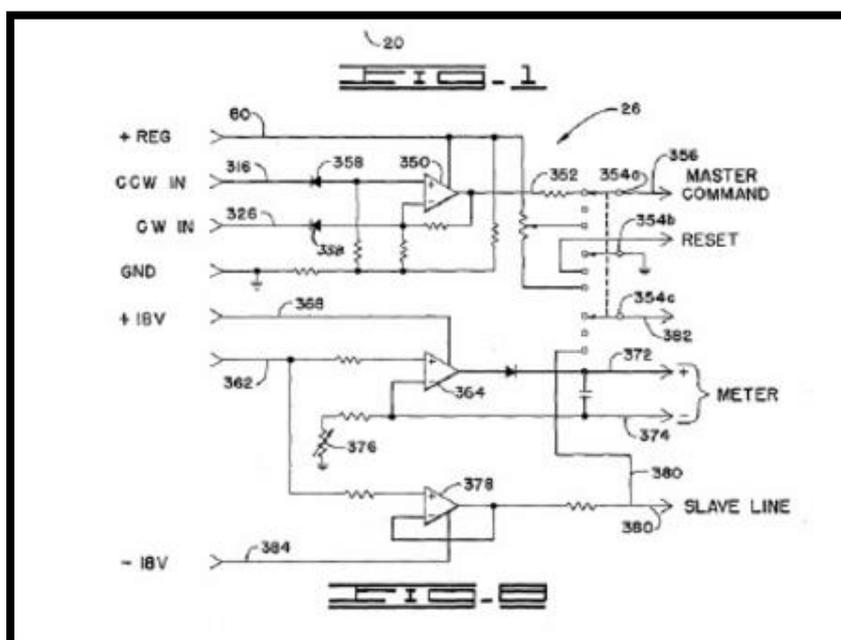


Fig. 3: Parte del diagrama del primer seguidor solar

A.-JN Khalifa Al-SS y Mutawalli, (2014) "Efecto de seguimiento solar de dos ejes en el rendimiento de los concentradores parabólicos compuestos," *Conversión y Gestión de la Energía*, el sistema fotovoltaico que diseño para concentrar gran cantidad de luz solar en las células, el máximo seguidor del punto de poder concentrado el cual poder extraer la máxima potencia del PV [5].

S. Ozcelik, Etal (2012), "de dos ejes Solar Análisis de Rastreo y Control de Potencia Máxima Generación", *Procedía Computer Science*, vol. 6, pp. 457-462, 2011. Utiliza el ángulo de declinación solar local y ecuación del tiempo, Etime para calcular el ángulo horario solar instantánea [6].

MA Abas, (2013), "Mejora de la estructura del seguidor solar control basado en microcontrolador," una nueva estructura mecánica de seguidor solar fue diseñado y presentado. La estructura implementa dos motores paso a paso para la rotación libre del eje X y Y. la rotación se forma inteligente controlado por un microcontrolador PIC 18F4560 2k pre programado que proporciona la estrategia de programación sencilla a través del lenguaje C.

El algoritmo diseñado se basa en la medición de la intensidad de la radiación solar que es capturado por un dispositivo sensible ultravioleta conocida como piránometro. El sistema ha sido probado y los resultados muestran impacto muy significativo en el diseño mecánico, el control de algoritmo y también el coste del desarrollo [7].

Actualmente varias compañías fabrican seguidores solares de uno y dos ejes con fines comerciales, entre ellas se encuentran Mecasolar y Eco Kinetics [8].

Las mejoras se producen actualmente debido al descubrimiento de mejores materiales antireflejantes que permiten aumentar la eficiencia de los paneles solares [9].

1.3 Justificación

Las tecnologías de energías renovables producen energía comercial, convirtiendo un fenómeno natural en una forma de energía útil. Estas tecnologías usan la energía del sol y sus efectos directos e indirectos que tiene sobre la tierra (radiación solar, viento, caídas de agua, y la vegetación; biomasa), fuerzas gravitacionales (mareas), y el calor del núcleo de la tierra (geotérmica), como recursos para generar energía.

La cantidad de energía solar incidente cada año es igual a 160 veces los recursos existentes en el planeta de combustibles fósiles y es igual a 1500 veces a la energía utilizada en un año en todo el planeta. El sistema disco parabólico (SDP), como su nombre indica, está compuesto por una superficie concentradora. De forma parabólica capaz de concentrar la componente directa de la radiación solar sobre el foco geométrico de dicha superficie.

En el foco se sitúa un elemento capaz de aprovechar la energía térmica alcanzada en esa zona. Normalmente este elemento convierte la energía térmica incidente en energía mecánica a través de un motor Stirling, cuya salida es aprovechada por un alternador para generar energía eléctrica. Aunque ésta ha sido la principal aplicación, es posible aprovechar dicha energía

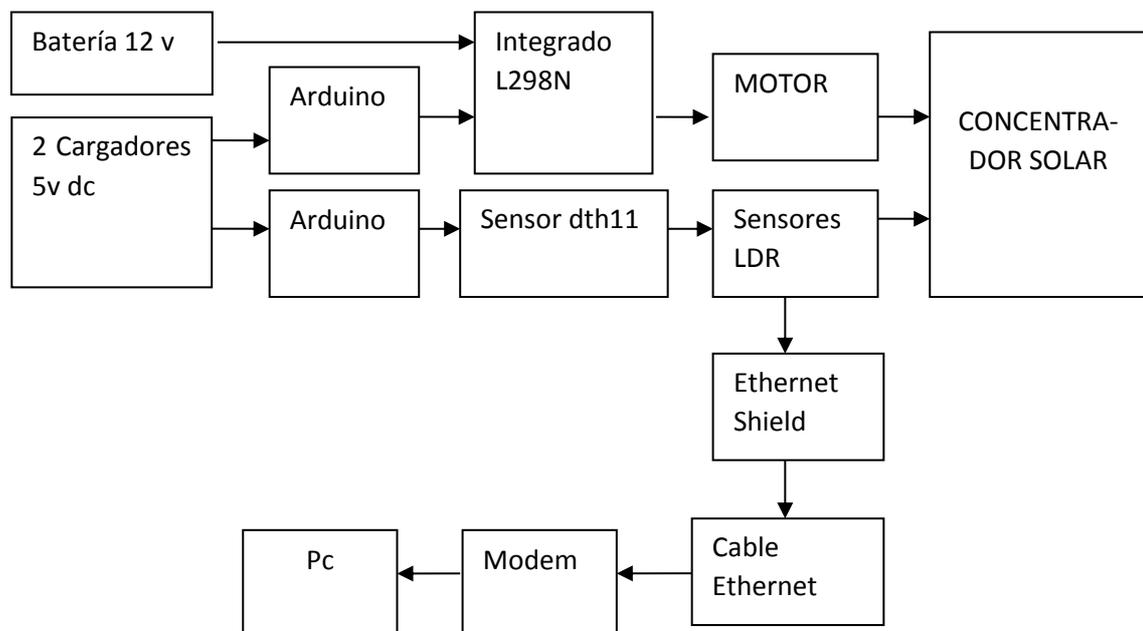
térmica para otras aplicaciones como generar vapor directamente o utilizarlo como calor de proceso.

1.4 Objetivos

Diseñar y construir un sistema de control de un concentrador solar ubicado en el instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, que se mueva hacia la dirección del sol, programada en Arduino, que haga un monitoreo del concentrador solar y este a la vez se comunice con una computadora para almacenar los datos por medio del protocolo TCP/IP.

1.5 Metodología

a). Diagrama a bloques del hardware

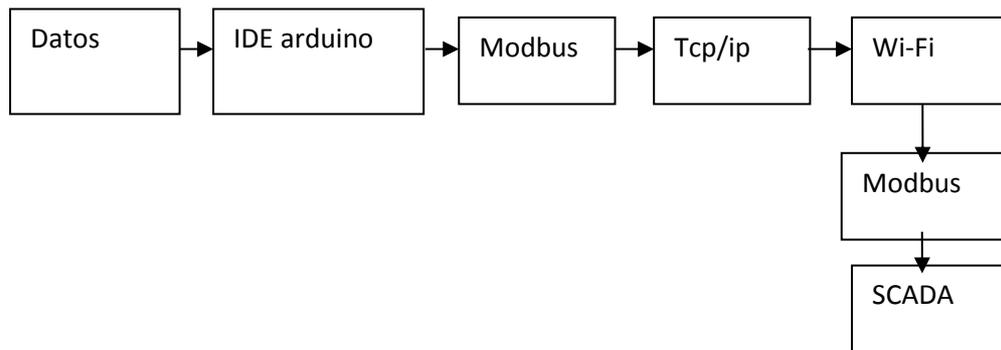


Con los dos cargadores alimentamos los dos arduinos, un arduino se encargara del SCADA y otro se encargara del movimiento del concentrador. El arduino que contiene el SCADA recibe los datos del sensor DTH11 que es el que toma la lectura de la humedad y temperatura además este arduino recibe la cantidad de luminosidad en el ambiente por medio de un LDR.

Este arduino tiene una shield Ethernet para poner mandar los datos al modem y de ahí distribuirlos a los usuarios que estén conectados a la misma red. El segundo arduino se encarga del movimiento del concentrador con la ayuda del circuito l298N que contiene un puente H que ayuda a controlar el motor que se encarga del movimiento

Dado que es un motor grande se necesita una batería dado que el motor consume mucha corriente por medio del circuito l298N. Esta corriente no la puede suministrar el arduino por eso se usa una batería de 12v.

b). Diagramas a bloques del software



En el primer bloque están los datos obtenidos por los sensores y que son enviados al arduino, ya dentro del arduino los encapsula en el protocolo de comunicación modbus y los envía al modem por medio de tcp/ip. Cada vez que un usuario solicite los datos tiene que buscarlos en la IP asignada al arduino por medio del modem.

El SCADA es el software encargado de poder entender la trama de datos de modbus y así mostrarle al usuario los datos que solicito y a su vez también podemos mandarle datos al arduino por medio del mismo protocolo. Cualquier usuario puede acceder a los datos al arduino solo tiene que cumplir con ciertas condiciones.

Las condiciones son saber la ip del arduino, el número del registro o bobina del dato solicitado y estar en la misma red de internet y contar con un scada.

2. Fundamento teórico

2.1 Energía Solar Térmica

Los sistemas de energía solar térmica de concentración (ESTC) producen electricidad mediante el uso de espejos que concentran los rayos del sol, a temperaturas que oscilan entre 400 y 1.000° C. En la actualidad, el uso de esta energía es sumamente importante, su implementación

ha sido como una central de energía solar térmica de concentración, las cuales poseen una potencia de entre 50 y 280 MW.

Este tipo de centrales solares pueden integrarse con almacenamiento o en una operación híbrida con otros combustibles, así mismo ofreciendo una potencia firme y suministro de energía al consumidor a cualquier cantidad de demanda. Esta fuente es apta para cargas punta y cargas base, normalmente la electricidad generada por este tipo de fuente se inyecta a la red eléctrica.

La energía solar térmica de concentración es una forma viable desde el punto de vista comercial y, a gran escala, sin embargo para la generación de electricidad esta fuente es aconsejable para las áreas del mundo con horas de sol mayor como: los países del sur de Europa, norte de África y Oriente Medio, algunas partes de la India, China, el sur de Estados Unidos y Australia.

Durante los últimos años, esta tecnología de reciente creación se ha desarrollado rápidamente hasta convertirse en una óptima solución para la generación de energía eléctrica. A finales de 2008, las instalaciones de energía solar térmica de concentración proporcionaban sólo 436 MW de la generación de electricidad a nivel mundial.

Los nuevos proyectos en construcción, especialmente en España, contribuyen al menos con 1,000 MW. En Estados Unidos se tienen proyectos en proceso de planificación y desarrollo en la generación por este método, alcanzando hasta 7,000 MW. Algunas previsiones de desarrollo para el futuro en este sector, el mundo podría contar con una potencia solar combinada de más de 830 GW para el año 2050.

Con estas tendencias, se tendría un desarrollo anual de 41 GW, lo que representaría entre el 3 y el 3,6% de la demanda global en 2030 y entre el 8.5 y el 11.8% en 2050. Pueden emplearse diversas tecnologías para concentrar y recoger la luz del sol y convertirla en calor, a alta-media temperatura.

Este calor se utiliza después para generar electricidad de forma convencional, por ejemplo, el uso de una turbina de vapor o un motor Stirling. El calor solar recogido durante el día puede también almacenarse en un medio líquido o sólido, como sales fundidas, materiales cerámicos, hormigón o mezclas de sales de fase cambiante, y así extraerse del almacenamiento para mantener en funcionamiento a la turbina.

Las centrales eléctricas termo solares sólo con generación solar funcionan bien para suministrar cargas pico en horarios de mediodía, en regiones con grandes demandas, como España y California. Los sistemas de almacenamiento de energía térmica funcionan durante más tiempo e incluso proporcionan energía de carga base. Un ejemplo, es España donde las plantas Andasol

de 50 MW fueron diseñadas para 8 horas de almacenamiento térmico, lo que mejora la disponibilidad anual en unas 1,000 a 2,500 horas.

Los sistemas de espejos concentradores solares; utilizados en las plantas ESTC son sistemas de enfoque puntual o lineal. Estos sistemas lineales tienden a concentrar la radiación unas 100 veces, obteniendo temperaturas de trabajo de hasta 550°C, mientras que los sistemas puntuales pueden concentrar más de 1,000 veces y lograr temperaturas de trabajo de más de 1.000°C.

Existen cuatro tecnologías comerciales de ESTC: sistemas de canales parabólicos y sistemas de concentradores lineales de Fresnel, estos tipos de concentradores son lineales; y los receptores centrales y sistemas de discos parabólicos, son concentradores puntuales. Los sistemas de receptores centrales se denominan también torres solares.

Una ventaja principal de los sistemas de energía solar térmica de concentración (ESTC) es que pueden reemplazar a las centrales eléctricas basadas en combustibles fósiles, lo que reduciría las emisiones de gases, que provocan el efecto invernadero, y por consecuencia provocan el cambio climático.

