



“Desarrollo de una guía metodología para el control y monitoreo de los parámetros energéticos de una instalación solar térmica de media temperatura”

Poaquiza Yumbolema, Luis Alfredo

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría en Energías Renovables

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Energías Renovables

Ing. Tobar Quevedo, Johanna Belen, Msc.

01 de agosto del 2019



Tesis completa Luis Poaquiza.pdf

Scanned on: 20:41 September 9, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	1105
Words with Minor Changes	471
Paraphrased Words	1200
Omitted Words	0



Printed and distributed by:
JOHANNA HELEN
TOBAR QUEVEDO



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: “Desarrollo de una guía metodología para el control y monitoreo de los parámetros energéticos de una instalación solar térmica de media temperatura.” fue realizado por el señor Poaquiza Yumbolema, Luis Alfredo, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 01 de agosto de 2019



elaborado digitalmente por:
JOHANNA BELEN
TOBAR QUEVEDO

ING. TOBAR QUEVEDO, JOHANNA BELEN MSC.
DIRECTOR
C.C.: 1717171241



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Responsabilidad de Autoría

Yo **Poaquiza Yumbolema, Luis Alfredo**, con cédula de ciudadanía n° 050228613-1, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Desarrollo de una guía metodología para el control y monitoreo de los parámetros energéticos de una instalación solar térmica de media temperatura."** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 01 de agosto de 2019

Poaquiza Yumbolema, Luis Alfredo

C.C.: 050228613-1



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Autorización de Publicación

Yo **Poaquiza Yumbolema, Luis Alfredo**, con cédula de ciudadanía n°050228613-1, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Desarrollo de una guía metodología para el control y monitoreo de los parámetros energéticos de una instalación solar térmica de media temperatura."** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 01 de agosto de 2019

Poaquiza Yumbolema, Luis Alfredo

C.C.: 050228613-1

Dedicatoria

Dedico este proyecto de tesis a mis Padres en especial a mi Madre, a mis Hijos, los cuales, con su cariño, comprensión ha hecho que culmine con este trabajo. A mis amigos, compañeros y profesores que siempre estuvieron pendientes y consientes del trabajo arduo que demandaba este objetivo.

Luis Alfredo Poaquiza Yumbolema

Agosto 2019

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios quien me ha llevado a culminar con éxito este proyecto, a mis padres con enseñarme en valor de conocimiento y la constancia para cumplir con mis objetivos profesionales.

Agradezco a mi director de tesis, al Ing. José Guasumba, a mis profesores, compañeros y amigos en especial a Jorge, y Paúl.

Luis Alfredo Poaquiza Yumbolema

Agosto 2019

Índice de contenido

Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Centro de Posgrados.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Resumen.....	18
Abstract	19
Capítulo 1. Generalidades	20
Antecedentes científicos	20
Definición del problema.....	21
Objetivos.....	22
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos	22
Alcance de la investigación	22
Justificación e importancia	23
Capítulo 2. Marco Teórico	25
Sistemas de concentración solar.....	25
Concentradores cilíndrico parabólicos	27
Tubo absorbedor.....	29
Intercambiador de calor	30
Acumuladores de energía térmica.....	32
Almacenamiento térmico utilizando sales fundidas	33
Variables de control	34
Sistemas de control y monitoreo scada.....	36
Sensores y transductores	36
Sistemas de control retroalimentado	44
Actuadores.....	47
SCADA.....	47
Base de datos.....	51
Controladores lógicos programables (PLC).....	52
Software.....	55
Metodologías de proyectos	60

Gestión de proyectos con enfoque tradicional.....	60
Gestión de proyectos con PRINCE 2	61
Gestión de proyectos con cadena crítica.....	62
Gestión de proyectos Agile	64
Gestión de proyectos (Ingeniería de conceptual, básica y detalle).....	65
Capítulo 3. Estado del Arte.....	68
Sistema de control CCP	68
Seguidor solar y posición de colectores	68
Instrumentos para control en los sistemas térmico CCP	75
Scada para CCP	81
La plataforma solar de Almería (PSA).....	81
Simulación CCP Universidad de Alcalá.....	85
La simulación del sistema solar RENOVETEC.....	88
Metodologías aplicadas a proyectos CCP	93
Metodología aplicada a centrales de 50 MW.....	93
Metodología aplicada a sistemas de concentración solar para la generación de vapor de agua.....	94
Metodología aplicada a tecnologías para desalinizar agua, por medio de energía solar térmica.....	95
Diseño de lineamientos metodológicos para la introducción de plantas de energía solar en la producción de energía eléctrica en Ecuador	97
Metodología para proyectos de automatización	101
Metodología proyectos de automatización (Ingeniería conceptual, básica y detalle).....	102
Metodología CAP para proyectos de automatización	103
Capítulo 4. Metodología de Control y Monitoreo	105
Descripción de la Metodología Completa	106
Factibilidad del proyecto.....	108
Desarrollo del alcance preliminar	108
Realizar el análisis de costo/beneficio.....	108
Realizar justificación	109
Definición del proyecto	110
Analizar soluciones técnicas	110
Diseño del sistema.....	110
Diseño de la planta y del campo solar.....	110
Diseño mecánico y estructural	111
Diseño del seguidor solar.....	111

Diseño del sistema de monitoreo y control.....	112
Desarrollar especificaciones de equipos.....	112
Determinación de parámetros críticos y medibles	113
Criterios de selección para instrumentación	114
Selección de instrumentación.....	117
Definir estructura de datos.....	121
Definir arquitectura de red	123
Desarrollar la descripción funcional	125
Realizar el diseño de detalle.....	126
Determinar software de desarrollo.....	134
Software e implementación	135
Instalación de software	135
Rslinx y configuración	136
RSLogix 500 y configuración.....	140
Instalación Soft_CCP v1.0	148
Instalación Microsoft Access 2007	149
Desarrollo de HMI	150
Desarrollo de base de datos	152
Desarrollo de la configuración de control y programa.....	154
Control del proceso.....	155
Programación de controlador lógico programable (PLC).....	157
Transferencia de datos	158
Rslinx OPC server.....	159
Algoritmo de envío de datos a Microsoft Access	160
Reportes.....	161
Desarrollo físico e implementación y pruebas	164
Ejecución obra civil	164
Construcción e instalación de estructura.....	165
Instalación de componentes y partes del campo solar	167
Instalación del seguidor solar	169
Instalación de dispositivos de campo	171
Escalamiento de dispositivos de campo.....	172
Soporte técnico y mantenibilidad.....	176
Desarrollo de plan de mantenimiento.....	176

Perfil de formación técnico	179
Documentación de lecciones aprendidas	179
Recomendación de repuestos.....	181
Desarrollo y seguimiento de un control de cambios	181
Control de cambios en PLC y HMI.....	182
Auditoría de software.....	184
Mejora continua	184
Capítulo 5. Ensayos del Sistema de Control y Monitoreo.....	186
Protocolo de pruebas	186
Campo solar	186
Seguidor solar.....	186
Monitoreo y control	187
Análisis del funcionamiento del sistema térmico.....	189
Funcionamiento del seguidor solar.....	189
Control y monitoreo proceso	191
Transferencia de datos, procesamiento y almacenamiento de parámetros.	193
Visualización de resultados a través del HMI	195
Capítulo 6. Análisis de resultados	198
Tabulación de datos obtenidos.....	198
Análisis estadístico de datos de temperatura y presión	206
Sistema solar en reposo (sin funcionar)	206
Sistema solar sin seguidor solar (Orientación manual).....	209
Sistema solar con seguidor solar (Orientación Automática).....	213
Análisis de costos	219
Capítulo 7. Conclusiones y Recomendaciones	222
Conclusiones	222
Recomendaciones	223
Bibliografías	209
Apéndice.....	229

Índice de tablas

Tabla 1. Relación entre temperaturas	38
Tabla 2. Rangos de medición del termómetro de vidrio con base en el fluido de trabajo.....	40
Tabla 3. Rangos de operación de termopares	42
Tabla 4. Condiciones climatológicas de Loja-La Argelia.....	98
Tabla 5. Caracterización de parámetros del Sistema CCP_ESPE	114
Tabla 6. Datos de temperatura de emplazamiento, parámetros de diseño.....	115
Tabla 7. Datos meteorológicos zona Sangolquí, obtenidos de la Nasa	116
Tabla 8. Ajuste de rango de trabajo de variables de proceso	118
Tabla 9. Selección de tipo de transmisor de temperatura.....	119
Tabla 10. Selección de tipo de transmisor de temperatura.....	120
Tabla 11. Detalle de entradas del controlador	127
Tabla 12. Detalle de salidas del controlador.....	128
Tabla 13. Detalle de señales analógicas	129
Tabla 14. Detalle de señales analógicas de temperatura	129
Tabla 15. Modelos y detalles de la familia Micrologix 1400	130
Tabla 16. Los tipos y respectivos rangos de temperaturas.....	132
Tabla 17. Criterios de selección software scada	134
Tabla 18. Selección software base de datos	135
Tabla 19. Datos almacenados en Microsoft Access	161
Tabla 20. Valores del módulo determinado a full escala	174
Tabla 21. Activos o partes del sistema se detallan en la siguiente tabla	177
Tabla 22. Plan de mantenimiento preventivo CCP_ESPE.....	178
Tabla 23. Repuestos recomendados.....	181
Tabla 24. Variables de proceso monitoreados	197
Tabla 25. Variables utilizadas en el soft_CCP_v1z c y referenciadas a las variables del PLC	197
Tabla 26. Valores de presión y temperatura del sistema para el 17 de septiembre del 2016 ..	199
Tabla 27. Valores de Presión y Temperatura del sistema para el 19 de septiembre del 2016.	201
Tabla 28. Valores de presión y temperatura del sistema para el 20 de septiembre 2016.....	205
Tabla 29. Análisis estadístico temperatura campo solar en reposo	209
Tabla 30. Análisis estadístico presión campo solar con orientación manual.....	211
Tabla 31. Análisis estadístico Temperatura campo solar con orientación manual	213

Tabla 32. Análisis estadístico presión campo solar	215
Tabla 33. Análisis estadístico temperatura campo solar	217
Tabla 34. Costos indirectos y administrativos.....	220
Tabla 35. Costo directo de materiales.....	220
Tabla 36. Costo directo de mano de obra	221
Tabla 37. Resumen de Costos.....	221

Índice de figuras

Figura 1. Concentración en torre central.....	26
Figura 3. Discos parabólicos con motor Stirling.....	26
Figura 4. Partes del concentrador cilíndrico parabólico.....	28
Figura 5. Tubo absorbedor para CCP.....	29
Figura 7. Esquema de un tubo absorbedor típico.....	30
Figura 8. Esquema de un sistema de CCP con su intercambiador de calor	31
Figura 9. Central termosolar con almacenamiento térmico (Andasol, España).....	33
Figura 10. Diagrama de bloques sistema CCPs modelo concentrado.....	35
Figura 11. Medidor de presión tipo bourdon.....	37
Figura 12. Medidor de presión tipo espiral helicoidal	37
Figura 13. Termómetro de vidrio	39
Figura 14. Termómetro bimetálico.....	40
Figura 15. Circuito Termopar.....	41
Figura 16. Pirheliómetro de primera clase Kipp-Zonen	43
Figura 17. Piranómetro Kipp-Zonen.....	44
Figura 18. Diagrama de control	44
Figura 19. Proceso de control en lazo cerrado	45
Figura 20. Sistema de control lazo abierto.....	46
Figura 21. Sistema de control lazo cerrado	47
Figura 22. Configuración de un sistema SCADA.....	48
Figura 23. Cuarto de Monitoreo y Control de un sistema SCADA	49

Figura 24. Sistema SCADA satec solar.....	50
Figura 25. Pantalla principal SQL server.....	51
Figura 26. Sistema SCADA integrado con base de datos.....	52
Figura 27. PLC Controllogix 5000, gama alta Allen Bradley	53
Figura 28. Componentes de un PLC.....	54
Figura 30. Software para la programación del Micrologix 1400	54
Figura 31. Software utilizado en un sistema SCADA	55
Figura 32. Logotipo Software desarrollo Monitoreo y Control.....	56
Figura 33. Pantalla ejemplo wonderware intouch	56
Figura 34. Diagrama de comunicación OPC server	57
Figura 35. Excel utilizado para visualizar reportes	58
Figura 36. Pantalla Principal Microsoft Access	59
Figura 37. Metodología de proyecto tradicional	61
Figura 38. Metodología de proyecto prince 2	62
Figura 40. Sistema de transmisor y posición del CCP	69
Figura 41. Diagrama de bloques para el control del colector solar	70
Figura 42. Tanque lado izquierdo control de posición por cantidad de agua	71
Figura 43. Control Proporcional.....	71
Figura 44. Comportamiento del concentrador solar utilizando un controlador proporcional.....	72
Figura 45. Control proporcional derivativo	73
Figura 46. Posición y velocidad angula del concentrador con un controlador proporcional derivativo	73
Figura 47. Control proporcional integral derivativo	74
Figura 48. Posición y velocidad angular del concentrador solar con un control PID	74
Figura 49. Esquema simplificado de la instalación experimental para fluidos innovadores	75
Figura 50. Esquema de la instalación de ensayo de captadores solares cilindro parabólicos Lazo HTF.....	76
Figura 51. Plano conjunto del colector cilíndrico parabólico	78
Figura 52. Instalación de caja de control.....	79
Figura 53. Captadores cilíndricos parabólicos CIEMAT	82
Figura 54. Control y Monitoreo con el Sistema SCADA.....	83
Figura 55. HMI SCADA.....	84

Figura 56. Sistema de control phoenix contact	84
Figura 57. Pantalla principal de colectores	85
Figura 58. El gradiente térmico en los cuatro colectores.....	87
Figura 59. Tanque de sal para almacenamiento.....	87
Figura 60. Esquema general de la simulación en visu +	88
Figura 61. Scada recogida de datos para operación de la planta.....	89
Figura 62. Scada simulación campo solar	91
Figura 63. Scada simulación intercambio de temperatura (HTF).....	92
Figura 64. Scada simulación ciclo de vapor	93
Figura 65. Esquema de la metodología a seguir	96
Figura 66. Esquema de la metodología Ingeniería de Proyectos	103
Figura 67. Esquema de la metodología CAP	104
Figura 68. Esquema de la metodología para Sistemas Solares CCP.....	107
Figura 69. Esquema sistema Solar CCP_ESPE.....	111
Figura 70. Sistema CCP_ESPE instalado.....	112
Figura 71. Estructura base de datos CCP.....	122
Figura 72. Jerarquía de comunicación Scada	124
Figura 73. Arquitectura Centralizada Sistema de Control – Scada.....	124
Figura 74. Selección de tipo de señal de entrada.....	131
Figura 75. Cableado para transmisor de 2 hilos	131
Figura 76. Diagrama de conexión sensor al módulo + sensor de Junta fría	133
Figura 77. Diagrama de bloques Módulo 1762-IT4	133
Figura 78. Instalación de Rslinx Classic.....	136
Figura 79. Configurar driver o dispositivo.....	137
Figura 80. Opciones de configuración Ethernet IP	138
Figura 81. Selección de opción de configuración Ethernet devices.....	138
Figura 82. Configurar IP para la conexión PLC- RSlogix500.....	139
Figura 83. Conexión CCP ejecutándose	140
Figura 84. Configuración del PLC Micrologix en Rslinx.....	140
Figura 85. Instalación de RSLogix 500.....	141
Figura 86. FConfiguración de modelo del PLC Micrologix 1400	142
Figura 87. Configuración de IP red Lan.....	142

Figura 88. Configuración módulos analógicos	143
Figura 89. Descargar configuración a PLC Micrologix 1400	143
Figura 90. Cargar configuración del PLC Micrologix hacia RSLogix 500	144
Figura 91. Micrologix 1400 en línea configurado el controlador y canales de comunicación...	145
Figura 92. Configuración de canal 1 cargado desde el PLC hacia RSLogix 500	145
Figura 93. Configuración de módulos analógicos IF4 y IT4	146
Figura 94. Configuración de módulo 1762-IF4	147
Figura 95. Configuración de módulo 1762-IT4	147
Figura 96. Pantalla de desarrollo Soft_CCP	148
Figura 97. Pantalla principal de Soft_CCP	149
Figura 98. Pantalla Principal Microsoft Access	149
Figura 99. Pantalla principal CCP en Visual Basic 6.0	150
Figura 100. Enlace de Visual Basic con Rslinx	151
Figura 101. Generar archivo ejecutable	152
Figura 102. Creación de la tabla en la Base de Datos.....	153
Figura 103. Configuración de variables en la tabla de datos	153
Figura 104. Tabla creada y lista para almacenar datos.....	154
Figura 105. Estructura de subrutinas Control y Monitoreo CCP	157
Figura 106. Pantalla Rslinx Classic Gateway para configurar DDE/OPC.....	159
Figura 107. Creación de nueva conexión con CCP_ESPE.....	159
Figura 108. Script aplicación que se ejecuta en runtime	160
Figura 109. Selección de base de datos y de tabla de datos	163
Figura 110. Datos exportados desde Microsoft Access hacia Excel	164
Figura 111. Encofrado de madera para relleno con lastre	165
Figura 112. Secado de hormigón de los bordillos.....	165
Figura 113. Estructura base totalmente ensamblada.....	166
Figura 114. Soldadura de platinas y refuerzos de la estructura parábola	166
Figura 115. Soldado de la parte trasera del colector con el matrimonio	167
Figura 116. Sujeción de los acoples de grilón.....	167
Figura 118. Instalación de accesorios	168
Figura 120. Tubo de cobre sobre el tubo de vidrio	168
Figura 122. Equipo Moto reductor con 4 etapas de reducción acoplado.....	169

Figura 123. Avistamiento lateral del Seguidor con la ubicación de los sensores colocados	170
Figura 124. Diagrama de Control del PLC	171
Figura 125. Termocupla instalada en la línea de proceso.....	171
Figura 126. Transmisión de presión Tuck	172
Figura 128. Configuración de canal analógico	173
Figura 129. Configuración función de escalamiento	174
Figura 130. Configuración y adquisición de valores de temperatura.....	175
Figura 131. Configuración módulo de termocupla 1762-IT4.....	175
Figura 132. Formato Lecciones Aprendidas	180
Figura 133. Rung control bomba de aceite sistema solar	183
Figura 134. Pantalla Principal del sistema de monitoreo de Parámetros	195
Figura 135. Pantalla principal del seguidor solar	196
Figura 136. Parámetros de temperatura y presión del ingreso del campo solar	196
Figura 137. Datos SQL Server donde reposan los valores del TSV y el tiempo del sistema	198
Figura 138. Temperatura Absorbedor vs Campo solar en reposo.....	207
Figura 139. Temperatura tanque de agua vs tanque de aceite en reposo.....	208
Figura 140. Presión de entrada y salida campo solar	210
Figura 141. Temperatura y Presión ingreso campo solar.....	210
Figura 142. Temperatura absorbedor vs campo solar con orientación manual.....	211
Figura 143. Temperatura tanque de agua vs tanque de aceite con orientación manual.....	212
Figura 144. Presión de entrada y salida campo solar con seguidor solar	214
Figura 145. Temperatura vs presión ingreso campo solar con seguidor solar	215
Figura 146. Temperatura vs presión ingreso campo solar con seguidor solar	216
Figura 147. Temperatura vs presión ingreso campo solar con seguidor solar	217
Figura 148. Análisis temperatura tubo absorbedor.....	218

Resumen

La propuesta metodológica se basa en la ingeniería conceptual, básica, y detalle, en conjunto con el modelo CAP (Proyectos ISA) especificada para proyectos de Automatización y Control. Del modelo CAP se toma aspectos representativos aplicados a la automatización y monitoreo para CCP. Además, se integra la metodología tradicional con sus 5 etapas: Inicio, Planificación, Ejecución, Evaluación y Cierre. La metodología se aplicó a sistemas implementados y nuevos proyectos, considerándolos desde el diseño hasta el soporte técnico. Además, la metodología enfoca con mayor detalle las etapas del monitoreo y control del CCP_ESPE. Las etapas de factibilidad y otras que conforman la metodología completa son incluidas con su respectiva referencia bibliografía, así también fragmentos de investigaciones realizadas sobre el prototipo. Los parámetros energéticos de un lazo cerrado en un sistema solar con CCP son la temperatura y presión, y alcanza su máxima eficiencia con la ayuda de un seguidor solar. La tecnología CCP es un colector cilíndrico que concentra la radiación directa del sol y es transformada en calor. Existe una transferencia de calor hacia el aceite térmico al pasar por los tubos absorbedores, y esta energía calorífica es transportada hacia un Caldero acuatubular y el objetivo es calentar el agua dentro del mismo.

Palabras clave: metodología, radiación solar, automatización SCADA.

Abstract

The methodological proposal is based on conceptual, basic, and detailed engineering, in conjunction with the CAP (ISA Projects) model specified for Automation and Control projects. The CAP model takes representative aspects applied to automation and monitoring for CCP. In addition, the traditional methodology is integrated with its 5 stages: Start, Planning, Execution, Evaluation and Closing. The methodology was applied to implemented systems and new projects, considering them from design to technical support. In addition, the methodology focuses on greater detail the stages of monitoring and control of CCP_ESPE. The feasibility stages and others that make up the complete methodology are included with their respective bibliography reference, as well as fragments of research carried out on the prototype. The energy parameters of a closed loop in a solar system with CCP are temperature and pressure, and it reaches its maximum efficiency with the help of a solar tracker. CCP technology is a cylindrical collector that concentrates direct radiation from the sun and is transformed into heat. There is a transfer of heat to the thermal oil as it passes through the absorber tubes, and this heat energy is transported to a water tube boiler and the objective is to heat the water inside it.

Key words: methodology, solar radiation, SCADA automation.

Capítulo 1.

Generalidades

Antecedentes científicos

En 1912, Frank Shuman, reconocido empresario estadounidense y pionero en el ámbito solar, construyó una de las primeras plantas solares que permitió suministrar de energía a una bomba de irrigación en El Cairo.

La compañía Sun Power Co, desarrollo y construyó hileras de cilindros parabólicos que reflejan la energía del sol a través de tubos llenos de agua, rodeados de vidrio. Este es un sistema de similares características a las celdas solares modernas, donde el agua en las tuberías se convierte en vapor que impulsa las bombas. La planta de Schumann fue probada, pero antes de que entrara en funcionamiento estalló la Primera Guerra Mundial. La fábrica fue destruida durante los combates en el norte de África. Los sistemas en uso o en desarrollo se basan en el trabajo de estos pioneros solares.

Para continuar con el desarrollo más eficiente de los sistemas solares térmicos se ha integrado sistemas automáticos para su control y monitoreo, para lo cual se ha utilizado todo su potencial, teniendo información importante como eficiencias, calidad de energía, y variables que engloban el funcionamiento del sistema solar térmico.

En los últimos años la instrumentación y control ha evolucionado de forma significativa, lo que ha permitido obtener un registro de variables simples, complejas y eficientes. “A tal efecto, el uso adecuado de las fuentes alternativas de energía requiere del conocimiento de los recursos disponibles y, tomando en cuenta la energía solar, se debe registrar el comportamiento de las variables físicas, tales como: radiación solar global, temperatura, dirección y velocidad del viento”

(Borja D.R.M., González G. R., 1999). Por esta razón, es imperativo contar con un sistema que permita rastrear estas variables con mayor precisión y que tenga la flexibilidad de registrar activos en cualquier parte del mundo.