Las centrales térmicas menos complejas están formadas por cientos de concentradores organizados en serie. El análisis del ciclo de vida de los componentes junto con la superficie ocupada donde se instalan los sistemas CSP, según estudios y análisis nos indican que se tarda unos cinco meses en 'recuperar' la energía que se ha utilizado para fabricar e instalar el equipo.

Se tiene la estimación de que las plantas pueden durar alrededor de 40 años, como se ha demostrado en las centrales de Mojave (EEUU). La mayoría de los materiales empleados para las centrales ESTC pueden ser reciclados y utilizados de nuevo para otras centrales.

En la actualidad en los Estados Unidos se puede observar; que los costos de generación son de unos 15 céntimos de dólar por kWh para electricidad solar en instalaciones con una muy buena radiación solar. El desarrollo de esta tecnología se encuentra en una curva de aprendizaje rápida, los factores que ayudarán a reducir el costo son las mejoras tecnológicas, la producción en serie y la mejora de las operaciones.

La energía de concentración solar térmica se está convirtiendo en una tecnología competitiva, con respecto a las centrales térmicas convencionales de combustible fósil que pueden operar a media carga. La incorporación de nuevas ESTC a la red eléctrica ayuda a mantener estables los costos eléctricos, evitando drásticos incrementos por la escasez de combustible.

Las plantas híbridas pueden utilizar energía solar concentrada y combustibles fósiles. Para la generación de energía solar a pequeña escala y fuera de la red, como por ejemplo en pequeñas islas o zonas rurales, existen algunos factores que aumentan la viabilidad Económica de los proyectos de ESTC, así como el aumento de la demanda de 'energía verde' y el desarrollo de mercados del carbono mundiales para la generación de energía no contaminante.

Las centrales ESTC necesitan una elevada inversión inicial, pero durante todo su ciclo de vida el 80% de los costos son en construcción y deuda asociada, y sólo el 20% es de operación. Esto nos indica que una vez abonados todos los gastos generados por la construcción de la central, por un periodo de 20 años, sólo quedan los costos operativos, que son de alrededor de unos 3 céntimos/kWh, y la electricidad es más barata en comparación con la hidroeléctrica.

Tipos de generadores

Las centrales de energía de concentración solar térmica producen electricidad de manera similar a centrales térmicas convencionales: utilizan vapor para accionar una turbina. La diferencia es el origen de la energía, es decir la sustitución de combustibles fósiles por una directa radiación solar, que se convierte en vapor o gas a alta temperatura.

Para llevarse a cabo se requieren de cuatro elementos principales: un concentrador, un receptor, alguna forma de medio de transporte o almacenamiento, y conversión eléctrica. Son posibles muchos tipos de sistemas, como las combinaciones con otras tecnologías renovables y no renovables.

Hasta ahora las fuentes favorecidas son las centrales híbridas de energía solar y combustible fósil, estas instaladas en zonas de EEUU y el norte de África. Las centrales híbridas ayudan a producir un suministro de carga punta confiable, incluso en días donde la radiación solar es menor.

Sistemas de Concentradores Lineales de Fresnel (LFR)

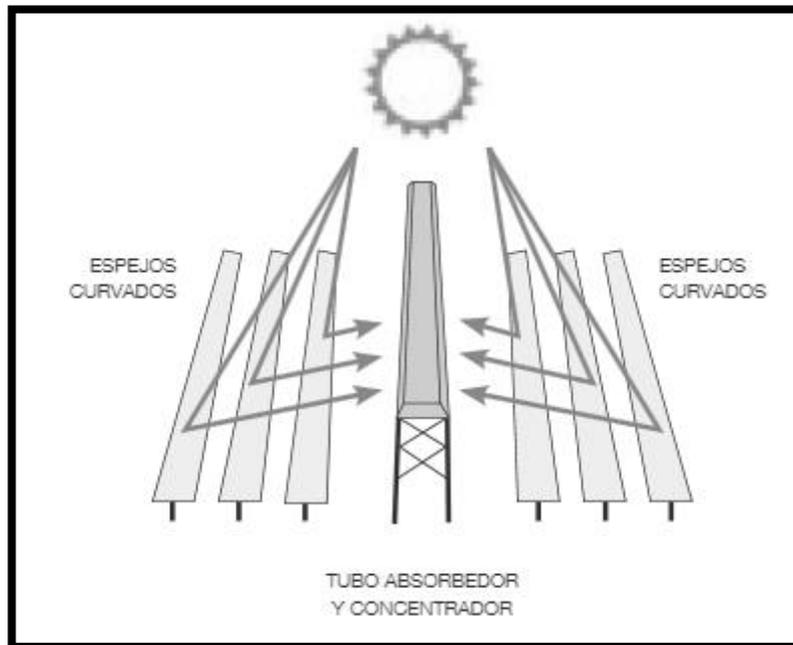


Fig. 4: Sistemas de concentradores Lineales de Fresnel

Formados por un conjunto de reflectores casi planos en donde se concentra la radiación solar, en receptores lineales invertidos elevados es en donde el agua fluye por los receptores convirtiéndose así en vapor. A este tipo de sistema se le denomina concentración lineal, casi similar a un canal parabólico, con la única ventaja del bajo costo en cuanto al soporte estructural, reflectores, y un receptor separado del sistema de reflectores, utilizando espejos planos.

Sistemas de Receptor Central o Torre Solar.

Un conjunto circular de heliostatos (grandes espejos con sistemas de seguimiento solar) concentra la luz solar en un receptor central montado sobre una torre. Un medio de transferencia térmica en este receptor central absorbe la radiación altamente concentrada reflejada por los heliostatos y la convierte en energía térmica que se utiliza para generar el vapor súper calentado para la turbina.

Hasta la fecha, los fluidos de transferencia térmica que se han desarrollado incluyen agua/vapor, sales fundidas y aire. Si se utiliza aire o gas a presión a temperaturas elevadas de 1000°C o más como medio de transferencia térmica, puede utilizarse para sustituir directamente al gas natural en una turbina de gas, lo que saca el máximo partido del magnífico ciclo (60% y más) de los ciclos combinados modernos de gas y vapor.

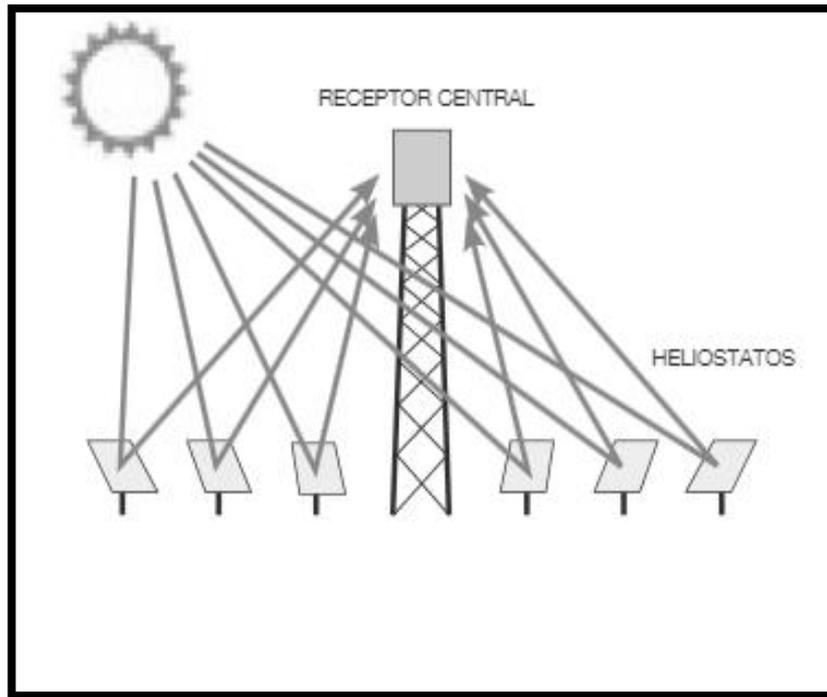


Fig. 5: Sistema de Receptor central o Torre Central

Sistemas de Disco Parabólico

Un reflector parabólico en forma de disco concentra los rayos solares en un receptor situado en el punto focal de un disco. La radiación de los rayos concentrados se absorbe en el receptor para calentar un fluido o gas (aire) a unos 750°C. Este fluido o gas se utiliza para generar electricidad en un pequeño pistón o motor Stirling o una micro turbina, conectada al receptor.

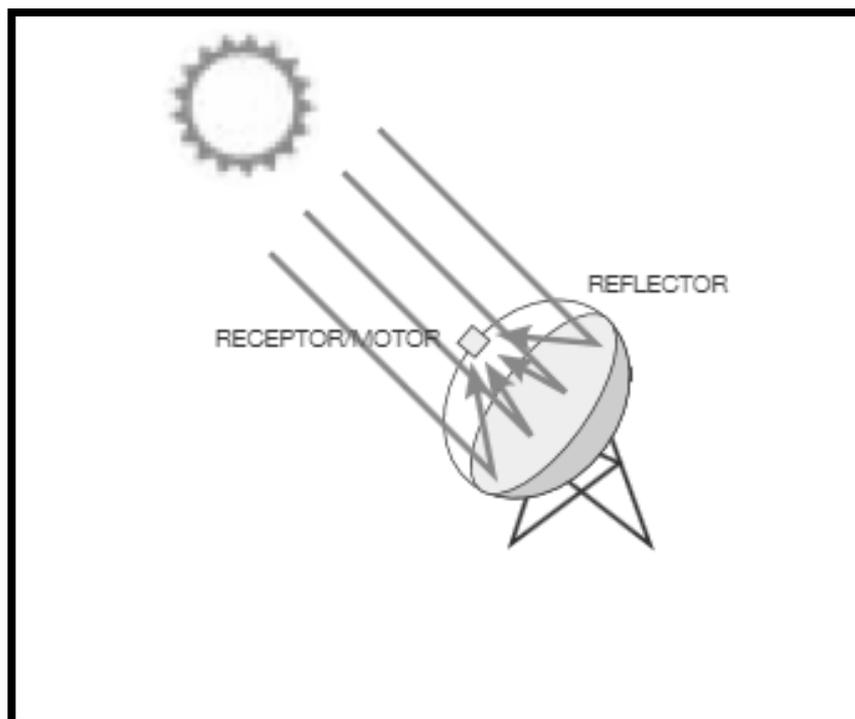


Fig. 6: Sistemas de Disco parabólico

Canales Parabólicos

Se utilizan reflectores de espejo en forma cilindro-parabólicos para concentrar la luz solar en tubos receptores térmicamente eficientes ubicados en la línea focal de la parábola. Los canales están diseñados para seguir el sol en un solo eje, de norte a sur. Se hace circular por esos tubos un fluido de transferencia térmica, como aceite térmico sintético.

El fluido se calienta a unos 400°C mediante los rayos solares concentrados y se bombea por una serie de intercambiadores térmicos para producir un vapor supe calentado, que se convierte en energía eléctrica en un generador de turbinas de vapor convencional que pueden formar parte de un ciclo de vapor convencional o integrarse en un ciclo combinado de turbinas de vapor y gas.

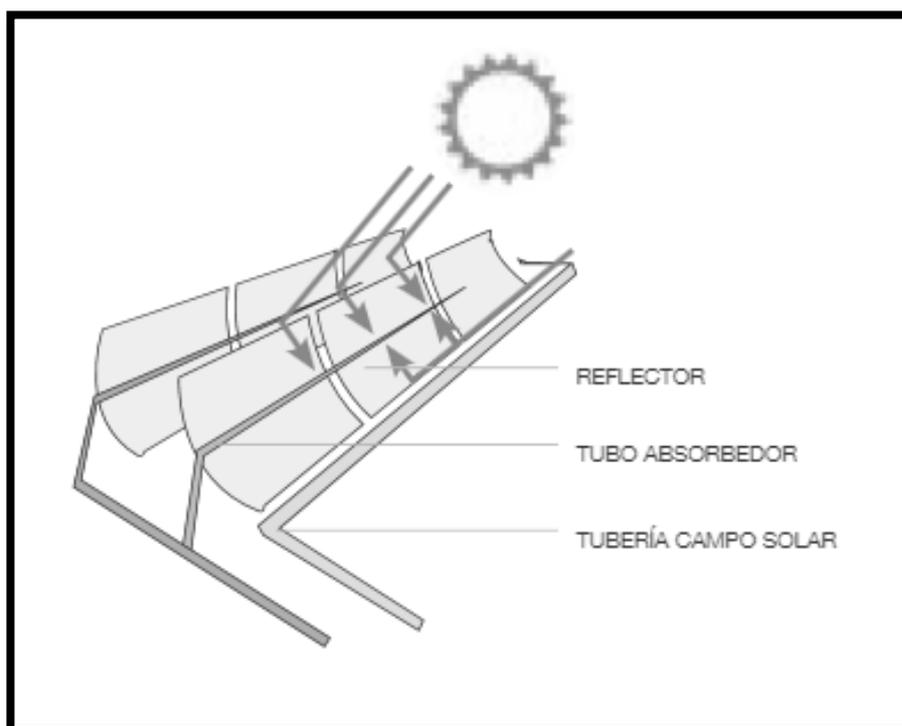


Fig. 7: Canales parabólicos

El costo de la electricidad generada con la tecnología de concentración solar térmica está disminuyendo, los científicos aseguran que es muy competitiva en cuanto a costos de generación térmica de centrales de gas. El principal factor que afecta al costo de la electricidad generada con esta tecnología son los recursos solares, la conexión a la red eléctrica y el costo del desarrollo de proyectos e infraestructuras locales.

Los costos energéticos pueden reducirse con el aumento del tamaño de las centrales, con una mayor competencia en el mercado y con los volúmenes de producción para componentes. Una acción por parte de los gobiernos es contribuir en abaratar los costos de la aplicación de condiciones de financiamiento preferencial e incentivos a la inversión.

Desde 2004, algunos incentivos estatales claves han contribuido al gran crecimiento de la energía solar térmica de concentración (ESTC), especialmente en instalaciones locales. En España, las primas aumentaron de manera que posibilitaron la financiación de los proyectos, y en un periodo de dos años se encontraba en proceso de desarrollo una potencia de más de 1.000 MW.