El desarrollo de metodologías para proyectos de alta y media temperatura se basa exclusivamente en el PMI (Project Management Institute). En los diferentes proyectos a nivel general, esta metodología se utiliza algunas fases y características, dependiendo el origen del proyecto, su complejidad y el alcance de los mismos.

Definición del problema

La energía que emite el sol en la zona ecuatorial, llega en diferentes ángulos de la tierra, y depende principalmente de la hora del día, época del año y de la situación geográfica (Costa, Sierra u Oriente), por esta razón el monitoreo de las variables del sistema térmico es importante para obtener el comportamiento energético en la media diaria y mensual.

Aun no se ha desarrollado una metodología sólida aplicada a sistemas térmicos de media temperatura basada en tecnología de Colectores Cilíndricos Parabólicos (CCP). Las investigaciones actuales se basan en la metodología de proyectos PMI (PMBOK) pero no se enfocan en las características particulares de parámetros solares.

El desarrollo de nuevas tecnologías solar térmico requiere de datos para su análisis estadístico, al realizar la adquisición de forma manual se pierde confiabilidad y la continuidad de

los datos porque al depender del recurso humano se limita a horas, porcentaje de error y condiciones climáticas. Lo que hace indispensable integrar sistemas automáticos de control aplicados a la tecnología térmico solar basado en CCP.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una propuesta de metodología para el control y monitoreo de los parámetros energéticos de un sistema térmico de media temperatura implementado en la Universidad de la Fuerzas Armadas - ESPE.

Objetivos específicos

Analizar las diferentes etapas del proceso para la implementación de un proyecto térmico solar.

Desarrollar una propuesta de metodología enfocada en el control y monitoreo de un sistema térmico de media temperatura CCP.

Determinar los parámetros mínimos para monitoreo y control del sistema CCP (Colector Concéntrico Parabólico).

Realizar el análisis estadístico de los parámetros energéticos de la central solar térmica instalada como prototipo.

Alcance de la investigación

La Investigación se enfoca en desarrollar una guía metodológica para la implementación de una planta solar térmica de media temperatura basada en la tecnología de CCP implementada en la Universidad de la Fuerzas Armadas - ESPE, considerando los parámetros fundamentales y procesos que implica generar un proyecto de este tipo. El estudio no profundizará en los parámetros que componen la fase de estudio de factibilidad y lanzamiento del proyecto, pero brindará un resumen de este desarrollo.

El enfoque principal estará en las fases detalladas de desarrollo e implementación de los sistemas de control y monitoreo del sistema CCP_ESPE, incluidas las fases de soporte técnico y mantenimiento.

Con el desarrollo de esta investigación también se propone determinar los parámetros energéticos relacionados con temperatura y presión para realizar el análisis del comportamiento durante un periodo de tiempo que puede ser en media diaria mensual. Además, generación de históricos de variables para el desarrollo y mejoramiento de tecnologías para el máximo aprovechamiento de la energía solar térmica o fotovoltaica.

Justificación e importancia

El incremento de los precios en las fuentes de energías no renovables (Petróleo, gas, entre otras) en los últimos años, y especialmente con el cambio de la matriz energética en el país, ha llevado a varios países y entre ellos a Ecuador a reflexionar sobre la necesidad de crear suministros energéticos independientes o renovables. Por tal motivo, es necesario desarrollar estudios técnicos en temas relacionados a energías alternativas como parte del aporte al medio ambiente y así reducir el calentamiento global.

La energía solar es considerada como renovable y poco explotada en el país debido a la falta de tecnología o equipos que pueda servir para la investigación, así como la creación de nuevas tecnologías en este campo. La parte fundamental es la información que se puede obtener del sistema térmico de media temperatura para su estudio y la mejora continua del mismo.

Además, esta investigación permitirá obtener información de campo de temperaturas en la central térmica, y poder determinar características técnicas para el emplazamiento donde se encuentra ubicado y funcionando el sistema térmico, esto se debe a todas aquellas condiciones climatológicas que no son favorables como el caso de días nublados, lluvias, entre otras.

Para Ecuador y la Universidad de la Fuerzas Armadas - ESPE que apoya a la investigación solar, es importante tener una guía metodológica para el desarrollo de futuros proyectos solares térmica de media temperatura. Este documento permitirá detallar los pasos necesarios para la implementación completa del proyecto solar térmico tomando como referencia el prototipo.

Capítulo 2.

Marco Teórico

En el presente capítulo, se introducen conceptos básicos de la energía solar y de los tipos de sistemas termosolares que se han desarrollado hasta la actualidad, así también se menciona sus diferentes partes que conforman el sistema de media temperatura.

Adicional, se hace una breve introducción de los modelos o metodologías que son reconocidos para el desarrollo de proyectos en general, así como también los conceptos para la implementación del modelo del control y monitoreo de una central termosolar de media temperatura basada en Colectores cilíndricos parabólicos (CCP).

Sistemas de concentración solar

La energía emitida por el sol es conocida como radiación solar, esta se trasmite a través del espacio mediante ondas electromagnéticas en todas las direcciones, además, su transmisión es de manera directa y difusa.

La radiación solar que alcanza el límite exterior de la atmósfera es de 1400 w/m^2 . En la superficie de la tierra, en latitudes bajas y en lugares con mucha luz solar ("transparencia" atmosférica), pueden llegar a algo más de 1000 w/m^2 .al mediodía.

Figura 1

Concentración en torre central



Nota: (Sanchez Toril, 2013)

Figura 2

Colectores cilíndricos – parabólicos.



Nota: (Sanchez Toril, 2013)

Figura 3

Discos parabólicos con motor Stirling.



Nota: (Sanchez Toril, 2013)

Esta densidad de energía permite el uso térmico de energía solar de baja temperatura, como colectores solares de panel plano o cultivo de interior. La radiación solar concentrada es necesaria cuando se requieren temperaturas moderadas (superiores a 150°C) y altas (hasta varios miles de grados) (Fundación Unida, 2016).

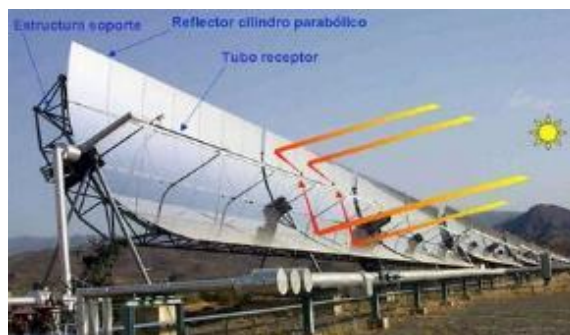
Deben utilizarse concentradores de radiación solar para concentrar la radiación y lograr una mayor intensidad por unidad de área misma que se logra mediante superficies reflectantes parabólicas como se muestran en las figuras anteriores. De los cuales el más complejo es el que tiene seguimiento continuo del sol por su sistema electromecánico y electrónico para posicionar exactamente en las coordenadas de mayor intensidad de radiación. De acuerdo al punto de vista tecnológico se ha determinado 3 tipos de concentradores solares.

(Salgado Conrado, 2010, p. 2)

- Concentrador Cilíndrico Parabólico (CCP).
- Concentrador de Receptor Central (CRS).
- Discos Parabólicos o paraboloides de revolución (DP).

Concentradores cilíndrico parabólicos

Los cilindros parabólicos (PCC) son recolectores de concentración solar de concentración que convierten la radiación solar directa en energía térmica que calienta el fluido de trabajo. Por su parte el concentrador cilindro parabólico (CCP) que refleja la radiación solar directa sobre la línea focal de la parábola, en la que se sitúa el receptor: el tubo absorbedor. El CCP se presenta como un concentrador cilindro parabólico, mismo que refleja la radiación solar directamente sobre la línea focal de la parábola donde se encuentra el receptor (tubo absorbedor).

Figura 4*Partes del concentrador cilíndrico parabólico*

Nota: (Sanchez Toril, 2013)

Estructuralmente, este colector lo componen cuatro elementos fundamentales:

- Su cimentación y estructura soporte.
- Tubo receptor o absorbedor.
- El reflector cilíndrico parabólico.
- Seguidor solar (Medieta Cruz, 2007, págs. 7-8)

El sistema de cilindros parabólicos presenta las siguientes ventajas (Haas, 2010):

- Posibilita la cogeneración (permite obtener energía eléctrica y energía térmica útil al mismo tiempo)
- 21% de eficiencia del ciclo completo.
- Capacidad de almacenamiento de energía y de hibridación con biomasa y con centrales de ciclo combinado.
- Disponible comercialmente.

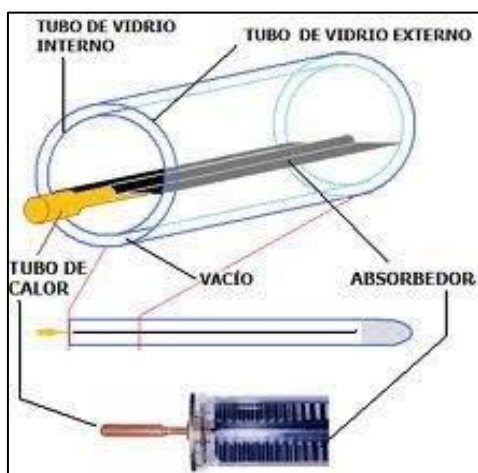
Por otra parte, las desventajas del sistema son principalmente la moderada temperatura de operación (menor a 400 °C) limitado principalmente por el fluido y el bajo factor de concentración asociado a una geometría en 2D.

Tubo absorbedor

Un CCP o receptor lineal de tubos de absorción es un elemento que convierte la radiación solar concentrada en energía térmica transmitida por un fluido calefactor. Está ubicado en la línea focal del CCP siendo uno de los elementos esenciales debido a que afecta en gran medida el rendimiento general del colector. Consiste en un tubo, que está formado por otros dos tubos concéntricos: el primero es uno interior elaborado de metal por el que circula el fluido calefactor, y el segundo por su parte, es de vidrio, situado en el exterior. El tubo metálico tiene un recubrimiento selectivo de alta absorción (94%) y baja emisividad (15%) en el espectro infrarrojo (Balado Leal, 2011, pp. 20-21).

Figura 5

Tubo absorbedor para CCP



Nota: (Balado Leal, 2011)

Figura 6

Tubo absorbedor Siemens UVAC2010



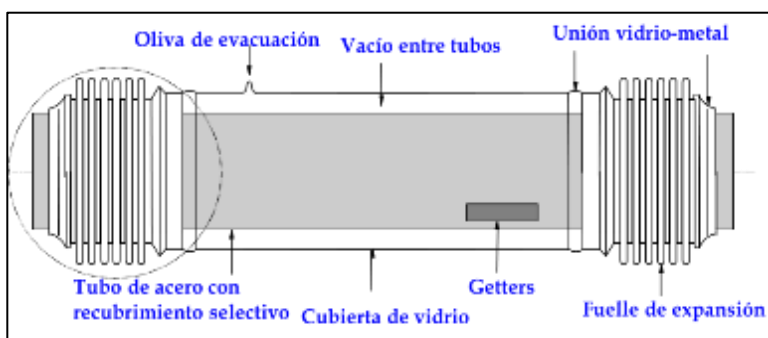
Nota: (Siemens, 2010)

La mayor parte de los recubrimientos tienden a degradarse cuando entran en contacto con el aire al estar calientes, requiriendo un alto vacío en la cámara entre el tubo de metal interior y la cubierta de vidrio. Un tubo de vidrio que rodea el tubo interior de metal protege el revestimiento

selectivo de la intemperie y reduce la pérdida de calor por convección en el tubo de absorción. Ambos lados de este tubo suelen tener un tratamiento anti reflectante para aumentar su transmitancia y, por lo tanto, mejorar el rendimiento óptico del colector.

Figura 7

Esquema de un tubo absorbedor típico



Nota: (RENOVETEC INGENIERIA, 2013)

El fluido de trabajo que circula por el tubo interior es diferente según la tecnología. Para bajas temperaturas ($< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) se suele utilizar agua desmineralizada con Etileno-Glicol mientras que para mayores temperaturas ($200^{\circ}\text{ C} < T < 450\text{ }^{\circ}\text{ C}$) se utiliza aceite sintético. La tecnología de punta proporciona generación directa de vapor al exponer los tubos a alta presión y usar sal como fluido de transferencia de calor (RENOVETEC INGENIERIA, 2013).

Intercambiador de calor

Al trabajar con recolectores cilindro parabólicos, la temperatura ideal debe ser entre 150°C - 400°C . A temperaturas más altas, las pérdidas por calor en este tipo de colectores son elevadas, reduciendo su rendimiento. Existen otros colectores solares más económicos que trabajan a

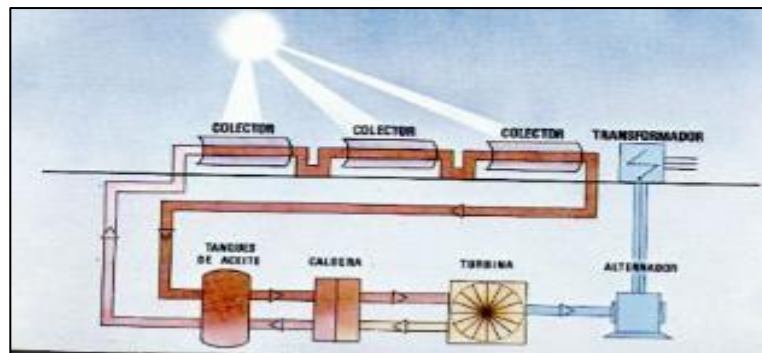
temperaturas inferiores a 150°C. El tipo de fluido utilizado por los CCP está en dependencia de la temperatura que se requiere alcanzar (Charalampos, 2011, p. 12).

Los cilindros parabólicos utilizan muchos tipos de fluidos térmicos, principalmente:

- Siliconas artificiales o aceites
- Aceites minerales
- Sales fundidas
- Líquidos iónicos
- Agua, aire u otro gas

Figura 8

. Esquema de un sistema de CCP con su intercambiador de calor



Nota: (Molinero Vázquez, 2009, p. 30)

El utilizar agua sin minerales (agua destilada) como fluido de trabajo, si lo que se desea es utilizar temperaturas bajas ($\leq 150^{\circ}\text{C}$), no representa mayores problemas debido a que la presión de trabajo no es excesiva. Por otra parte, se usa aceite sintético cuando se requieren temperaturas más elevadas ($125^{\circ}\text{C} < T < 400^{\circ}\text{C}$). Este acontecimiento se explica con base en que, si el agua

fuera el fluido de trabajo y se usaran temperaturas elevadas, las tuberías estarán expuestas a altas presiones, debido a que, para que el agua no se evapore, debe mantenerse siempre a una presión superior a la de saturación, que corresponda a la temperatura máxima que alcanza el agua en el colector solar. Esto significa, por ejemplo, que, si se desea tener agua caliente a 317°C a la salida de los colectores, la presión en el circuito tendrá que ser superior a 10MPa. En cambio, puesto que la presión de vapor del aceite para estas temperaturas es mucho menor que la del agua, se puede calentar aceite a 317°C sin tener que mantener el circuito a más de 1,5MPa. El poder usar materiales más económicos para las tuberías, implica trabajar a menores presiones, esto facilitaría la instalación y sus medidas de seguridad. (Charalampos, 2011). Existe muchos tipos de aceite, y elegir uno u otro, estará en relación de la temperatura máxima deseada.

< 200 °C:	agua desmineralizada
200 °C ≤ T ≤ 450 °C:	aceites artificiales
Temp. Máxima 300 °C:	Santotherm 55
Temp. Máxima 400 °C:	Monsanto VP-1:
Temp. Máxima 425 °C:	Syltherm 800. (Rodriguez, 2004)

Acumuladores de energía térmica

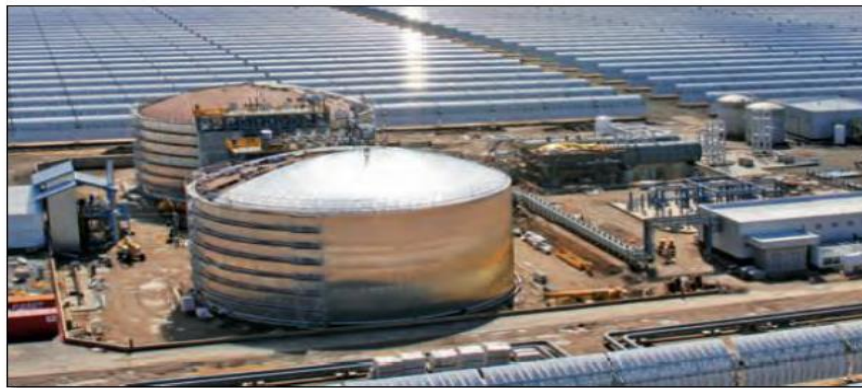
El almacenamiento térmico permite que la energía termo solar sea la tecnología renovable totalmente gestionable, que proporciona estabilidad en la red eléctrica y con la capacidad suficiente para cubrir las necesidades de los países involucrados en conseguir energía eléctrica libre de emisiones de gases de efecto invernadero.

La tecnología de colectores cilindro parabólicos tiene una variante que almacena energía térmica para su uso durante los periodos no solares. El almacenamiento térmico involucra

campos solares muy grandes y aumento del factor, capacidad anual de la planta. En buenas condiciones de sol, el factor de capacidad anual del campo de colectores cilindro parabólicos es del 25%. Con el almacenamiento térmico, este factor de potencia se puede aumentar al 50 % o más. (MENDOZA RODRÍGUEZ, 2011, p. 68)

Figura 9

Central termosolar con almacenamiento térmico (Andasol, España)



Nota: www.SolarMillennium.de

Almacenamiento térmico utilizando sales fundidas

El esquema consiste principalmente en hacer circular el fluido de transferencia de calor a través del área del colector y luego transferir la energía térmica a la sal fundida caliente en el tanque de almacenamiento de calor a través del intercambiador de calor. Cuando se detiene el ciclo de flujo, el flujo de sal se recircula al intercambiador de calor para calentar el refrigerante. Cuando se detiene el ciclo de flujo, el flujo de sal se recircula al intercambiador de calor para calentar el fluido de transferencia de calor. De lo contrario, el sistema funciona como un generador de vapor normal. (MENDOZA RODRÍGUEZ, 2011).

Variables de control

Tomando en cuenta un modelo de parámetros concentrados desarrollado por Rubio, et al., 2006, es posible representar un modelo dinámico de la planta, que consiste en una representación concentrada de la planta.

Es posible describir las variaciones de energía interna, si se efectúa un análisis de balance energético a lo largo de la tubería para la unificación del aceite térmico y el tubo metálico, denominado también como campo. Expresando la variación de la energía interna en función del tiempo en el volumen total del campo y considerando que dichas variaciones son igual a la diferencia entre la energía incidente y la energía transferida y transportada por el fluido considerando las pérdidas, se tiene la siguiente expresión. (MORALES CARO, 2013, pp. 30-32)

$$C \frac{dT_{out}}{dt} = \eta_0 S I_{rr} - V \rho c_p (T_{out} - T_{in}) - H_l (T_m - T_{amb}) \quad (1)$$

En donde:

T_{out} : Temperatura de salida del campo solar.

I_{rr} : Radiación efectiva.

T_{in} : Temperatura de entrada del campo solar.

T_m : Temperatura media entrada-salida.

T_{amb} : Temperatura ambiente.

V : Caudal de aceite.

ρ : Densidad.

Cp: Calor específico a presión constante.

HI: Coeficiente de pérdidas térmicas.

C: Capacidad térmica del fluido.

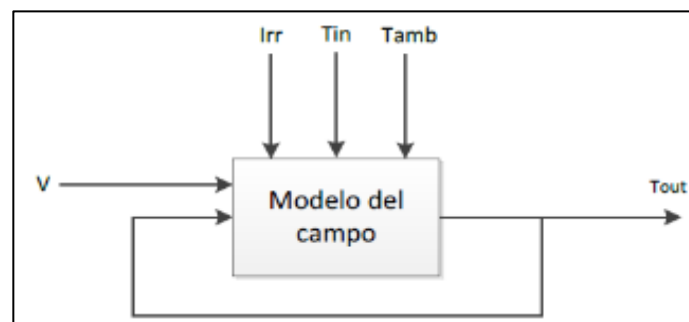
η_o : Eficiencia óptica del colector.

S: Superficie efectiva.

De esta manera, su representación en diagrama de bloques se simplifica:

Figura 10

Diagrama de bloques sistema CCPs modelo concentrado



Nota: (MORALES CARO, 2013)

El ciclo de Rankine, así como el intercambiador de calor agua/aceite de la central se deben tomar en consideración al momento de establecer las temperaturas que deben poseer el aceite en la entrada y salida del campo solar, por lo que dichas temperaturas a la entrada y salida del campo lo fijamos con un salto térmico de 100°C , es decir: $T_{in}=293^{\circ}\text{C}$, $T_{out}=393^{\circ}\text{C}$

Como valor de diseño para la radiación solar directa tomamos 875 W/m^2 , que es el valor obtenido a las 12 horas solar del mes de junio en el lugar de ubicación de la Central. También se debe definir los siguientes parámetros para el punto de diseño, podemos un ejemplo con unidades y cantidades:

- Campo solar y su potencia térmica neta: $P_u = 133,067 \text{ MWt}$
- Radiación solar inmediata: $I = 875 \text{ w/m}^2$
- Entrada del campo solar (temperatura del aceite): $T_1 = 293^\circ\text{C}$
- Salida del campo solar (temperatura del aceite): $T_0 = 393^\circ\text{C}$
- Angulo de incidencia $\phi = 9,82^\circ$
- Temperatura ambiente: 40°C

Sistemas de control y monitoreo scada

En la siguiente sección se introduce a la instrumentación que se utiliza en los sistemas solares de media temperatura basada en CCP, para el control y monitoreo.

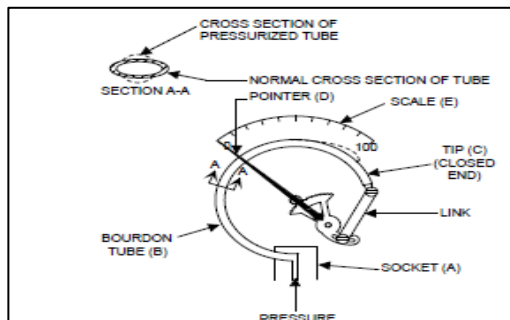
Sensores y transductores

Presión

Casi todos los convertidores de Presión – Fuerza trabajan bajo el principio $F = P \times A$. (Educa, 2015, pp. 5-7). Hay cinco convertidores básicos de presión a fuerza:

1. Tubos Bourdon
2. Diafragmas
3. Fuelles
4. Fuelle diafragmas
5. Pistón

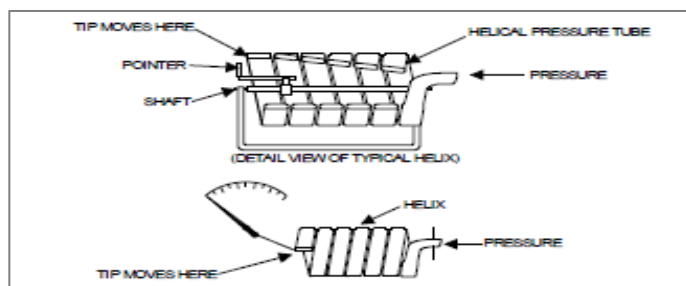
Tubos Bourdon: Tipos: Forma de C, espiral y helicoidales, Rango: 0 a 5 psi / 0 a 100.000 psi

Figura 11*Medidor de presión tipo bourdon*

Nota: (Educa, 2015)

Tubos de espiral y helicoidal:

Debido a su enrollado, tiene mayor recorrido desde el extremo cerrado por cada unidad de presión (mayor sensibilidad), pero se rige bajo el mismo principio de operación.