La sociedad de hoy en día se está dando cuenta de que la energía no es un bien que se pueda derrochar, desde siempre, la energía no ha faltado y por eso se pensaba que era una fuente inagotable. Este hecho, hace que se derroche creyendo en su abundancia, el actual panorama energético hace que se respire aire de baja calidad, que las aguas y tierras sean contaminadas con vertidos tóxicos, dando lugar al cambio climático y que la capa de ozono llegue al punto donde se imposibilite su recuperación.

Esta tecnología no contribuye al cambio climático y su fuente no se agotará nunca. La tecnología está ya lo suficientemente madura para crecer de manera exponencial en el “cinturón del sol” terrestre. Estos problemas piden que se cambie el sistema para llegar a compromiso de seguridad, respeto con el medio ambiente y sostenibilidad. El concepto más importante es el de la sostenibilidad. Todas las acciones de la sociedad deberían estar enfocadas a este aspecto.

Se debe preservar la herencia natural que desde siempre se ha recibido de nuestros antecesores para poder así dejársela igualmente a nuestros descendientes.

Dado que la causa del cambio climático es la quema de combustibles fósiles, necesitamos urgentemente una revolución energética que cambie el mix energético mundial por fuentes no contaminantes.

2.2 Sistema SCADA

SCADA Conceptos básicos

SCADA es un acrónimo por Supervisory Control And Data Acquisition (control y adquisición de datos de supervisión). Los sistemas SCADA utilizan la computadora y tecnologías de comunicación para automatizar el monitoreo y control de procesos industriales. Estos sistemas son partes integrales de la mayoría de los ambientes industriales complejos ya que pueden

recoger la información de una gran cantidad de fuentes muy rápidamente, y la presentan al usuario en una forma amigable.

Los sistemas SCADA mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Sistemas similares a SCADA son vistos rutinariamente en fábricas, plantas de tratamiento, etc. Éstos son llamados a menudo Sistemas de Control Distribuidos (DCS - Distributed Control Systems). Tienen funciones similares a los sistemas SCADA, pero las unidades de colección o de control de datos de campo se establecen generalmente dentro de un área confinada.

Las comunicaciones pueden ser vía una red de área local (LAN), y serán normalmente confiables y de alta velocidad. Un sistema DCS emplea generalmente cantidades significativas de control a lazo cerrado. Un sistema SCADA por otra parte, generalmente cubre áreas geográficas más grandes, y normalmente depende de una variedad de sistemas de comunicación menos confiables que una LAN.

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

La visión del operador en el proceso estaba basada en paneles llenos de indicadores. Mientras la tecnología se desarrollaba, las computadoras asumieron el papel de manejar la recolección de datos, disponiendo comandos de control, y una nueva función - presentación de la información sobre una pantalla. Las computadoras agregaron la capacidad de programar el sistema para realizar funciones de control más complejas.

Los primeros sistemas automatizados SCADA fueron altamente modificados con programas de aplicación específicos para atender a requisitos de algún proyecto particular. La mayoría de los sistemas SCADA que son instalados hoy en día se está convirtiendo en una parte integral de la estructura de generación de la información corporativa.

Estos sistemas ya no son vistos por la gerencia simplemente como herramientas operacionales, sino como un recurso importante de información. En este papel continúan sirviendo como centro de responsabilidad operacional, pero también proporcionan datos a los sistemas y usuarios fuera del ambiente del centro de control.

Cada uno de los elementos de SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de datos) involucran muchos subsistemas. Por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado.

Otra forma podría ser que una computadora realice la adquisición vía un hardware especializado y luego esa información la transmita hacia un equipo de radio vía su puerto serial. Así como estas existen muchas otras alternativas. Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el software SCADA.

En el software, el operador puede visualizar en la pantalla de la computadora cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de éste, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano. Toda la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc. Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

Generalmente se vincula el software al uso de una computadora o de un PLC, la acción de control es realizada por los controladores de campo, pero la comunicación del sistema con el operador es necesariamente vía computadora. Sin embargo el operador puede gobernar el proceso en un momento dado si es necesario.

Un software SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de las señales de la planta, que pueden ser guardados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre el CPU de la computadora.

Funciones principales de un sistema SCADA

- Supervisión remota de instalaciones y equipos: Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.
- Control remoto de instalaciones y equipos: Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual. Además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.
- Procesamiento de datos: El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.
- Visualización gráfica dinámica: El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.

- Generación de reportes: El sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.
- Representación de señales de alarma: A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.
- Almacenamiento de información histórica: Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.
- Programación de eventos: Esta se refiere a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.

Elementos en un sistema SCADA

Un sistema SCADA está conformado por: a) Interfaz Operador Máquinas: Es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta, también se le conoce por sus siglas en inglés HMI (Human Machine Interface).

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

c) Unidad Remota (RTU): Lo constituye todo elemento que envía algún tipo de información a la unidad central. Es parte del proceso productivo y necesariamente se encuentra ubicada en la planta.

d) Sistema de Comunicaciones: Se encarga de la transferencia de información del punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación.

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

Componentes de un sistema SCADA

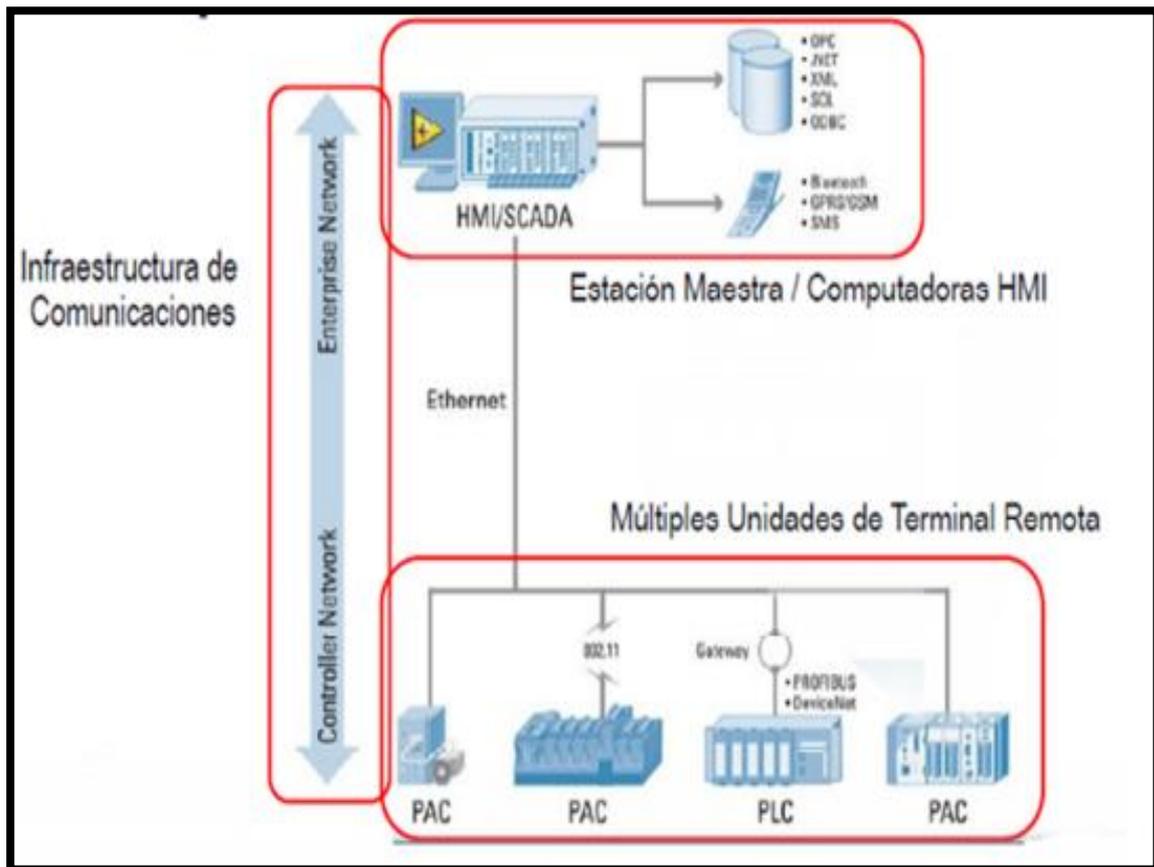


Fig. 8: Esquema de los elementos de un sistema SCADA

Introducción al ARDUINO

Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida.

Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, ATmega8 por su sencillez y bajo costo que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque (boot loader) que corre en la placa.

Desde octubre de 2012, Arduino se usa también con microcontroladoras CortexM3 de ARM de 32 bits, que coexistirán con las más limitadas, pero también económicas AVR de 8 bits. ARM y AVR no son plataformas compatibles a nivel binario, pero se pueden programar con el mismo IDE de Arduino y hacerse programas que compilen sin cambios en las dos plataformas. Eso sí, las microcontroladoras CortexM3 usan 3.3V, a diferencia de la mayoría de las placas con AVR que usan generalmente 5V.

Lenguaje de programación

LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

La plataforma Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el popular lenguaje de programación de alto nivel Processing. Sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones populares en Arduino, por ejemplo: Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, Matlab, Visual Basic.

Esto es posible debido a que Arduino se comunica mediante la transmisión de datos en formato serie que es algo que la mayoría de los lenguajes anteriormente citados soportan. Para los que no soportan el formato serie de forma nativa, es posible utilizar software intermediario que traduzca los mensajes enviados por ambas partes para permitir una comunicación fluida.

Es bastante interesante tener la posibilidad de interactuar Arduino mediante esta gran variedad de sistemas y lenguajes puesto que dependiendo de cuales sean las necesidades del problema a resolver se podrá aprovechar la gran compatibilidad de comunicación que ofrece. Arduino se puede utilizar también para desarrollar objetos interactivos. Las placas pueden montarse manualmente o adquirirse.

El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente. Al ser open-hardware, tanto su diseño como su distribución es libre. Es decir, puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia.

Para el desarrollo de la aplicación se utilizó un Arduino LEONARDO, ya que el ATMEGA32U4 ha incorporado en la comunicación USB, eliminando la necesidad de un procesador secundario. Esto permite que el Leonardo que aparece a un ordenador conectado como un ratón y un teclado, además de un puerto serie / COM virtual (CDC).

2.3 SCADA TCP/IP

ETHERNET Y PROTOCOLOS TCP/IPv4

Las redes están integradas por diversos componentes que trabajan juntos para crear un sistema funcional. Los componentes de red son fabricados por lo general por varias compañías, por lo que es necesario que exista entendimiento y comunicación entre los fabricantes en relación con la manera en que cada componente trabaja e interactúa con los demás componentes de la red.

Por esta razón se han creado estándares que definen la forma de conectar componentes de hardware y los protocolos de uso cuando se establecen comunicaciones. Los tres estándares más populares que se utilizan son: Ethernet, ARCnet y Token Ring. Ethernet y Token Ring son estándares respaldados por IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers); ARCnet es un estándar de ANSI (American National Standards Institute).

En términos de software, para la comunicación de computadoras también existen estándares; la tecnología ARPANET (Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada) incluye un grupo de estándares de red que especifican los detalles de cómo se comunican las computadoras, así como un grupo de reglas para interconectar redes y para rutear el tráfico de información, conocido de manera oficial como el grupo de protocolos Internet TCP/IP, pero llamado comúnmente TCP/IP.

Los protocolos TCP/IP se utilizan para establecer comunicación entre diferentes nodos en un entorno heterogéneo y definen los formatos y normas utilizados en la transmisión y recepción de información. En este capítulo hablaremos del estándar Ethernet y del conjunto de protocolos TCP/IP.

Ethernet

Ethernet, al que también se conoce como IEEE 802.3, es el estándar más popular para las LAN, usa el método de transmisión de datos llamado Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones (CSMA/CD). Antes de que un nodo envíe algún dato a través de una red Ethernet, primero escucha y se da cuenta si algún otro nodo está transfiriendo información; de no ser así, el nodo transferirá la información a través de la red.

Todos los otros nodos escucharán y el nodo seleccionado recibirá la información. En caso de que dos nodos traten de enviar datos por la red al mismo tiempo, cada nodo se dará cuenta de la colisión y esperará una cantidad de tiempo aleatoria antes de volver a hacer el envío. Cada paquete enviado contiene la dirección de la estación destino, la dirección de la estación de envío y una secuencia variable de bits que representa el mensaje transmitido.

El dato transmitido procede a 10 millones de bits por segundo y el paquete varía en una longitud de 64 a 1518 bytes, así el tiempo de transmisión de un paquete en la Ethernet está en un rango de 50 a 1200 microsegundos dependiendo de su longitud. La dirección de la estación de destino normalmente es referida por una única interfaz de red.

Cada estación recibe una copia de cada paquete, pero ignora los paquetes que son dirigidos a otras computadoras y procesa solamente los que son dirigidos a ella. Las velocidades de envío de paquetes utilizando la tecnología Ethernet son de 10 Mbps (Ethernet estándar), 100 Mbps (Fast Ethernet – 100BASEX) y de 1000 Mbps utilizando el Gigabit Ethernet cuya especificación se encuentra respaldada por la IEEE con número 802.3z.

Las redes Ethernet tienen un esquema de direccionamiento de 48 bits. A cada computadora conectada a una red Ethernet se le asigna un número único de 48 bits conocido como dirección Ethernet. Para asignar una dirección, los fabricantes de hardware de Ethernet adquieren bloques de direcciones Ethernet y las asignan en secuencia conforme fabrican el hardware de interfaz Ethernet, de esta manera no existen dos unidades de hardware de interfaz que tengan la misma dirección Ethernet.

Por lo general, las direcciones Ethernet se colocan en el hardware de interfaz anfitrión de las máquinas de tal forma que se puedan leer. Debido a que el direccionamiento Ethernet se da entre dispositivos de hardware, a estos se les llama direccionamientos o direcciones físicas. La trama de Ethernet es de una longitud variable pero no es menor a 64 bytes ni rebasa los 1518 bytes (encabezado, datos y CRC), cada trama contiene un campo con la información de la dirección de destino.