Figura 12*Medidor de presión tipo espiral helicoidal*

Nota: (Educa, 2015)

Transductores de presión

Con base en las aplicaciones específicas de medición, los componentes de medición se fabrican de aleaciones de cobre, acero o materiales específicos o especiales. Las diferentes

presiones sólo se pueden medir junto con una presión de referencia. La presión atmosférica sólo sirve como presión de referencia y el manómetro muestra en cuánto es superior o inferior la presión medida en relación a la presión atmosférica otorgada (ej. Un instrumento de medición de sobrepresión).

La presión se muestra dentro del rango de medición estándar en un ángulo de 270 grados en el dial. Los manómetros llenos de líquido, en virtud de su protección, proporcionan una protección óptima contra roturas bajo la influencia de altas cargas dinámicas o vibraciones.

Al combinar contactos de alarma de señales de salida eléctrica como 4-20 mA, se pueden utilizar operaciones de conmutación y automatización de procesos industriales junto con sensores. (Wiegand, 2015)

Temperatura

La temperatura es definida como la cantidad de calor en un objeto expresada en grados. Esto significa que la temperatura mide o da una idea de qué tan caliente está un objeto, y es una forma en que el calor absorbe energía. (Scribd, 2009, pp. 2-4).

Tabla 1.

Relación entre temperaturas

Cero absoluto	Punto de fusión	Punto de ebullición	Escala
0°	273,16°	373,16°	Kelvin (°K)
- 273,16	0°	100°	Celcius (°C)
-459,9°	32°	212°	Fahrenheit (°F)
0°	491,69°	671,9°	Rankine (R°)

Nota: (Scribd, 2009)

Instrumentos de medición de temperatura

La medición de la temperatura es más común e importante en los procesos industriales. Se utilizan varios sensores para medir la temperatura en la industria manufacturera.

Termómetros de vidrio

A través de un componente de vidrio, puede almacenar mercurio, alcohol tolueno y pentano, y es conocido mundialmente como termómetro, uno de los instrumentos de medición de temperaturas provisto de una escala que marca los valores en °C generalmente. El más común es el de mercurio. Su principio de funcionamiento se basa, en el que el mercurio al calentarse se expande y sube por medio de un tubo capilar. El mercurio se posiciona en una escala indicando la temperatura a la que ha sido expuesto, valor que se lee a través de una escala (Scribd, 2009, p. 2).

Figura 13

Termómetro de vidrio



Nota: (Scribd, 2009, p. 3)

Tabla 2

Rangos de medición del termómetro de vidrio con base en el fluido de trabajo

Fluido	Rango de operación
Mercurio	-35° hasta + 280°C
Mercurio (tubo capilar lleno de gas)	-35° hasta + 450°C
Pentano	-200° hasta + 20°C
Alcohol	-110° hasta + 50°C
Tolueno	-70° hasta + 100°C

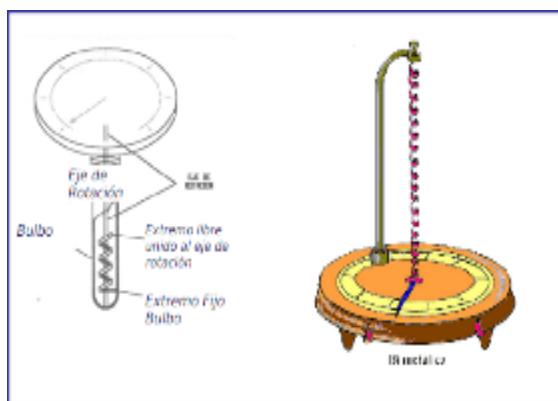
Nota: (Scribd, 2009, p. 3)

Termómetros Bimetálicos

Está formado por elementos bimetálicos, un eje, el puntero, cojinete, la escala y una cubierta que lo protege y por su bajo costo y precisión en las mediciones, es uno de los instrumentos más utilizados para medir temperatura. El elemento bimetálico puede ser recto, curvo, en forma helicoidal o en espiral (Scribd, 2009, p. 4).

Figura 14

Termómetro bimetálico



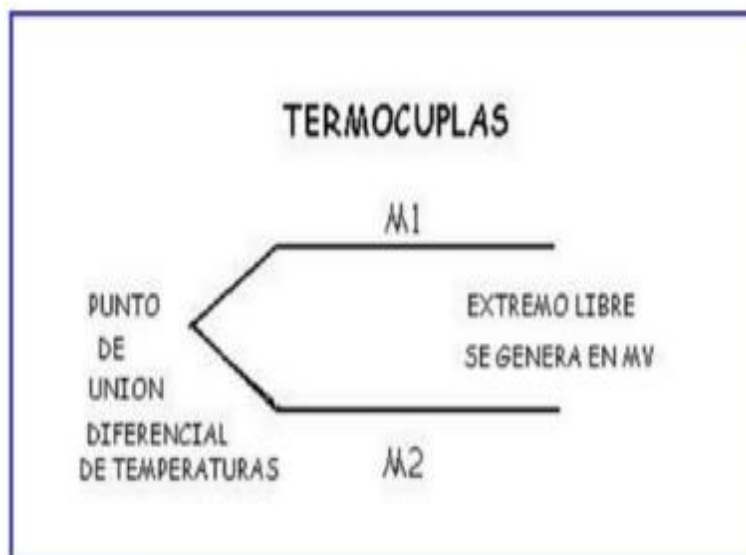
Nota: (Scribd, 2009, p. 4)

Termopares

Su principio de funcionamiento consiste en que al poner en contacto dos metales distintos y se calienta la junta de unión, se originará una diferencia de potencial entre los extremos Círculos, proporcional a la temperatura existente en la punta y se convierte en unidades de temperatura por medio del voltímetro. Dependiendo del metal a utilizar y del intervalo de temperatura a estimar, existen distintos termopares. (Scribd, 2009, p. 10).

Figura 15

Circuito Termopar



Nota: (Scribd, 2009, p. 3)

Tabla 3*Rangos de operación de termopares*

Tipo de termopar	Intervalo de medición	Límite de error	Aplicación
E: Cromel - Constatán	-40° a 800°C	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 0.4\%$	Indicación y control de temperatura en los hornos industriales
	-40° a 900°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 0.75\%$	
	-200° a 40°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 1.5\%$	
T: cobre - Constatán	-40° a 350°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 0.4\%$	Indicación y control de temperatura en los hornos industriales
	-40° a 350°C	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 1.5\%$	
	-200° a 40°C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 0.75\%$	
J: Hierro - alumel.	-40° a 750°C	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 0.4\%$	Indicación y control de temperatura en los hornos industriales
	-40° a 750°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 0.75\%$	
K: Cromel - alumel.	-40° a 1000°C	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 0.4\%$	Indicación y control de temperatura en los hornos industriales
	-40° a 1200°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 0.75\%$	
	-200° a 40°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 1.5\%$	
R: Platino - Platino. Rodio.	0° a 1600°C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	Cuando se requiere de gran exactitud a altas temperaturas se usan como patrones de calibración
S: Platino - Platino Rodio	0° a 1600°C	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 0.25\%$	

Nota: (Scribd, 2009, p. 10)

Radiación solar

La radiación es la transferencia de energía a través de ondas electromagnéticas generadas directamente de una fuente en múltiples direcciones. Estas ondas no requieren un medio material para su propagación y pueden viajar a través del espacio interplanetario y viajar desde el Sol hasta la Tierra.

La frecuencia y la longitud de ondas electromagnéticas son importantes porque permiten determinar su energía, visibilidad y permeabilidad. Todas las ondas electromagnéticas viajan a una velocidad de 299 792 km/s en el vacío.

Las ondas electromagnéticas pueden poseer diferentes longitudes de onda. El conglomerado de todas estas longitudes de onda es llamado espectro electromagnético., mientras que el

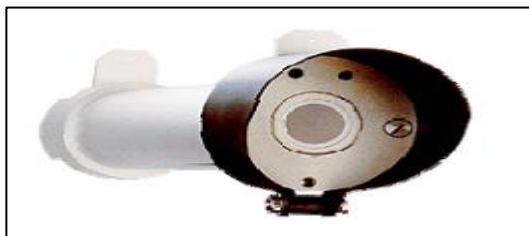
conjunto de longitudes de onda emitidas por el sol, es denominado, espectro solar. (Agencia Estatal Meteorológica, 2014)

Medida de la radiación directa

La radiación solar directa es medida mediante pirheliómetros. Gracias al uso de persianas, solo se puede medir la radiación del sol y la región anular del cielo muy cerca al astro. En los instrumentos modernos, este último cubre medio ángulo de unos $2,5^\circ$ desde el centro del sol. La superficie del receptor se coloca exactamente perpendicular a la luz solar directa. Por tanto, es necesario montar todos los pirheliómetros sobre mecanismos que permitan un seguimiento muy preciso al Sol. (Agencia Estatal Meteorológica, 2014).

Figura 16

Pirheliómetro de primera clase Kipp-Zonen



Nota: (Agencia Estatal Meteorológica, 2014)

Medida de la radiación global y difusa

La radiación global está definida como la radiación solar recibida de 2π estereorradianes en una superficie horizontal. La radiación global incluye la radiación que recibe directamente del disco solar, así como la radiación del cielo dispersada por la atmósfera.

Para medir la radiación global se necesita un piranómetro. Utilizado en superficies inclinadas para estimar la radiación incidente, su utilización radica en colocarlo boca abajo para poder

obtener una medida de radiación global reflejada (albedo). Para medir sólo la componente difusa de la radiación solar, la componente directa se cubre con una pantalla o sistema de sombra (Agencia Estatal Meteorológica, 2014).

Figura 17

Piranómetro Kipp-Zonen



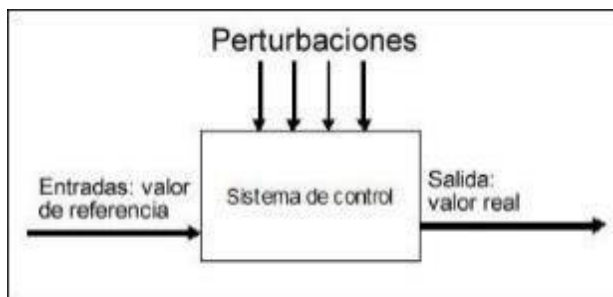
Nota: (Agencia Estatal Meteorológica, 2014)

Sistemas de control retroalimentado

Los mecanismos de control y monitoreo que se utiliza en los sistemas de termosolares se basan en la teoría de los sistemas de control con variables que se relacionan entre si y pueden mantener bajo ciertos parámetros un proceso. Básicamente un sistema de control se puede definir como:

Figura 18

Diagrama de control



Nota: (Ruiz Canales, 2013)

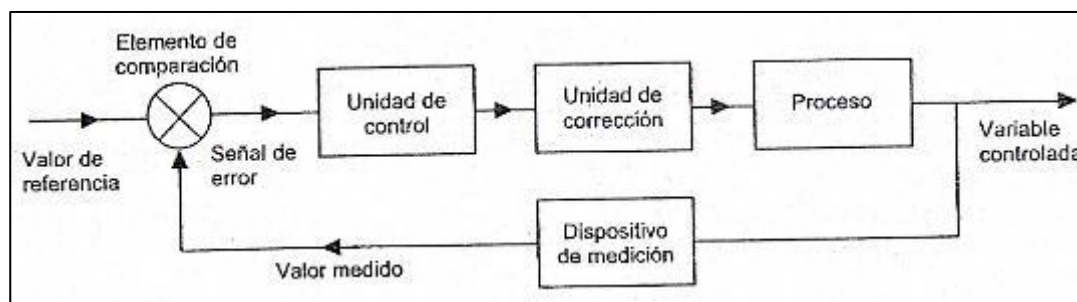
La naturaleza de las señales de entrada puede ser de distintas características físicas que pueden clasificarse en dos tipos: Analógicas cuya señal tiene una variación continua en el tiempo, y las Discretas, que corresponden a una señal que tiene un valor determinado en espacios de tiempo.

Los sistemas de control pueden ser en lazo abierto, que básicamente consiste en una respuesta fija ante una entrada determinada, no existe una comparación constante entre la entrada y salida por lo tanto exige una calibración precisa el sistema para su correcto funcionamiento.

El otro tipo de sistema de control se denomina en lazo cerrado, más complejo en su funcionamiento porque existe una comparación constante entre la salida y su realimentación a la entrada para una respuesta requerida, este tipo de sistema lo hace menos sensible a perturbaciones externas del sistema.

Figura 19

Proceso de control en lazo cerrado



Nota: (Ramírez Moreno, 2013)

Sistema de control de lazo abierto

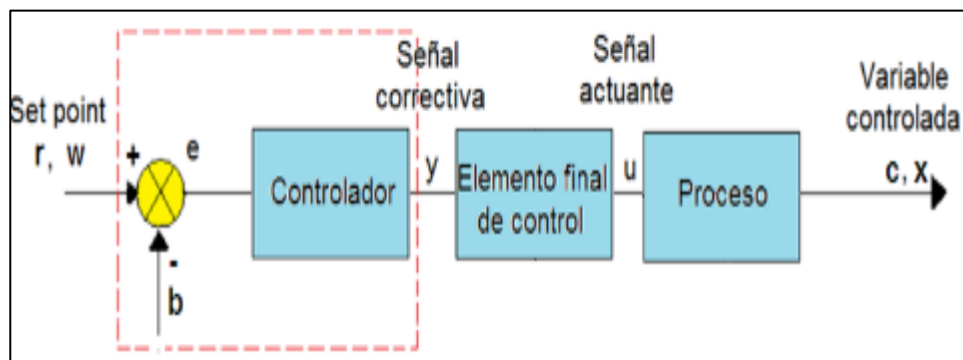
Es conocido como lazo abierto debido a que no posee un lazo de retroalimentación, es decir, la entrada no cuenta con información de salida.

Características:

- Depende de las aptitudes y experiencia del operario.
- No corrige el efecto de las perturbaciones ni cambios de carga.
- No cuenta con exactitud ni precisión.
- Es económico.
- Instalación y mantenimiento fácil.

Figura 20

Sistema de control lazo abierto



Nota: (www.planespecifico.blogspot.com, 2008)

Sistema de control de lazo cerrado

Características:

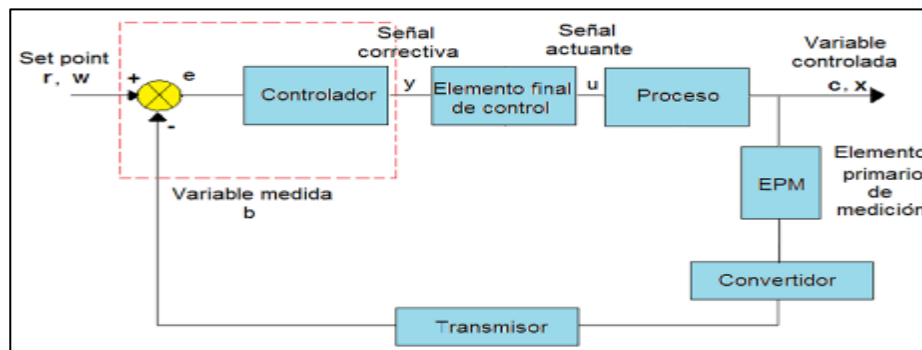
- Posee lazo de realimentación, donde la entrada tiene información de la salida.
- Corrige los efectos producidos por las perturbaciones.
- Tiene mayor precisión y exactitud que el lazo abierto.

- Cualquier lazo de retroalimentación presenta tiempo muerto.
- Su instalación es costosa y compleja en comparación del sistema de lazo abierto.

(www.planespecifico.blogspot.com, 2008)

Figura 21

Sistema de control lazo cerrado



Nota: (www.planespecifico.blogspot.com, 2008)

Actuadores

Es un dispositivo mecánico que proporciona fuerza para mover o "accionar" otro dispositivo mecánico. La potencia que acciona el actuador proviene de tres posibles fuentes posibles: accionamiento neumático, hidráulico y eléctrico (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo de la fuente de energía, el actuador se llama "neumático", "hidráulico" o "eléctrico". (Vildósola C. , 2013, p. 1)

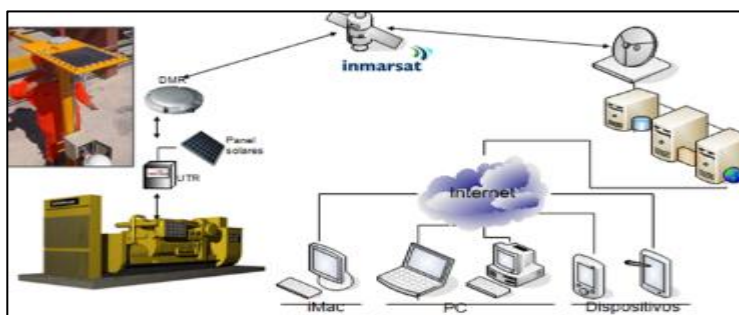
SCADA

El nombre completo de SCADA es " Supervisory Control And Data Adquisition ", a saber: adquisición de datos y control de supervisión.

Es una app de software específicamente fabricada para trabajar con una computadora en la gestión de la producción, facilitando la interacción con otros dispositivos de campo (controladores, controladores programables, etc.) y controlando automáticamente el proceso desde una pantalla de computadora. Además, pone a disposición de los distintos usuarios, incluidos los compañeros y otros responsables de la empresa, toda la información generada en el proceso productivo: control de calidad, seguimiento, mantenimiento, etc (Automatas, 2006).

Figura 22

Configuración de un sistema SCADA



Nota: (SCADA, 2012)

Estos tipos de sistemas suelen incluir una computadora que realiza tareas de monitoreo, gestión de alarmas, procesamiento de datos y control de procesos. Comunicarse a través de buses dedicado o LAN. Todo esto generalmente se hace en tiempo real para que los operadores de la planta puedan monitorear y controlar estos procesos. (Automatas, 2006)

Prestaciones

El SCADA es un combo que puede brindar las prestaciones siguientes:

- Capacidad para crear paneles de alarma que requieran la presencia del operador para identificar situaciones de parada o alarma con registro de eventos.

- Generar un historial de señal de planta que ser volcados a una hoja de Excel para su análisis.
- Poder ejecutar programas que permitan modificar la ley de control, o incluso anular y modificar las tareas del autómeta bajo ciertas circunstancias.
- Codificación numérica, que permita poder efectuar operaciones matemáticas de alta valor sobre el CPU de la PC. (Automatas, 2006)

Requisitos

Son varios los objetivos que un SCADA debe cumplir para que su instalación sea exitosa y de provecho:

- Con las necedades de cambio constante en el negocio, debe ser un sistema con arquitectura con posibilidades de adaptación y crecimiento.
- Deben existir una facilidad de comunicación y transparencia entre el usuario y ell equipo de planta, así como como con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas de fácil instalación, sin hardware exigentes, y de fácil utilización, con interfaces amigables con el usuario. (Automatas, 2006)

Figura 23

Cuarto de Monitoreo y Control de un sistema SCADA



Nota: (Automatas, 2006)

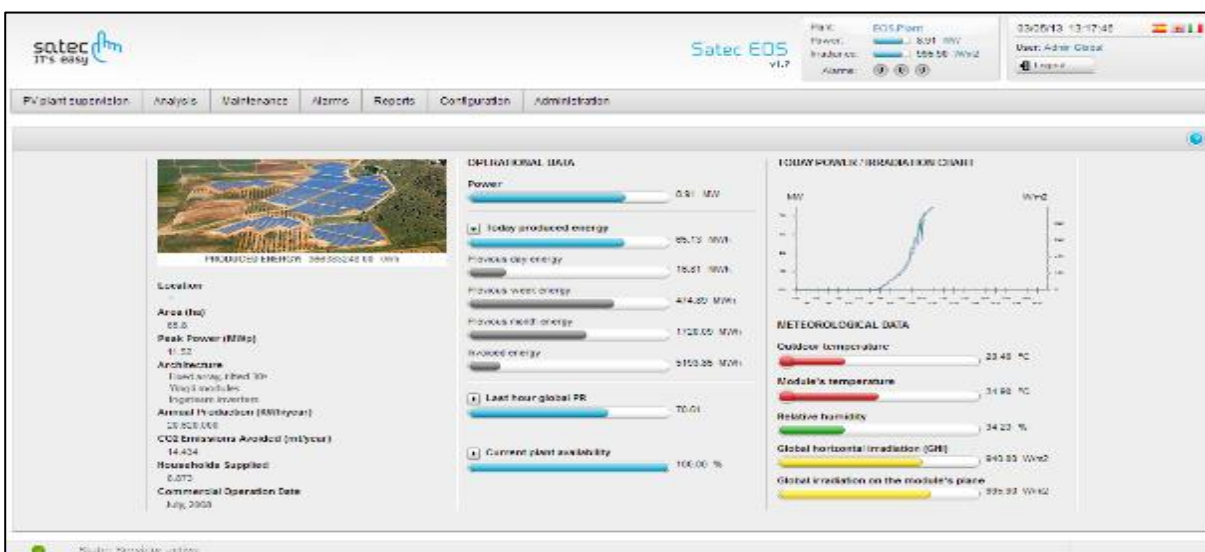
Satec solar energy

Es un sistema de monitorización, control y gestión de plantas solares fotovoltaicas. Se trata de un sistema totalmente flexible y basado en estándares que es capaz de adaptarse para permitir a nuestros clientes alcanzar sus objetivos de negocio.

El mayor beneficio de este sistema de monitorización para las plantas solares fotovoltaicas, es que además de ser una aplicación SCADA comercial de monitorización, se configura y parametriza adecuándola a las especificaciones del cliente. Lo que significa que la aplicación adquiere todas las señales necesarias y aplica las normas de análisis integrándolas en el módulo de explotación y maximizando el rendimiento de las instalaciones, así como el monitoreo de consumo de energía. (SATEC, 2016)

Figura 24

Sistema SCADA satec solar



Nota: (SATEC, 2016)

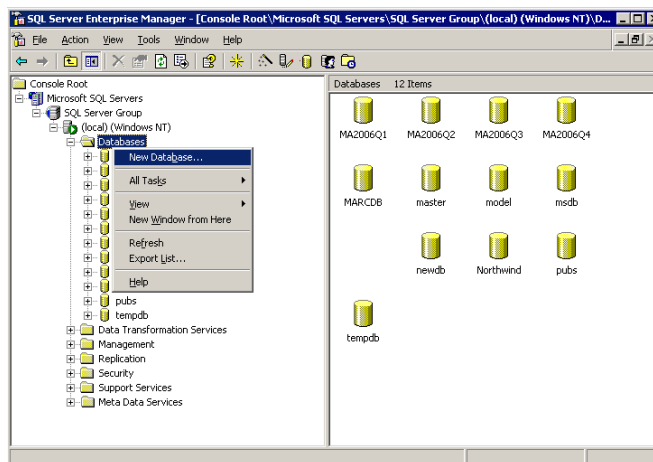
Base de datos

Hay que diferenciar los conceptos: Base de datos es un conjunto de datos que pertenecen al mismo contexto, almacenados sistemáticamente para su posterior uso; mientras que un sistema administrador de base de datos (DBMS) es una herramienta de software que permiten crear estructuras, almacenar datos y posteriormente acceder a ellos de forma rápida, segura y eficiente.