En la figura 1.1 se muestra una trama Ethernet. Además de la información que identifica la fuente y el destino, cada trama transmitida contiene un preámbulo, un campo tipo, un campo de datos y un campo para verificación por redundancia cíclica (CRC- Cyclic Redundancy Check). El preámbulo consiste en 64 bits que alternan ceros y unos para ayudar a la sincronización de los nodos de recepción.

El CRC de 32 bits ayuda a la interfaz a detectar los errores de transmisión: el emisor calcula el CRC como una función de los datos en la trama y el receptor calcula de nuevo el CRC para verificar que el paquete se reciba intacto.

Tabla 1: Formato de una trama (paquete) que viaja a través de Ethernet.

Dirección Preámbulo	Dirección Destino	Fuente	Tipo	Datos	CRC
8 bytes	6 bytes	6 bytes	2 bytes	46-1500 bytes	4 bytes

El campo de tipo de trama contiene un entero de 16 bits que identifica el tipo de dato que se está transfiriendo en la trama. Desde el punto de vista de Internet, este campo es esencial porque significa que las tramas se autoidentifican. Cuando una trama llega a una máquina dada, el sistema operativo utiliza el tipo de trama para determinar qué módulo de software de protocolos se utilizará para procesar la trama.

La mayor ventaja de que las tramas se auto identifiquen es que éstas permiten que múltiples protocolos se utilicen juntos en una sola máquina y sea posible entremezclar diferentes protocolos en una sola red física sin interferencia. Los protocolos TCP/IP utilizan tramas Ethernet auto identificable para hacer una selección entre varios protocolos.

Cuando se transmite un datagrama IP versión 4 el campo tipo de trama contiene el valor hexadecimal 0800 [77] y al transmitir un datagrama IP versión 6 el campo tiene el valor hexadecimal 86DD [80].

Protocolos TCP/IP. En forma general, el conjunto de protocolos TCP/IP tiene correspondencia con el modelo de comunicaciones de red definido por ISO (International Organization for Standardization), este modelo se denomina modelo de referencia de interconexión de sistemas abiertos (OSI). El modelo OSI describe un sistema ideal de redes que permite establecer una comunicación entre procesos de capas distintas y fáciles de identificar.

En el host, las capas prestan servicios a capas superiores y reciben servicios de capas inferiores. La figura 1.3 muestra las siete capas del modelo de referencia OSI y su correspondencia general con las capas del conjunto de protocolos TCP/IP y en la tabla 1.1 se enumeran los protocolos más comunes del conjunto de protocolos TCP/IP y los servicios que proporcionan.

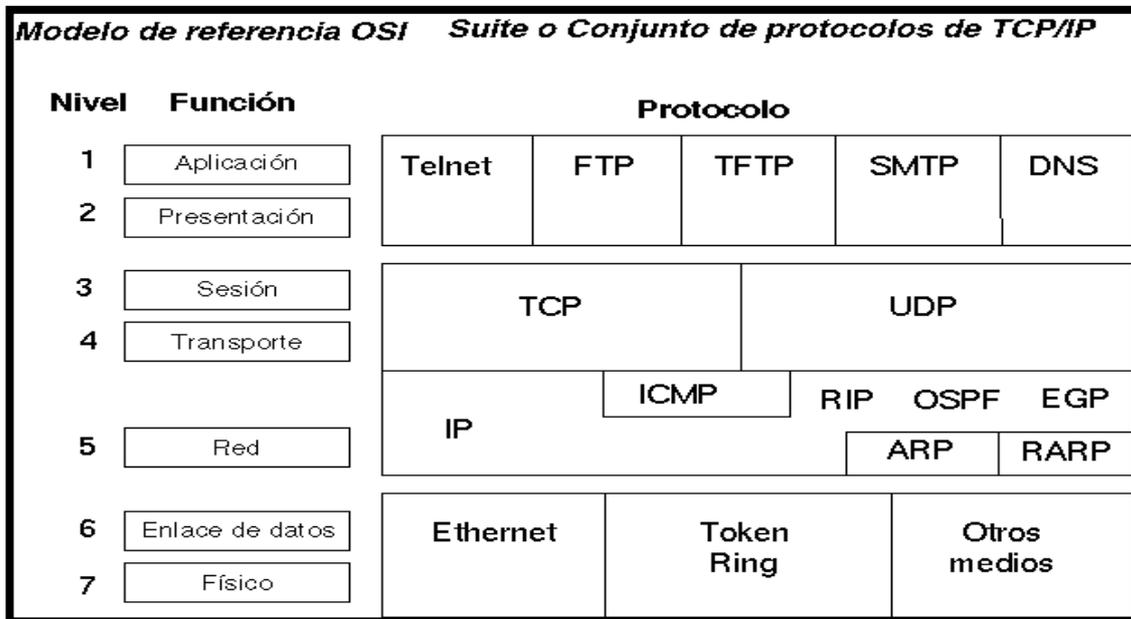


Fig. 9: Modelo de referencia OSI y las capas de TCP/IP correspondientes

Tabla 2: Protocolos más comunes de TCP/IP

Protocolo	Servicio
Protocolo Internet (IP)	Proporciona servicios para la entrega de paquetes entre nodos.
Protocolo de control de mensajes de Internet (ICMP).	Regula la transmisión de mensajes de error y control entre los hosts y los routers.
Protocolo de resolución de direcciones (ARP).	Asigna direcciones Internet a direcciones físicas.
Protocolo de resolución de direcciones por réplica (RARP).	Asigna direcciones físicas a direcciones Internet.
Protocolo de control de transmisión (TCP).	Proporciona servicios de envío de flujos fiables entre los clientes.
Protocolo de datagrama de usuario (UDP).	Proporciona servicio de entrega de datagramas no fiable entre clientes.
Protocolo de transferencia de archivos (FTP).	Proporciona servicios de nivel de aplicación para la transferencia de archivos.
TELNET	Proporciona un método de emulación de terminal.
Protocolo de información de encaminamiento (RIP)	Permite el intercambio de información de rutas de vectores de distancia entre routers.
Protocolo abrir la vía más corta primero (OSPF)	Permite el intercambio de información de rutas de estado del enlace entre routers.
Protocolo Gateway Externo (EGP)	Permite el intercambio de información de rutas Routers externos.

Encapsulado. Las aplicaciones que se desarrollan con TCP/IP, normalmente utilizan un conjunto de protocolos para llevar a cabo la comunicación. La suma de las capas de este conjunto de protocolos se conoce como stack de protocolo. De esta forma, cuando una aplicación envía datos usando el protocolo TCP, el dato es enviado hacia abajo del protocolo stack, a través de cada capa, hasta que este se envíe como un flujo de bits a través de la red.

Cada capa coloca información adicional al dato en su encabezado (y algunos añaden información para rastreo) para que el dato sea recibido. Los números abajo de los encabezados y del CRC en la trama Ethernet representan los tamaños típicos en bytes. Una propiedad física de una trama Ethernet es que la MTU (Maximum Transmisión Unit) por default es del tamaño de 1500 bytes por lo cual los paquetes IPv4 e IPv6 no exceden este tamaño.

Las aplicaciones que usan TCP se refieren a los datos como stream, mientras que las aplicaciones que usan el protocolo de datagrama de usuario (UDP) se refieren a los datos como mensajes. TCP llama a estos datos segmentos, y UDP llama a estos datos datagramas. La capa de Internet ve a todos estos datos como bloques y les llama datagramas TCP/IP usa diferentes tipos de redes para mandar sus datos.

Cada una de las cuales tienen diferentes tipos de términos para los datos que transmiten, en nuestro caso ocuparemos el término que utiliza Ethernet, la cual llama a los datos frame, trama o paquete. El proceso que utiliza una aplicación para transferir el contenido de un archivo es el siguiente: La capa de la aplicación envía un flujo de bytes a la capa de transporte de la computadora de origen.

La capa de transporte divide el flujo en segmentos TCP, asigna un encabezado con un número de secuencia al segmento y transmite este segmento a la capa de Internet (IP), y se calcula la suma de comprobación. La capa de IP crea un paquete con parte de los datos que contiene el segmento TCP. La capa de IP añade al paquete un encabezado que indica las direcciones IP de origen y de destino.

Esta capa también determina la dirección física de la computadora destino o las computadoras que actúan como intermediarios hasta el host destino. Entonces, envía el paquete y la dirección física a la capa de enlace de datos y se vuelve a calcular la suma de comprobación. La capa de enlace de datos transmite el paquete IP en la sección de datos de una trama de enlace de datos a la computadora destino.

Si la computadora destino actúa como intermediario, el paso 3 volverá a repetirse hasta que se alcance el destino final. Cuando se alcanza la computadora destino, la capa de enlace de datos descarta el encabezado del enlace y envía el paquete IP a la capa de IP. La capa de IP verifica el encabezado del paquete. Si la suma de comprobación del encabezado no coincide con la calculada por dicha capa, el paquete se ignora.

Si las sumas coinciden, la capa IP descarta el encabezado y envía el segmento TCP a la capa TCP correspondiente. Esta capa comprueba el número de secuencia para determinar si el segmento, es el segmento correcto de la secuencia. La capa TCP calcula una suma de comprobación para los datos y el encabezado TCP.

Si la suma no coincide con la suma transmitida con el encabezado, la capa TCP descarta el segmento. Si la suma coincide y el segmento está en la secuencia correcta, la capa TCP envía un reconocimiento a la computadora destino. La capa TCP descarta el encabezado TCP y transfiere los bytes del segmento que acaba de recibir a la aplicación.

La aplicación que se encuentra en la computadora destino recibe un flujo de bytes como si estuviera conectado directamente a la aplicación de la computadora origen. En las secciones siguientes se describe con mayor detalle el funcionamiento y el formato de cada uno de los protocolos que realizan estas operaciones interactivas.

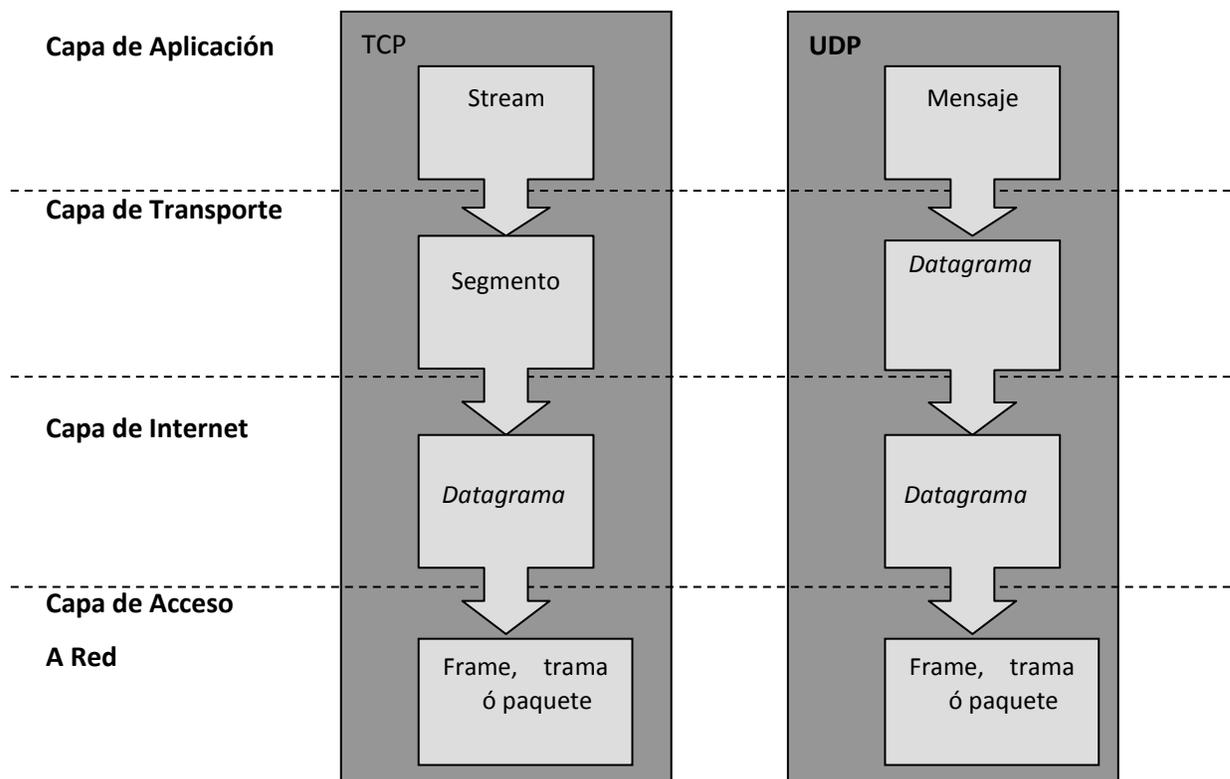


Figura. 10: Estructura de datos.

Protocolo Internet (IP versión 4)

En el conjunto de protocolos TCP/IP, todos los paquetes se entregan mediante el servicio de entrega de datagramas IP, aunque este servicio no garantiza la entrega, ya que carece de conexión por lo cual los paquetes se transmiten independientemente unos de otros y pueden dirigirse a lugares a los que no corresponden, duplicarse o perderse antes de llegar a su destino.

Las aplicaciones TCP/IP que utilizan este servicio de entrega de datagramas hacen un seguimiento del estado de la entrega esperando las respuestas desde el nodo destino o utilizando uno de los protocolos de capa de transporte del conjunto TCP/IP. IP define el formato que los paquetes deben tener y el modo de utilizarlos durante el envío y la recepción. El formato que toma el paquete se denomina datagrama IP.

Los datagramas IP son análogos a las tramas físicas que se transmiten en una red. Los datagramas tienen una sección de encabezado que incluye, entre otra información, las direcciones IP del receptor y emisor, y una sección de datos. El formato de un datagrama IPv4 se muestra en la figura 1.6. El tamaño normal de un encabezado IP es de 20 bytes, a menos que presente el campo de opciones.