SQL: Structured Query Language (Lenguaje de Consulta Estructurado), conjunto de instrucciones normalizadas que permite trabajar con los objetos de una base de datos (colecciones, tablas, vistas, índices) y permiten realizar operaciones con los datos (consulta, ingreso, modificación y eliminación) (Poma Deza, 2011, p. 2).

Figura 25

Pantalla principal SQL server



Nota: (Poma Deza, 2011, p. 2).

Una de las funcionalidades más importante del sistema SCADA es llevar la información de proceso a una única base de datos, desde donde otras aplicaciones puedan consultar ya sea

para procesamiento posterior o simplemente para reportes. Los pasos requeridos en esta etapa se resumen a continuación:

Paso 1. Configurar driver de comunicación y base de datos

Paso 2. Configurar el desencadenador de registros

Paso 3. Elegir las TAGs que serán registradas en la base de datos

Paso 4. Creación del evento para actualización de datos (Camacho, 2016)

Figura 26

Sistema SCADA integrado con base de datos



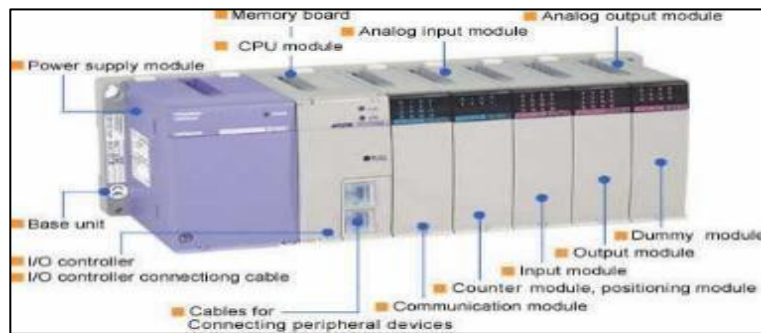
Nota: (Camacho, 2016)

Controladores lógicos programables (PLC)

Con las características de recibir señales eléctricas en sus terminales de entradas, es un dispositivo eléctrico de programación, provisto de un controlador lógico o PCL. Realiza mediante su *CPU* el procesamiento de los estados de esas entradas en base a una lógica de programación almacenada previamente en la *Memoria* del PLC, para finalmente actuar sobre sus terminales de *Salidas* (Maza Cabello, 2009, p. 40).

Figura 27

PLC Controllogix 5000, gama alta Allen Bradley



Nota: (ROCA TEK, 2010)

Las características principales del PLC:

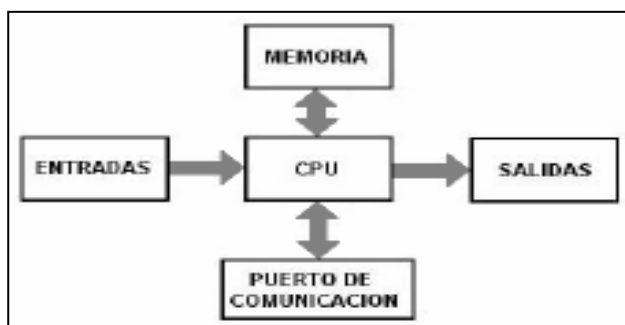
- Efectivo en el control de sistemas complejos.
- Utilizados para el control de otros sistemas de manera fácil y rápida debido a su flexibilidad.
- Su facilidad computacional permite diseñar controles más complejos.
- Permite resolver problemas programando fácilmente y reduce el tiempo de inactividad del proceso.
- Sus componentes confiables hacen posible que pueda operar varios años sin fallas.
- Capacidad de entradas y salidas.
- Monitoreo y capacidad de trabajo en red.

Las señales emitidas en la entrada del PLC suelen venir de transmisores o transductores, bien sean los flujómetros, RTD, tacómetros u otros, que transforman una variable física como por ejemplo temperatura, caudal, etc. en una señal digital estandarizada o eléctrica analógica (1-5 Vcd, 4-20 mA, 24 Vcd, etc.) que pueda ser aceptada por el PLC. (Balseca Acosta, 2007).

Además, el PCL a través de sus salidas, manda señales eléctricas fijas, pero que son enviadas hacia elementos de control final tales como contactores, drivers de motores, actuadores de electroválvulas, etc. Además, los PLCs suelen tener por lo menos un *Puerto de Comunicación* que sirve para su programación y para conectarse con dispositivos externos, ya sea a otros PLCs, terminales de interfase gráfico, módems, módulos de I/O remotos, etc. Será de tipo modular o compacto si el PCL posee sus partes agrupadas o en un solo módulo. (Balseca Acosta, 2007).

Figura 28

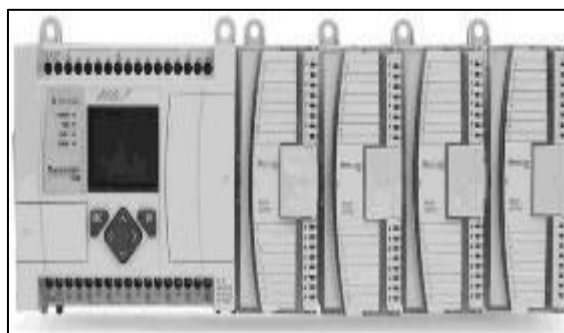
Componentes de un PLC



Nota: (Balseca Acosta, 2007).

Figura 29

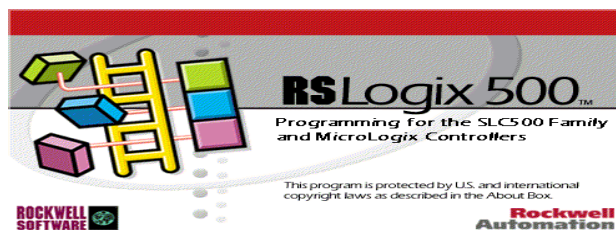
PCL con módulos de entradas y salidas



Nota: (Rockwell Automation, 2017)

Figura 30

Software para la programación del Micrologix 1400



Nota: (Rockwell Automation, 2017)

Software

En los sistemas de automatización principalmente en los sistemas SCADA se utiliza un paquete de utilitarios que se comunican entre sí para dar funcionalidad al monitoreo y control de los procesos industriales, detallamos a continuación:

- Software Scada
- OPC server
- Excel
- ActiveX – Scripts VB
- Microsoft Access / SQL Server

Figura 31

Software utilizado en un sistema SCADA



Nota: (<http://sistemasdeinformacionjuvera.blogspot.com/>, 2017)

Software scada

Todos los softwares tienen el mismo objetivo de control y monitoreo de los procesos industriales, algunos de estos tienen otras prestaciones (módulos) dedicadas a ciertas industrias.

Algunas de las marcas de software son las siguientes: Wonderware con Intouch, GE con Cimplicity o IFIX, RSview de Rockwell Automation, MC-Worx de Mitsubishi, Labview de National Instrumental, entre otras marcas.

Figura 32

Logotipo Software desarrollo Monitoreo y Control



Nota: (Wonderware, 2017)

Figura 33

Pantalla ejemplo wonderware intouch



Nota: (Wonderware, 2017)

Opc server

La app de software OPC (driver) que presente una o más características establecidas por la Fundación OPC. Un servidor OPC se comunica con una o más fuentes de datos utilizando su protocolo nativo (normalmente PLC, DCS, básculas, módulos de I/O, controladores, etc.) haciendo referencia a los clientes OPC (normalmente SCADA) por otro lado (SCADAs, HMIs, aplicaciones de cálculos, generadores de gráficos, informes, etc.) (Matrikon, 2017).

Figura 34

Diagrama de comunicación OPC server



Nota: (Matrikon, 2017)

Según la OPC Foundation, existen cuatro tipos de servidores OPC y son los siguientes:

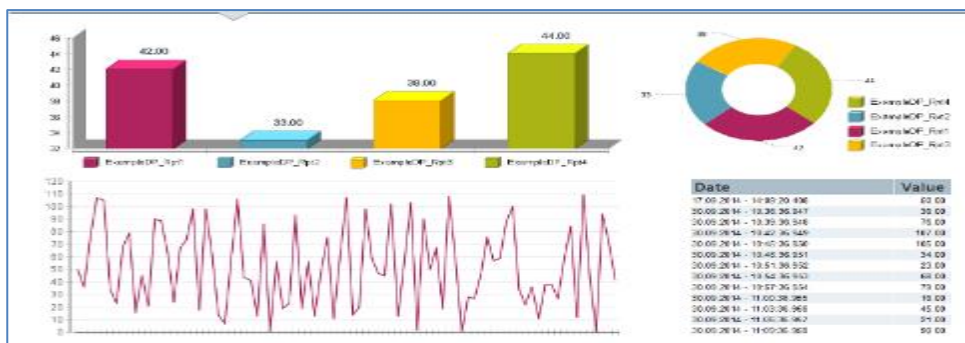
- Servidor OPC DA – OPC Data Access – diseñado exclusivamente para poder transmitir datos en tiempo real.
- Servidor OPC A&E Server– elaborado bajo las especificaciones de Eventos y Alarmas y– traslada alarmas y Eventos a partir un dispositivo hacia el Cliente OPC A&E.
- Servidor OPC HDA– elaborado con base en las especificaciones de acceso de la base histórica de datos que suministra al Cliente OPC HDA de datos desde la base del historial.
- Servidor OPC UA – Establecido de especificaciones de unificación de arquitectura – establecido bajo el más nuevo set y santificado de la fundación OPC, permitiendo trabajar con cualquiera de los datos a los servidores OPC. (Matrikon, 2017)

Excel

Excel es uno de los paquetes frecuentemente utilizados para los reportes del sistema Scada. Lo cual lo convierte en una potente herramienta. El enlace se realiza con software de configuración y ejecución de reporte.

Figura 35

Excel utilizado para visualizar reportes



Nota: (ETM, 2017)

ActiveX – Scripts VB

Incrustar controles ActiveX en una pantalla significa agregar un objeto con código asociado a la aplicación en la que estamos trabajando que realiza una función de forma totalmente integrada para crear los enlaces que sean necesarios entre Control ActiveX y las variables de la aplicación.

Hay varios controles ActiveX que se pueden adquirir por separado para agregar a una aplicación SCADA basada en tecnología COM. Por ejemplo, se disponen de drivers para comunicación con PLCs, DCSs, conexiones a bases de datos, mensajes, tendencias, símbolos de calibre, selectores, barras indicadoras, etc. (Romagosa Cabús, Gallego Navarrete, & Pacheco Porras, 2004, pp. 22-23)

VBA es un lenguaje de programación integrado (basado en secuencias de comandos) en las aplicaciones de Microsoft Office ofreciendo varias ventajas. Es muy común y adoptado por varios fabricantes, por lo que se convierte en un estándar "de facto" que muestra una excelente relación entre capacidad y dificultad para aprender y usar. Utilizar un lenguaje común facilita la integración

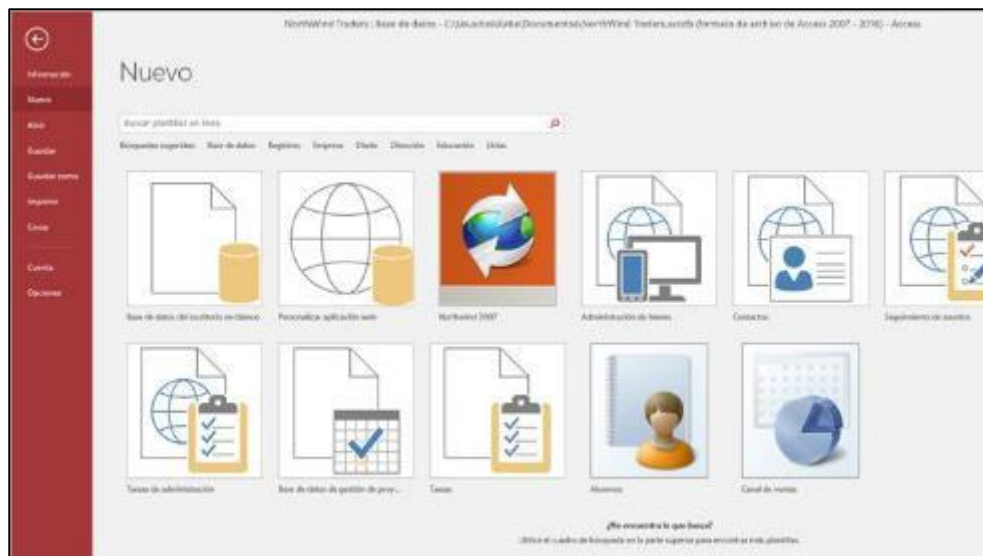
de objetos proporcionados por terceros, siempre que utilicen los mismos estándares. Además, permite la interacción directa con las aplicaciones de Office (Access, Excel, Word.), BackOffice y otros productos compatibles. (CEPEDA MORENO & ERAZO HIDALGO, 2010, p. 111)