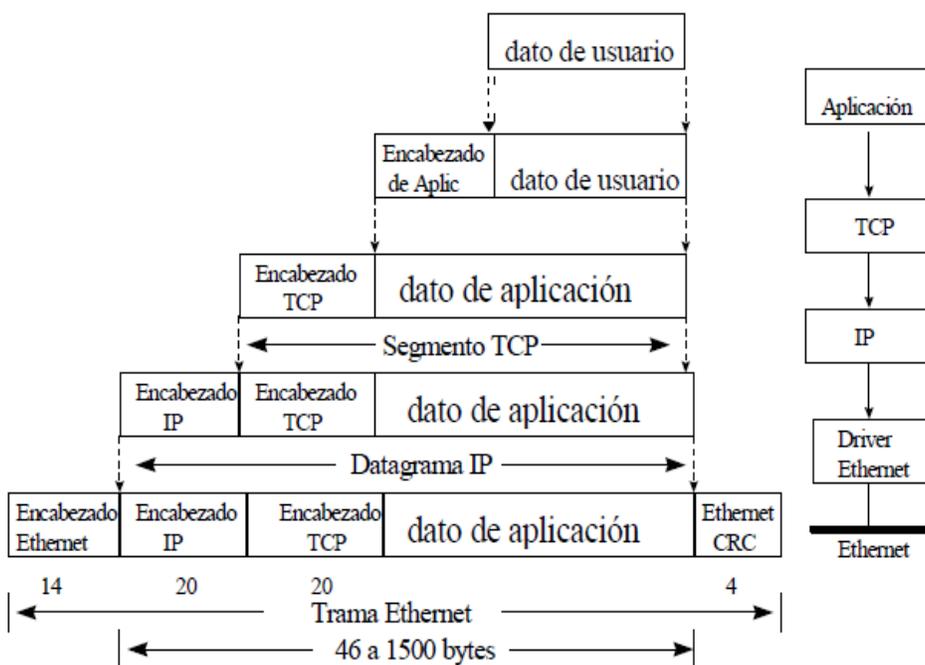


Fig. 11: Encapsulado de un dato.

Cuando un datagrama IP es enviado por la red, se encapsula en la porción de datos de la trama de la red física. En una red Ethernet, las tramas que transportan datagramas IP tienen un campo de tipo cuyo valor hexadecimal es 0800. Dado que la longitud de la trama de la red se define con independencia del protocolo IP, mediante requisitos técnicos de la red física, un datagrama IP puede no ajustarse a una trama de red.

Además, durante el camino que recorre hasta su destino, un datagrama puede pasar a través de diferentes tipos de redes con diferentes longitudes de trama de red. Por lo tanto, puede suceder que un router reciba datagramas IP demasiado extensos para reenviarlos a la siguiente red. Para solucionar este aspecto de la transmisión de paquetes, IP especifica un método para romper los datagramas en fragmentos, estos fragmentos vuelven a unirse cuando llegan a su destino final para reconstruir el datagrama por completo.

El protocolo IP realiza también una clase de detección de error haciendo una validación del encabezado del paquete y verificando que la longitud del paquete coincida con el valor especificado en el encabezado, también asegura que el paquete no se encuentre indefinidamente ciclado en una red tratando de alcanzar su destino. Esto lo realiza decrementando un contador de tiempo de vida en el encabezado, cada vez que el paquete pasa por una máquina de ruteo, y descarta el paquete una vez que este contador ha llegado a cero.

El protocolo IP manda un paquete especial de error a la fuente cada vez que se detecta alguno de estos errores y lo hace por medio del protocolo ICMP. Protocolo de control de mensaje Internet (ICMP). Otro elemento del conjunto de protocolos TCP/IP es el Protocolo de Control de Mensaje Internet (ICMP). Los paquetes ICMP contienen información sobre los errores originados en la red, tales como: nodos y routers fuera de servicio, congestión de paquetes en un router.

El software IP, y no la aplicación, interpreta los mensajes ICMP y realiza la acción apropiada con cada mensaje. Dado que estos mensajes pueden viajar a través de varias redes para alcanzar su destino, se encapsulan en la sección de datos de un datagrama IP, por lo que podemos decir que requieren dos niveles de encapsulación, es decir, el ICMP se encapsula en un datagrama IP, y este, en una trama Ethernet.

Aunque cada mensaje ICMP tiene su propio formato, todos comienzan con los mismos tres campos un campo TIPO que se utiliza para identificar el tipo de mensaje cuya longitud es de 8 bits, un campo CODIGO de 8 bits, que proporciona información adicional sobre el tipo de mensaje; y un campo suma de verificación de 16 bits, que se utiliza para asegurar la integridad de la información.

Protocolos de nivel de transporte

El nivel de transporte del conjunto de protocolos TCP/IP consta de dos protocolos: el Protocolo de datagramas de usuario (UDP) y el Protocolo de control de transmisión (TCP). El protocolo UDP proporciona un servicio de entrega sin conexión y poco fiable para

enviar y recibir mensajes y el protocolo TCP incorpora servicios de entrega fiable al servicio de entrega de datagramas IP.

Protocolo de datagrama de usuario (UDP)

UDP define un conjunto de destinos como los puertos del protocolo. Asimismo, el protocolo define dos tipos de puertos de protocolo: puertos conocidos y puertos asociados dinámicamente. En el caso de puertos conocidos, se reservan determinados números de puertos UDP para determinadas aplicaciones. Estos números se encuentran en el rango de 1 y 255, y se utilizan con aplicaciones específicas.

Todas las aplicaciones de UDP hacen uso de dichos números de la misma manera. En el caso de los puertos asociados dinámicamente, las aplicaciones que solicitan servicios a un proceso deben consultar el nodo para determinar el puerto utilizado por el proceso, y después poder enviar los datagramas UDP al puerto, que especifican el puerto desde el que se envió el mensaje, el puerto para el que se destina el mensaje, la longitud del mensaje y una suma de verificación UDP.

Protocolo de control de transmisión (TCP) Para las aplicaciones que deben enviar o recibir grandes volúmenes de datos, la entrega de datagramas no fiables puede convertirse en una carga. Del mismo modo que los datagramas UDP, los segmentos TCP se encapsulan en un datagrama IP. TCP guarda el flujo en el buffer y espera a que un datagrama de tamaño grande se llene de datos antes de enviarlo.

Este flujo se caracteriza por carecer de estructura, de ahí que tanto la aplicación emisora como la receptoratengan que llegar a un acuerdo sobre el contenido del mismo antes de iniciar la transmisión. El protocolo TCP usa una transmisión dúplex integral (full-duplex), es decir, que pueden enviarse dos flujos de datos simultáneamente en direcciones opuestas.

En consecuencia, la aplicación de destino puede enviar información de control o datos de vuelta a la aplicación emisora mientras ésta continúa enviando datos.El protocolo TCP asigna un número secuencial a cada segmento. La aplicación que se encuentra en el extremo receptor de la conexión, verifica los números de secuencia para asegurar que todos los segmentos se reciban y procesen en orden.

El receptor envía un reconocimiento al emisor indicando los segmentos recibidos. TCP permite que el emisor tenga varios segmentos pendientes antes de que el receptor envíe un reconocimiento. Cuando el nodo emisor recibe el reconocimiento, indica a la aplicación que los últimos datos se enviaron satisfactoriamente, si el nodo emisor no recibe el reconocimiento de un segmento en un período de tiempo determinado, volverá a retransmitir este segmento.

Tabla. 3: Bits del campo CODIGO en el encabezado TCP.

Bit (de izquierda a derecha)	Significado si el bit está puesto a 1
URG	El campo de apuntador de urgente es válido
ACK	El campo de acuse de recibo es válido
PSH	Este segmento solicita una operación push
RST	Inicio de la conexión
SYN	Sincroniza el número de secuencia
FIN	Final de la conexión.

2.4 Modbus

El MODBUS es un protocolo de comunicación serial basado en el modelo maestro/esclavo, a la fecha es un estándar de facto, es público, muy seguro, no requiere licencias y su implementación es relativamente fácil en dispositivos electrónicos esas son algunas de las razones por las que goza de muchísima aceptación, además de que tiene más de 30 años en la industria.

MODBUS sobre conexión. El protocolo MODBUS es un protocolo que usa líneas seriales, por lo que comúnmente se implementa sobre redes de comunicación RS-485, pero también sobre redes que usan la comunicación serial RS-232, incluso se puede implementar vía TCP/IP sobre una red Ethernet, en SDM se usa la implementación MODBUS sobre una red RS-485 como la que se vio en el artículo pasado.

Modos de Transmisión del MODBUS

Los modos de transmisión definen como se envían los paquetes de datos entre maestros y esclavos, el protocolo MODBUS define dos principales modos de transmisión: MODBUS RTU (Remote Terminal Unit). La comunicación entre dispositivos se realiza por medio de datos binarios. Esta es la opción más usada del protocolo.

MODBUS ASCII (American Standard Code for Information Interchange). La comunicación entre dispositivos se hace por medio de caracteres ASCII. Comunicación Maestro-Esclavo en MODBUS. El MODBUS siempre funciona con un maestro y uno o más esclavos, siendo el maestro quién controla en todo momento el inicio de la

comunicación con los esclavos, que según la especificación pueden ser hasta 247 en una misma red.

El esclavo por otro lado se limita a retornar los datos solicitados por el maestro, así de simple es la comunicación usando el MODBUS, el maestro envía los mensajes y el respectivo esclavo los responde. Cada esclavo debe tener una única dirección, así el maestro sabe con quién se debe comunicar. Vea la animación siguiente, observe cómo funciona él envió de mensajes entre el maestro y el esclavo tome en cuenta lo siguiente:

Cada esclavo tiene su propia dirección, que puede ir desde 1 hasta 247. El maestro siempre inicia la comunicación enviando un paquete de información bien estructurado a todos los esclavos, entre otras muchas cosas en la información se incluye el número del esclavo. El esclavo elegido responde, enviando lo que se le pide por medio también de un paquete de información bien estructurado.

Representación de datos en MODBUS. El protocolo MODBUS usa el concepto de tablas de datos para almacenar la información en un esclavo, una tabla de datos no es más que un bloque de memoria usado para almacenar datos en el esclavo, las tablas de datos que usa en MODBUS son cuatro y se muestran en la siguiente tabla:

Tabla. 4: Representación de Modbus

Dirección MODBUS	Dirección Usada en el protocolo	Nombre de la Tabla de Datos
1 - 9999	0000 - 9998	Output Coils (Lectura/escritura)
10001 - 19999	0000 - 9998	Inputs Contact (Lectura)
30000 - 39999	0000 - 9998	Inputs Registers (Lectura)
40001 - 49999	0000 - 9998	Holding Registers (Lectura/Escritura)

Observe que hay dos direcciones, una es usada para diferenciar entre las tablas de datos, la llamamos dirección MODBUS y la otra es la dirección usada en la comunicación entre el maestro y el esclavo, está es la dirección usada en la trama o paquetes de datos enviados entre maestros y esclavos, en otras lecciones se hablará más de estas direcciones para que queden más claros estos conceptos.

Por lo pronto solo entraremos en detalle sobre dos elementos del MODBUS, los coils y los registros Holding, Output Coils. En MODBUS un coil representa un valor booleano típicamente usado para representar una salida, solo hay dos estados para el coil el ON y el OFF. Por ejemplo la tarjeta de relevadores usa dos coils, para activar o desactivar precisamente dos relevadores.

El coil entonces, puede verse como una celda o un bloquecito de memoria que me permite almacenar el estado de un bit, que puede tener solo dos valores como se vio arriba, el ON o el OFF, o en lógica binaria, un 1 o un 0, o más cerca de la realidad física, tierra (0 Volts) y voltaje (5 Volts), como el lector quiera verlo, eso sí debe quedar claro que son solo dos valores por cada coil.

Hablemos de las direcciones, el coil según la tabla de datos puede tener una dirección MODBUS, la cual yo elijo y según la tabla anterior, puede ser entre 1 y 9999 valores, por simplicidad, se puede elegir el coil 1 y el coil 2 para, activar o desactivar, en nuestro caso, los relevadores de la tarjeta, pero por supuesto que yo puedo elegir el coil 9998 y coil 9999, si yo así lo quisiera, cualquier dirección en ese rango se puede usar sin ningún problema.

Observe la animación siguiente, muestra varias tarjetas de relevadores como esclavos y un registro electrónico como maestro, algunas anotaciones. En el intercambio de mensajes, ahora aparte de la dirección del esclavo se escribe que estado deseamos para el coil. Aunque la animación solo muestra los coil con el estado de ON, también se envía de la misma forma el estado OFF del coil cuando así se necesite.

Note como el esclavo responde a la petición del maestro, colocando el coil en el estado que se le pide, pero además regresa una trama de información al maestro, que prácticamente es

lo mismo que se le pidió. Sobra decir que la trama de información enviada por el maestro y la respuesta enviada por el esclavo, son números binarios como se verá en la siguiente lección.

Holding Registers. Los registros Holding, representan cantidades de 16 bits, se puede ver cada registro como un bloque o celda de memoria, que es capaz de almacenar números entre 0 y 65535. Las direcciones usadas para los registros holding inician en la dirección 40001, pero puede usarse cualquiera de las mencionadas en la tabla para los registros holding.

Estos registros son de lectura/escritura, es decir que el maestro puede hacer peticiones de información para leer el dato que está almacenado, o puede enviar peticiones para escribirle un valor al registro holding en el momento que se requiera.

Antes de ver como se forman exactamente las tramas de información que se envían entre maestros y esclavos en el protocolo MODBUS, cabe recordar algo que se mencionó en el anterior artículo, se dijo que el MODBUS se basaba en tablas de datos que se almacenan en el esclavo, de hecho enseguida se vuelve a reproducir la tabla de datos que maneja el MODBUS, pues la vamos a necesitar más adelante.

Tabla. 5: MODBUS

Dirección MODBUS	Dirección Usada en la trama de información.	Nombre de la Tabla de Datos
1 - 9999	0000 – 9998	Output Coils (Lectura/escritura)
10001 - 19999	0000 – 9998	Inputs Contact (Lectura)
30000 - 39999	0000 – 9998	Inputs Registers (Lectura)
40001 - 49999	0000 – 9998	Holding Registers (Lectura/Escritura)

Son cuatro las tablas de datos que maneja el esclavo, y para cada una de esas tablas se pueden realizar varias operaciones, por ejemplo para los “Output Coils”, se pueden realizar las siguientes operaciones: Leer el valor de un determinado “coil” “Escribir un valor a un “coil” “La primera operación, la de lectura, sirve para que el esclavo “vea”, qué valor tiene el “coil” (si es un 1 o un 0).

La segunda operación permite enviar un 0 o un 1 al coil elegido, para diferenciar entre estas operaciones se usa un código de función o un código de operación como se ve enseguida. Códigos de operación o de función en MODBUS. Exactamente el código de operación que usa MODBUS para diferenciar entre una operación y otra es un número de un solo byte.

Recuerde, este número indica al esclavo qué función o que operación tiene que hacer, enseguida se muestran los códigos de operación para cada una de las tablas de datos que maneja MODBUS y una pequeña descripción de lo que hace cada función.

Tabla 6: Output Coils

Código de operación	Acción	Descripción
01 (01 Hexadecimal)	Lectura de uno o más “coil’s”	Sirve para leer qué valor tiene el coil (un 1 o un 0)
05 (05 Hexadecimal)	Escritura de un solo “coil”	Sirve para enviar un uno o un cero al coil elegido
15 (0F Hexadecimal)	Escritura de múltiples “coil’s”	Envía unos o ceros a varios coil.

Tabla 7: Input Contact

Código de operación	Acción	Descripción
02 (02 Hex)	Lectura de los “Input Contact”	Lee los valores que tiene almacenado el o los “input contact”

Tabla 8: Input Register

Código de operación	Acción	Descripción
04 (04 Hex)	Lectura de los “Input Registers”	Lee los valores que tiene almacenado el o los “input register”

Tabla 9: Holding Registers

Código de operación	Acción	Descripción
03 (03 Hex)	Lectura de los holding	Lee qué valor tiene almacenado uno o varios Holding Registers
06 (06 Hex)	Escritura de un holding	Escribe un valor entre 0 65535 en un solo holding
16 (10 Hex)	Escritura de múltiples holding	Escribe un valor entre 0 65535 en varios holdings

Descripción de la trama de información enviada por el Maestro

A continuación se detalla exactamente la trama de información o paquete de datos que envía el maestro para que el esclavo realice alguna operación, se muestra incluso un ejemplo específico para que el lector vea con gran detalle la información que se envía entre maestros y esclavos.

Ejemplo #1. Lectura de un solo “coil” del esclavo. Supongamos que deseamos saber que trama de información tiene que enviar el maestro, para saber el valor que tiene, específicamente, el coil #5 en un esclavo cuya dirección es la #240. Primer Dato de la Trama: Numero de esclavo. El primer dato enviado en la trama de información MODBUS es la dirección o número del esclavo como se vio,

La información se envía a todos los esclavos, pero solo uno de ellos responde, justo al número de esclavo indicado en la trama, el número de esclavo es entonces un número entre 1 y 247, por lo que se requiere solo de un byte para almacenar ese dato. Para nuestro ejemplo si se desea enviar un dato al esclavo número 240, la trama de información inicia a formarse precisamente con el número de esclavo, que para nuestro caso es el número 240 (igual a F0 Hexadecimal).

Segundo Dato de la Trama: Código de operación o función MODBUS El segundo dato, es el código de operación visto arriba, por supuesto que también es un número de un solo byte, que como recordaremos, le indica al esclavo qué función o que operación tiene que hacer.

Para nuestro ejemplo, se pide conocer el valor del coil #5, esto es entonces una lectura de un solo coil, por tanto el código de operación es obviamente el 01 (Hex), como se vio en las tablas de arriba. Así pues la trama de información o paquete de datos MODBUS va formándose como se observa en la figura siguiente:

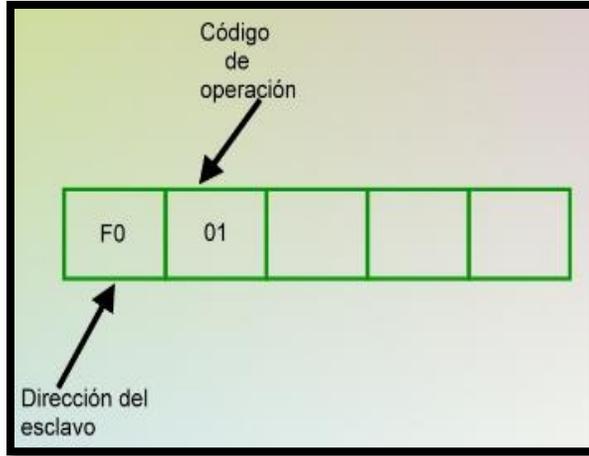


Fig. 11: MODBUS

Tercer Dato: Dirección del primer coil que se desea leer

El tercer dato para el código de función 01, es la dirección del coil que se desea leer, debe ser un número de 2 bytes, pues la dirección es un número entre 0 y 9998, para nuestro ejemplo, se desea leer el coil #5, pero, las direcciones de los coil inician en 0, recordemos esto reproduciendo una vez más la tabla de datos en la siguiente imagen, donde se marcan las direcciones usadas para la tabla de datos de los Output Coil.

Dirección MODBUS	Dirección Usada en la trama de información	Nombre de la información
1 - 9999	0000 - 9998	Output Coils
10001 - 19999	0000 - 9998	Inputs Contactos
30000 - 39999	0000 - 9998	Inputs Registers
40001 - 49999	0000 - 9998	Holding Registers

Fig. 12: Output Coil

La dirección MODBUS es el coil que se elige por el usuario, para nuestro ejemplo es el coil #5, pero la verdadera dirección que se usa en la trama está en la siguiente columna, que como se mencionó arriba es un número entre 0 y 9998, el lector debe observar que para el coil #1, le corresponde la dirección 0, esto implica que se debe restar una unidad para conocer la dirección absoluta que debe ir en la trama de información,

Así pues para nuestro ejemplo, el coil es el #5, entonces le corresponde la dirección 4, que en hexadecimal y para dos bytes es: 0004, siendo este número el que se debe enviar en la trama de información. Cuarto Dato: Número de coils a leer

El cuarto dato para el código de función 01, es el total de coils que se desean leer, la función 01, puede leer desde uno hasta el total de coils (9998) que puede haber, es por eso que debe ser un número de dos byte, para nuestro ejemplo, solo se pide el valor del coil #5, pero es posible saber con un solo paquete de información, el valor de múltiples coils, como se verá más adelante. Entonces para nuestro ejemplo, el número de coils a leer es 1, en formato a dos byte es: 0001. Entonces la trama de información va quedando así:

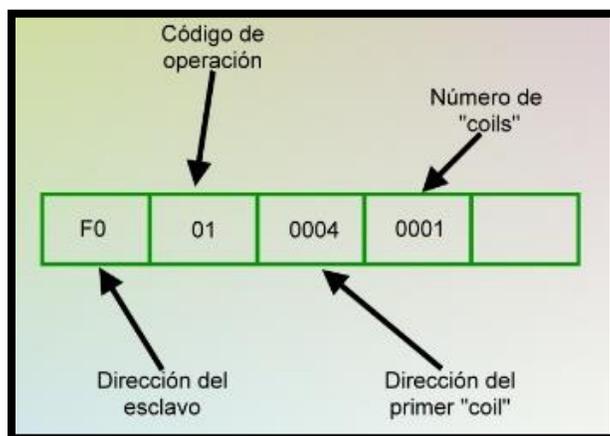


Fig. 13: Valor coils

Quinto Dato: Código de Detección de Error: CRCEl quinto y último dato es el CRC (Cyclic Redundancy Check, Comprobación de Redundancia cíclica) es un número de dos bytes que se usa para detectar errores, el maestro lo envía en su trama de información, y el esclavo lo calcula matemáticamente con los datos seriales que supuestamente llegaron al esclavo.

Si los datos llegaron correctamente el CRC calculado por el esclavo debe ser igual al CRC enviado por el maestro, si esto no es correcto existe un error de integridad de datos, por ende el esclavo no está recibiendo la información correcta. Esta es una de las ventajas del MODBUS pues utiliza esta detección de errores para comprobar que los datos recibidos sean los correctos. Para el caso nuestro ejemplo, le corresponde un CRC igual a A92A (hex).

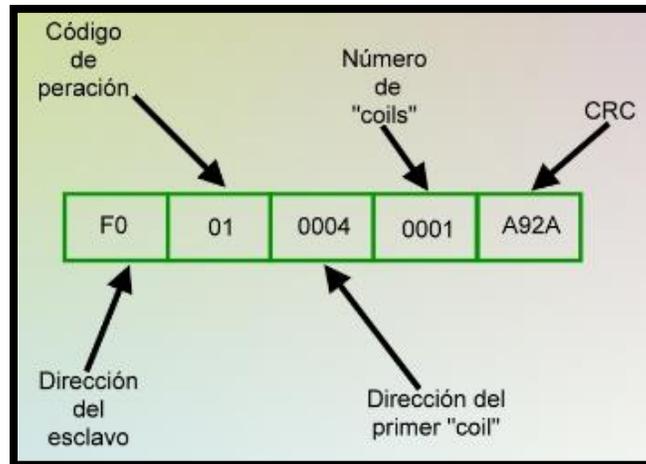


Fig. 14: MODBUS detección de errores

Respuesta del esclavo a la función "01" Cuando el maestro hace peticiones como las vistas en la sección anterior el esclavo debe responder, justo con la función que se le pide, que para el caso de la función 01, es el valor de los coils que se enviaron en la trama de información. Para el ejemplo que se está analizando, si se envía la petición que se muestra en la imagen anterior, el esclavo solo tiene dos opciones de respuesta.

Esto por que como recordará el lector, un coil solo tiene dos valores o es un 1 o es un 0, las imágenes siguientes nos muestran estas dos respuestas posibles. Pero la trama del esclavo inicia, como la que envía el maestro, con un byte para denotar el # de esclavo, otro para denotar el # de función y los demás bytes ahora si nos dan la respuesta pedida y termina con el código CRC también.

Respuesta del esclavo al maestro suponiendo que el coil es 0

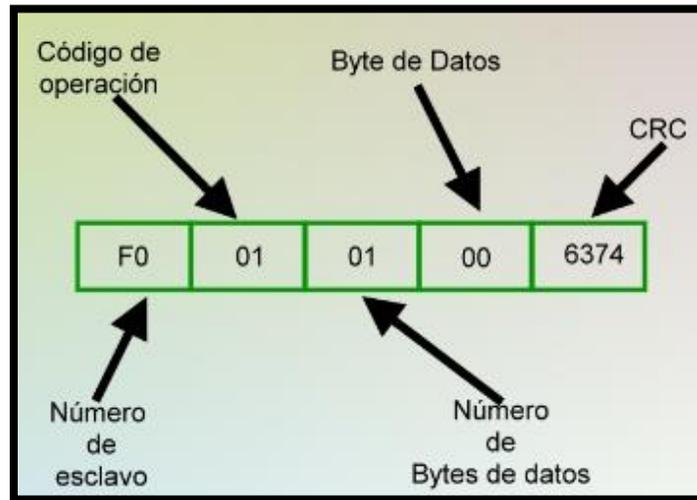


Fig. 15: maestro suspendido0

Respuesta del esclavo al maestro suponiendo que el coil es 1

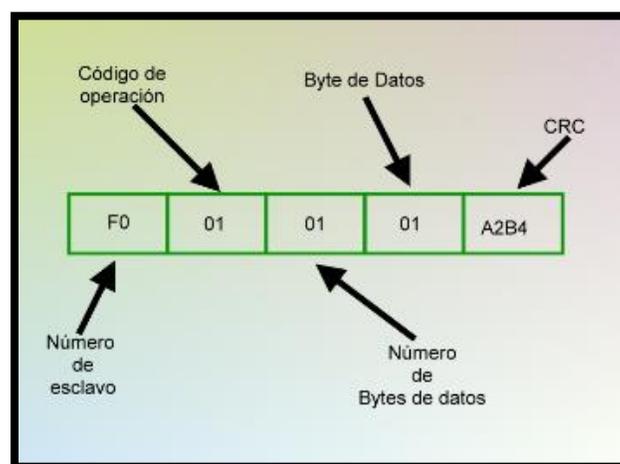


Fig. 16: maestro1

La respuesta prácticamente es igual, a excepción del byte de datos, donde se observa justo ahí el valor del coil, en un caso un 00 y en otro caso un 01, con esto basta para que el maestro conozca el valor del coil pedido.

Ejemplo #2. Lectura de varios "coil" del esclavo. La misma función "01", sirve para conocer el estado de uno o muchos coil, este ejemplo muestra la trama de información para leer el estado de varios coils. Supongamos ahora que deseamos saber que trama de información tiene que enviar el maestro, para saber el valor que tiene, específicamente, el coil #1, el #2, el #3, el #4, el #5, el #6, y el #7 en un esclavo cuya dirección es la #240.

Petición del maestro. La trama que de enviar el maestro es como la mostrada en la figura siguiente

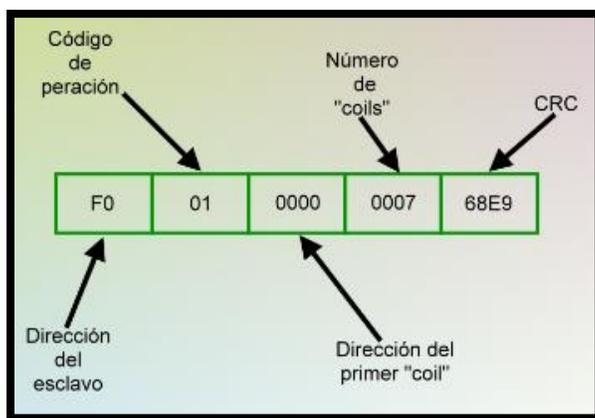


Fig. 17

El primer coil que se desea leer es el coil 1, por eso es que la dirección es la 0000, en total los coils a leer son 7 por es que el cuarto byte es: 0007. Respuesta del esclavo Uff para esta petición puede haber muchísimas respuestas, pues los esclavos pueden tener 0 o 1s, vamos a suponer algunos ejemplos específicos por facilidad.

Supongamos que el coil #1=0, #2=1, #3=0, #4=1, #5=0, #6=1, #7 =1, para este caso la respuesta del esclavo es como la mostrada en la imagen siguiente:

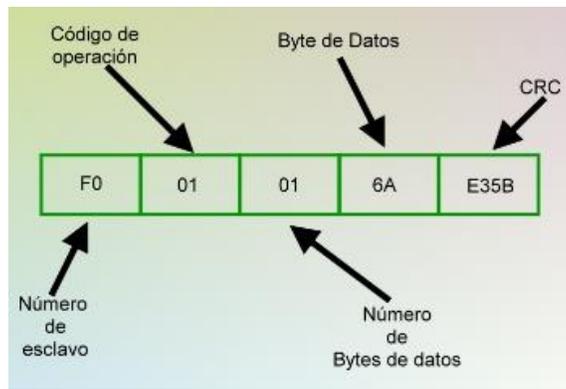


Fig. 18

Dos aspectos a destacar, el número de byte, sigue siendo un 1, esto debido a que con un byte puedo representar los 7 coils, si me hubieran pedido por ejemplo el estado de 15 coils, entonces ahí si el byte de datos seria 02, puesto que solo con dos byte de datos puedo mostrar el dato de 15 coil, por otro lado observe el byte de datos 6A, este valor es asi por que es el valor que se obtiene de la representación del estado de cada uno de los coils, más claro en esta imagen:



Fig. 19

3. Desarrollo

3.1 Descripción de los circuitos realizados

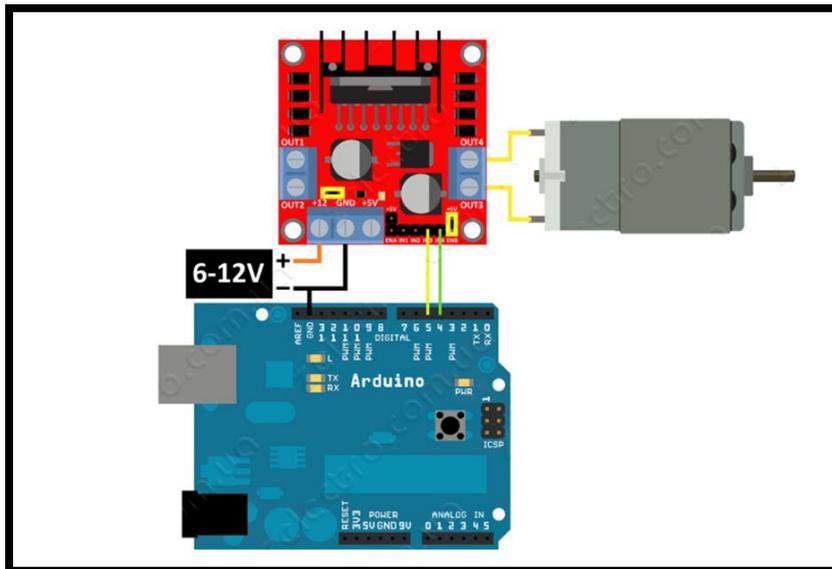


Fig. 20: circuito

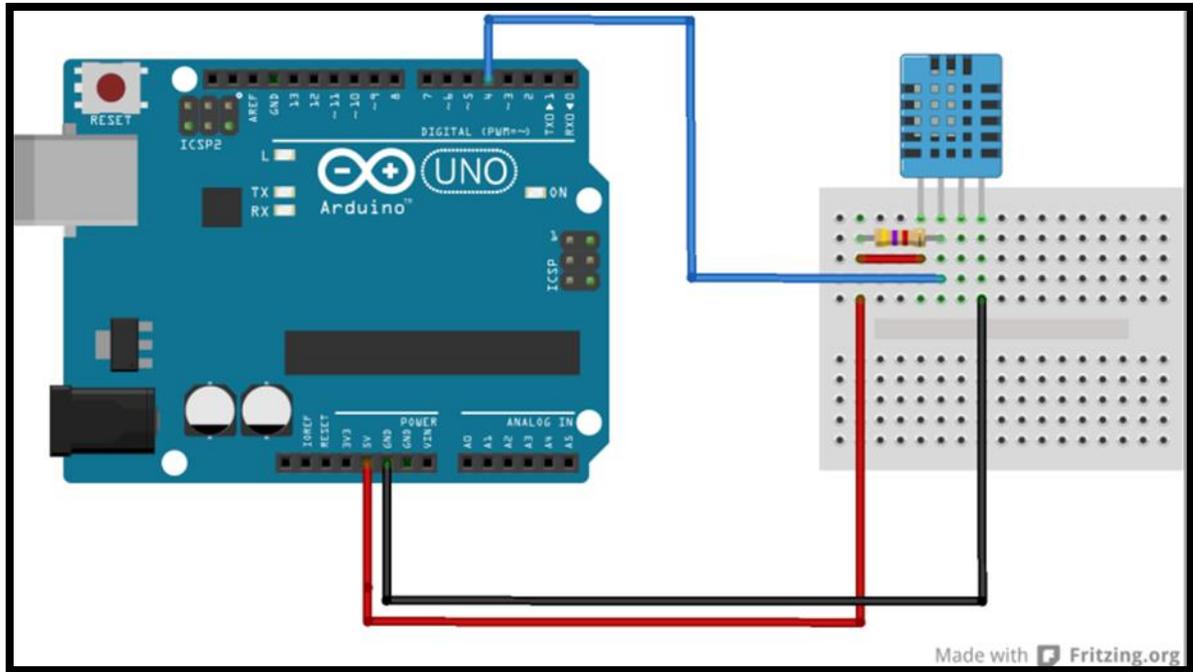


Fig. 21: circuito

3.2 Descripción de los programas realizados

```

const int ledPin = 3;
int ledPin1 = 4;
const int buttonPin = 2; // número del pin para el botón
int buttonState = 0; // estado del botón (0 ó LOW es apagado y 1 ó HIGH
es encendido)

int ledState = LOW; // ledState used to set the LED
long previousMillis = 0; // will store last time LED was updated

long intervalOn = 500; // medio segundo ON
long intervalOff = 5000; // cinco segundos OFF

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(ledPin1, OUTPUT);
  // Se identifica el pin 2 como entrada
  pinMode(buttonPin, INPUT);
}

void loop()
{
  // Leemos si el botón en pin2 está abierto o cerrado

```

```

buttonState = digitalRead(buttonPin);

// Si está siendo pulsado es HIGH
if (buttonState == LOW)
{
// Y el LED se enciende
digitalWrite(ledPin1, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(ledPin1, LOW);
delay(1000);
}

else{

unsigned long currentMillis = millis();
if (ledState == LOW) {
if(currentMillis - previousMillis > intervalOff) {
previousMillis = currentMillis;
ledState = HIGH;
}
} else {
if(currentMillis - previousMillis > intervalOn) {
previousMillis = currentMillis;
ledState = LOW;
}
}
digitalWrite(ledPin, ledState);
}
}

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>

#include "Mudbus.h"

//#define DEBUG

Mudbus Mb;

#include <dht.h>

dht DHT;

#define DHT11_PIN 7
void setup()
{
uint8_t mac[] = { 0x90, 0xA2, 0xDA, 0x00, 0x51, 0x06 };

```

```

uint8_t ip[]      = { 192, 168, 0, 8 };
uint8_t gateway[] = { 192, 168, 0, 1 };
uint8_t subnet[]  = { 255, 255, 255, 0 };
Ethernet.begin(mac, ip, gateway, subnet);

//Avoid pins 4,10,11,12,13 when using ethernet shield

delay(5000); //Time to open the terminal
Serial.begin(9600);

}

void loop()
{
Mb.Run(); // start MbTcp subroutine
Mb.R[0] = analogRead(A0);
Mb.R[1] = analogRead(A1);
Mb.R[2] = analogRead(A2);
Mb.R[3] = analogRead(A3);
Mb.R[4] = analogRead(A4);
Mb.R[5] = analogRead(A5);

// Digital OUT 2 (as Modbus Coil 1)

int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
int t= DHT.temperature;
int h=DHT.humidity;
Mb.R[6]=t;
Mb.R[7]=h;
delay(500);

#ifdef DEBUG

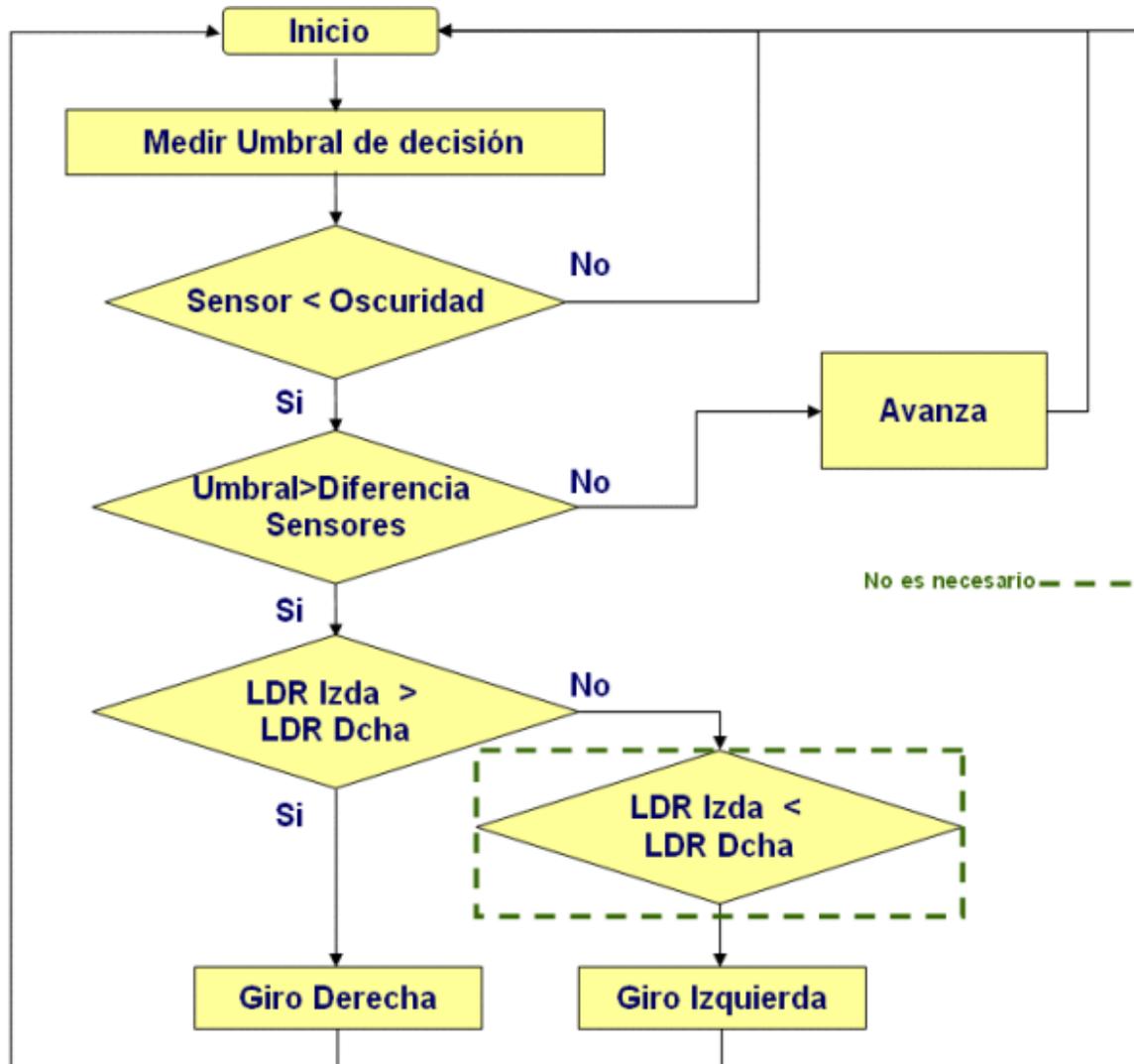
#endif

}

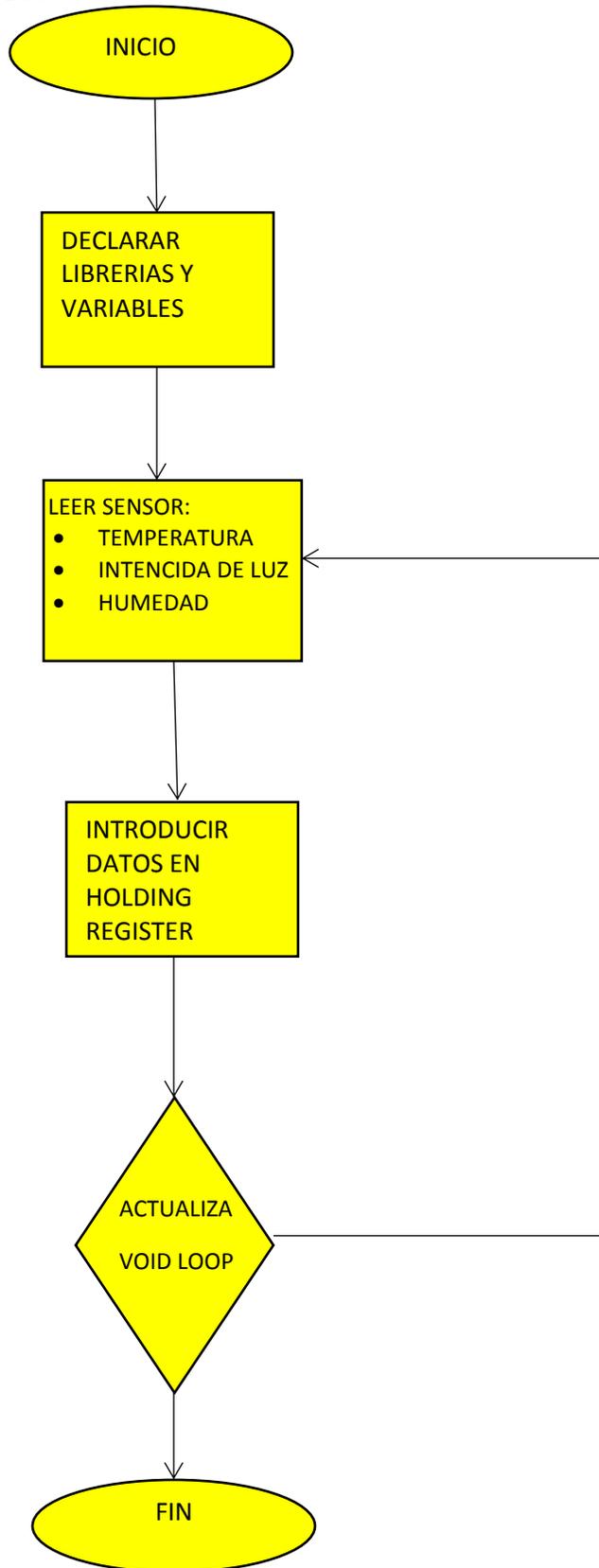
```

3.2.1 Diagramas de flujo de los programas utilizados

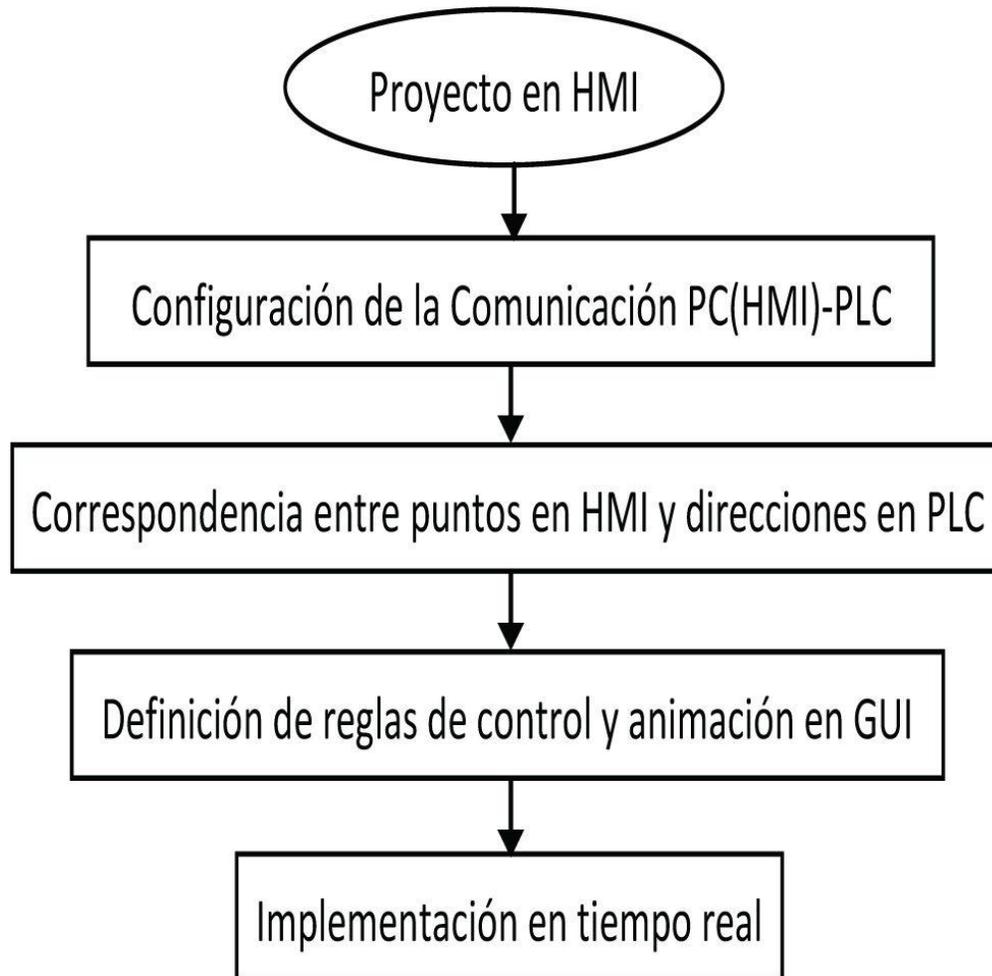
- Control de velocidad del motor



- ARDUINO-MODBUS



- Sistema SCADA



CODIGO FUENTE DEL SISTEMA “SCADA”

```

Public Class MainForm
  '*****
  '* Stop polling when the form is not visible in order to reduce communications
  '* Copy this section of code to every new form created
  '*****
  Private NotFirstShow As Boolean

  Private Sub Form_VisibleChanged(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Me.VisibleChanged
  '* Do not start comms on first show in case it was set to disable in design
mode
  If NotFirstShow Then
    AdvancedHMIDrivers.Utilities.StopComsOnHidden(components, Me)
  Else
    NotFirstShow = True
  End If

```

```

End Sub

'*****
'* .NET does not close hidden forms, so do it here
'* to make sure forms are disposed and drivers close
'*****
Private Sub MainForm_FormClosing(sender As Object, e As FormClosingEventArgs)
Handles Me.FormClosing
    Dim index As Integer
    While index < My.Application.OpenForms.Count
        If My.Application.OpenForms(index) IsNot Me Then
            My.Application.OpenForms(index).Close()
        End If
        index += 1
    End While
End Sub

Private Sub PictureBox1_Click(sender As Object, e As EventArgs)

End Sub
End Class

```

3.3 Descripción de las pruebas, correcciones y validación

En la siguiente (figura 22) no estábamos en la misma subred ya que no podíamos encontrar el hosts de destino.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\teresa>ping 192.168.0.8

Haciendo ping a 192.168.0.8 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.107: Host de destino inaccesible.

Estadísticas de ping para 192.168.0.8:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),

C:\Users\teresa>ping 192.168.0.8

Haciendo ping a 192.168.0.8 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.107: Host de destino inaccesible.

Estadísticas de ping para 192.168.0.8:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0

```

Fig. 22: CMD no había vinculación

En la siguiente (figura 23) se muestra la vinculación del ping que enviamos, el cual podemos localizar el hots de destino, ya estábamos en la misma subred.



```
Microsoft Windows [Versión 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\teresa>ping 192.168.0.8

Haciendo ping a 192.168.0.8 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.8: bytes=32 tiempo=4ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.8: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.8: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.8: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.0.8:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (<0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 4ms, Media = 1ms

C:\Users\teresa>_
```

Fig. 23: CMD vinculación

En esta (figura 24) ya accedimos al esclavo que en este caso es el arduino, pero no podemos leer datos, porque no encontramos los registros en que los guardamos que son los datos de procesos remotos que arroja el sistema SCADA.

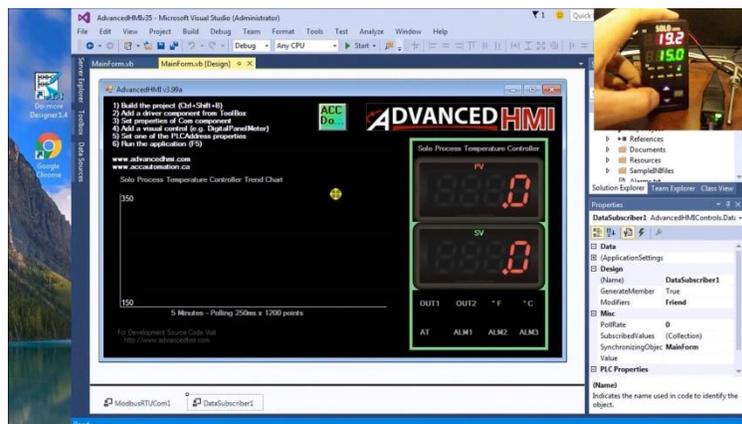


Fig. 24: Prueba de SCADA

En esta (figura 25) como podemos observar, logramos supervisar los datos de adquisición el cual nos arroja los siguientes resultados que se muestran a continuación.



Fig. 25: datos remotos arrojados

4. Resultados y Conclusiones

La conclusión de este proyecto basado en el prototipo implementado es que, el concentrador solar es una alternativa rentable, además de tener una inversión menor a las de otras fuentes renovables, nos brinda una buena eficiencia en la generación de energía eléctrica. Se ha logrado crear un sistema que tiene un comportamiento y en especial cumple con los objetivos planteados.

El sistema de control de movimiento tiene un óptimo funcionamiento basado en el tiempo que el sol se desplaza del oriente al poniente, siendo capaz de seguir en cualquier rango de tiempo teniendo así un seguimiento y monitoreo ideal.

Se han empleado componentes de bajo costo, empleados para controlar el dispositivo. En general tenemos altas expectativas del proyecto, basados en la práctica y los conocimientos empleados.

Además de implementar un sistema de monitoreo, que se obtiene por medio de un monitor, en algún lugar cerca del concentrador solar, lo podemos monitorear por medio de un dispositivo móvil, aprovechando una dirección IP. Diseñar un sistema de transmisión que conecte el seguidor diseñado con un teléfono móvil.

Referencias bibliográficas

[1] Adene Energy (2013). Promotion of tri-generation technologies in the tertiary institutions. No. 128, pp. 1-6.

<http://www.managenergy.net/download/nr128.pdf>

[2] Aktuator (2014). Sun tracking system - a device for orienting a solar panel or to hold a solar reflector or lens pointed at the sun, like heliostats.

http://www.aktuator.ru/Solar_Actuator/

[3] Pratik Arlikar 2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM) (2015)

<https://www.computer.org/csdl/proceedings/icstm/2015/9854/00/07225470-abs.html>

[4] Catarius, A. (2010). Azimuth-altitude dual axis solar tracker. Ph.D. thesis. [http://www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/](http://www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-121710-140419/unrestricted/Dual_Axis_Tracker_Final_Report.pdf)

[E-project-121710-140419/unrestricted/Dual_Axis_Tracker_Final_Report.pdf](http://www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-121710-140419/unrestricted/Dual_Axis_Tracker_Final_Report.pdf)

[5] Energizar (2014) Solar Tracker http://www.energizar.org.ar/energizar_desarrollo_tecnologico_seguidor_solar_que_es.html http://www.energizar.org.ar/energizar_desarrollo_tecnologico_seguidor_solar_como_funciona.html

http://www.energizar.org.ar/energizar_desarrollo_tecnologico_energia_solar.html

[6] Badea, N. and Voncila, I. (2012). Analysis by indicators performance of the conceptual structures mCCHP-SE using renewable energy sources. Journal of Energy and Power Engineering, vol. 6, pp. 1597–1604.

http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5628492

[7] Aaron Weiss (2010). Example Sketch for Arduino TinyGPS. Sparkfun electronics, USA, no. August, pp. 1-3.

https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Boards/gps_arduino_1_0.ino

[8] M. Hilmi Fadzil S., A. Khusairy Azim, M. Amir Abas, Samsudin A. Kadir, "Mejora de la estructura del seguidor solar control basado en microcontrolador", , Vol. 00, no. , Pp 55-59, 2010, doi:. 10.1109 / ACT.2010.28

<https://www.computer.org/csdl/proceedings/act/2010/4269/00/4269a055.pdf>

[9] Pratik Arlikar, Abhijit Bhowmik, Manoj Patil, Amruta Deshpande, "Tres seguidor solar dimensiones con disposición de sensor único", , Vol. 00, no. , Pp 509-513, 2015, doi:. 10.1109 / ICSTM.2015.7225470

<https://www.computer.org/csdl/proceedings/icstm/2015/9854/00/07225470.pdf>

Anexos

Esta programación nos sirve para controlar el movimiento del concentrador solar. Ya que esta programación es la parte fundamental en el proyecto.

```
const int ledPin = 3;
int ledPin1 = 4;
const int buttonPin = 2; // número del pin para el botón
int buttonState = 0; // estado del botón (0 ó LOW es apagado y 1 ó HIGH es encendido)

int ledState = LOW; // ledState used to set the LED
long previousMillis = 0; // will store last time LED was updated

long intervalOn = 500; // medio segundo ON
long intervalOff = 5000; // cinco segundos OFF

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(ledPin1, OUTPUT);
  // Se identifica el pin 2 como entrada
  pinMode(buttonPin, INPUT);
}

void loop()
{

  // Leemos si el botón en pin2 está abierto o cerrado
  buttonState = digitalRead(buttonPin);

  // Si está siendo pulsado es HIGH
  if (buttonState == LOW)
  {
```

```

// Y el LED se enciende
digitalWrite(ledPin1, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(ledPin1, LOW);
delay(1000);
}

else{

unsigned long currentMillis = millis();
if (ledState == LOW) {
if(currentMillis - previousMillis > intervalOff) {
previousMillis = currentMillis;
ledState = HIGH;
}
} else {
if(currentMillis - previousMillis > intervalOn) {
previousMillis = currentMillis;
ledState = LOW;
}
}
digitalWrite(ledPin, ledState);
}
}

```

Esta programación nos sirve para controlar el sistema SCADA, ya que el sistema SCADA. Es una aplicación de software diseñado con la finalidad de controlar y supervisar datos a distancia, los cuales se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos.

```

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>

#include "Mudbus.h"

//#define DEBUG

Mudbus Mb;

#include <dht.h>

dht DHT;

#define DHT11_PIN 7

```

```

void setup()
{
uint8_t mac[]      = { 0x90, 0xA2, 0xDA, 0x00, 0x51, 0x06 };
uint8_t ip[]       = { 192, 168, 0, 8 };
uint8_t gateway[] = { 192, 168, 0, 1 };
uint8_t subnet[]  = { 255, 255, 255, 0 };
Ethernet.begin(mac, ip, gateway, subnet);

//Avoid pins 4,10,11,12,13 when using ethernet shield

delay(5000); //Time to open the terminal
Serial.begin(9600);

}

void loop()
{
Mb.Run(); // start MbTcp subroutine
Mb.R[0] = analogRead(A0);
Mb.R[1] = analogRead(A1);
Mb.R[2] = analogRead(A2);
Mb.R[3] = analogRead(A3);
Mb.R[4] = analogRead(A4);
Mb.R[5] = analogRead(A5);

// Digital OUT 2 (as Modbus Coil 1)

int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
int t= DHT.temperature;
int h=DHT.humidity;
Mb.R[6]=t;
Mb.R[7]=h;
delay(500);

#ifdef DEBUG

#endif

}

```

Imágenes de concentrador solar