Microsoft Access

Access es un administrador de datos que se utiliza para recopilar información relacionada con un tema o propósito específico, como el seguimiento de los pedidos de los clientes o el mantenimiento de una colección de música, etc. Fue fabricado para la recopilación de datos, y otras funcionalidades (Share Point, Excel, etc.) y operarlos a través de informes y consultas. (Wikipedia, 2013)

Figura 36

Pantalla Principal Microsoft Access



Nota: (Microsoft, 2017)

Metodologías de proyectos

Si nos atenemos a la definición del Project Management Institute (PMI), gestión de proyectos es la aplicación de herramientas, habilidades, técnicas y conocimientos, para lograr los objetivos del proyecto, y existen varios métodos de gestión de proyectos basados en diferentes enfoques. Entre ellos podemos destacar: (Garriga, 2017)

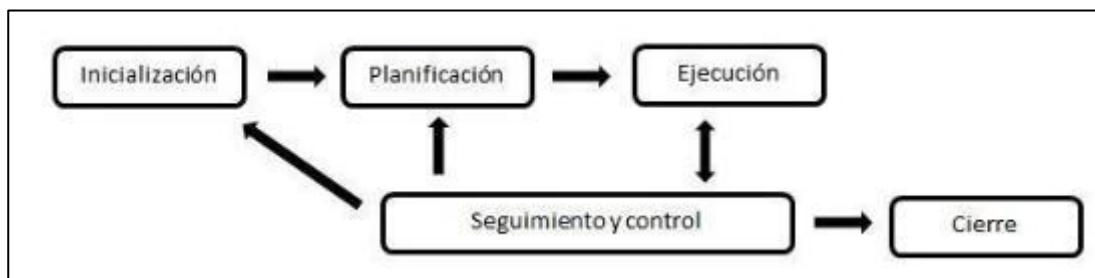
Gestión de proyectos con enfoque tradicional

Este método de gestión de proyectos es muy común en la industria o la construcción y fundamentado en descomponer un proyecto en diferentes procesos que se realizan en secuencia hasta lograr los objetivos del proyecto o fase. Los procesos son:

- **Inicialización:** la definición inicial del proyecto y sus fases y aprobación de su puesta en marcha.
- **Planificación:** ejecución de los distintos planes de gestión
- **Ejecución:** cumplimiento de planificación de tareas en la fase previa con la finalidad de completar los entregables
- **Seguimiento y control:** revisión de tareas completadas, contraste con la planificación (líneas de base), desarrollo y aplicación de contramedidas en caso de desviación.
- **Cierre:** El final de una fase o proyecto porque los entregables han sido aprobados, no se pudieron lograr o porque el proyecto ya no existe. Este cierre formal requiere la liberación de los recursos involucrados en el proyecto y la retroalimentación del proceso a través de las lecciones aprendidas (Garriga, 2017).

Figuras 37

Metodología de proyecto tradicional



Nota: (Garriga, 2017)

Se ha observado confusión al hablar de fases o proyectos por el concepto de ciclo de vida del proyecto. Se lo conoce como la división de un proyecto en fases que se realizan secuencialmente y se acercan gradualmente a la meta final logrando algunos de los objetivos de cada fase. Existen diversas asociaciones que desarrollan, capacitan y certifican este enfoque, como PMI (Project Management Institute) o IPMA (International Project Management Association), siendo la certificación más famosa PMP. (Garriga, 2017)

Gestión de proyectos con PRINCE 2

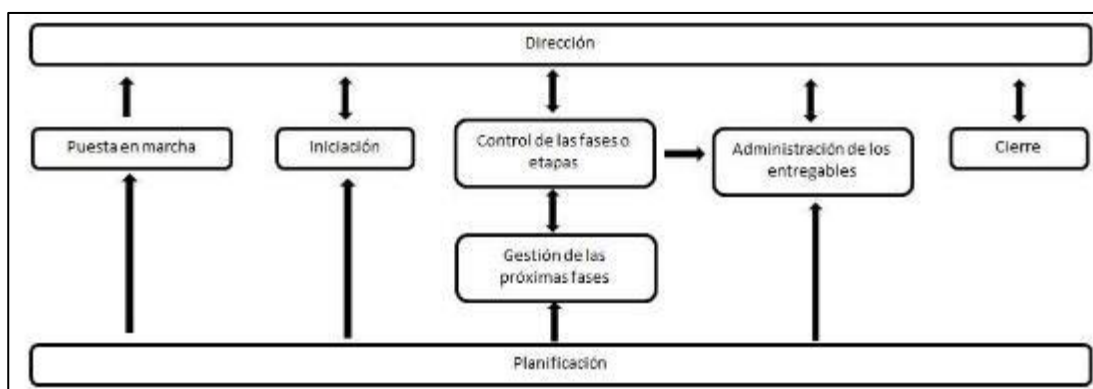
A parte de los enfoques tradicionales, esta metodología de gestión de proyectos se basa en productos, por lo que sus procesos se enfocan en lograr resultados específicos en lugar de planificar actividades. Similar al método anterior, también dividido en diferentes procesos:

- **Puesta en marcha:** descripción del proyecto, enfoque, equipo y objetivos del proyecto o fase.
- **Iniciación:** preparación y acuerdo del business case del proyecto o fase
- **Planificación:** planificación en relación de las diferentes fases del proyecto.

- **Dirección:** forma en la que evaluará y controlará las fases del proyecto, planificaciones y autorizaciones de las siguientes fases
- **Control de las fases o etapas:** de igual forma que en la metodología, el proyecto puede estar presentado en diversas fases, debiendo supervisar y presentar los resultados de cada fase.
- **Gestión de las próximas fases:** definir de lo que debe realizar al finalizar cada fase y planificación de las siguientes. También es necesario definir la manera de actuar y como se actualiza el plan en caso de haberse superado los niveles de tolerancia de la fase.
- **Administración de los entregables:** definición y acuerdo de los requisitos de aceptación para los entregables, incluyendo coste, contenido, fechas, y recursos.
- **Cierre:** acciones de finalización del proyecto y asignación formal a los responsables, incluyendo una evaluación formal. (Garriga, 2017)

Figuras 38

Metodología de proyecto prince 2



Nota: (Garriga, 2017)

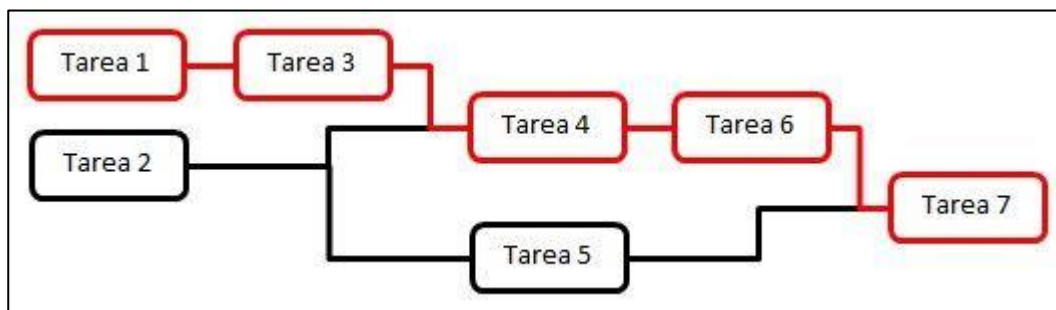
Gestión de proyectos con cadena crítica

Basada en la Teoría de las restricciones (TOC), es un método de gestión de proyectos, la cual ha sido diseñada para maximizar los cronogramas de los proyectos dado que los proyectos están sujetos a incertidumbre y múltiples restricciones. El procedimiento se basa en la aplicación de los siguientes tres principios:

- **Identificar las limitantes que afectan al proyecto:** por lo general, esta restricción aparece como un conjunto de tareas que determinan la duración mínima del proyecto debido a restricciones de tiempo o recursos. Cuando no se tienen en cuenta las restricciones impuestas por un recurso, se denomina cadena crítica o camino crítico.
- **Prioridad de las tareas al interior de la cadena crítica:** trabajo del director del proyecto debe centrarse en completar las tareas que forman parte de la cadena crítica que determinará el final del proyecto.
- **Subordinar el resto de tareas a las tareas en la cadena crítica**

Figura 39

Metodología de proyecto cadena crítica



Nota: (Garriga, 2017)

Si bien se define como un método que difiere de otros, es concurrente con los métodos tradicionales en el proceso de planificación y seguimiento. Esto tiene la gran ventaja de centrar

la gestión de proyectos en los temas que realmente importan, reduciendo y resolviendo mejor los conflictos y aumentando la eficacia del gestor de proyectos. La desventaja es que requiere una planificación más compleja, especialmente en situaciones de múltiples proyectos, lo que no siempre funciona para las empresas que carecen de una cultura de gestión de proyectos.

Gestión de proyectos Agile

Es un método de gestión de proyectos muy utilizado en los departamentos de IT y proyectos de organización empresarial, cuyas principales ventajas son la flexibilidad y la posibilidad de modificar el producto a lo largo del proyecto, ya que se utilizan en paralelo con el desarrollo. Este enfoque es promovido por Agile Leadership Network. (Garriga, 2017)

El enfoque se basa en dividir el proyecto en fases (sprints), donde el resultado es un producto con varias funciones que ya están permitidas para su uso. Estas fases se dan hasta que se implementan todas las funciones definidas para el producto. Esquemáticamente, estas fases constan de los siguientes componentes:

- **Inicio:** Los objetivos que se implementarán en un sprint se seleccionan de los objetivos generales del producto y deben ser capaces de producir un producto funcional. Con base en estos objetivos se determina la duración del sprint (de una semana a un mes) y las tareas que lo integran.
- **Desarrollo del sprint:** El equipo que lidera el proyecto planifica y ejecuta las tareas y las monitorea en reuniones diarias, revisando las tareas completadas, en curso y pendientes, así como posibles obstáculos y limitaciones
- **Cierre:** Al final del sprint, verificar que las tareas y objetivos planteados al inicio se hayan logrado demostrando un producto funcional. Una prueba de cliente de un producto puede cambiar las metas o prioridades del proyecto.

La capacidad de tener un producto funcional y usable al final de cada sprint da la posibilidad de ajustar los objetivos del proyecto para garantizar mejor que el producto final cumpla con las expectativas del usuario. Además, la comercialización de estos sprints puede incrementar los ingresos del proyecto, aumentando su rentabilidad. (Garriga, 2017)

Gestión de proyectos (Ingeniería de conceptual, básica y detalle)

Todo proyecto cuenta con etapas específicas desde su inicio hasta su finalización.

Ingeniería conceptual

Ideada para identificar los costos del proyecto y la viabilidad técnica, está pensada para influenciar el desarrollo de la ingeniería detallista y la básica. Se basa en un estudio previo (estudio de viabilidad) y en la definición de los requerimientos del proyecto.

Los principales conceptos a analizar y estudiar en esta fase son:

- Productos y capacidad de producción.
- Normativa y regulación.
- Descripción del proceso de fabricación y requerimientos de usuario.
- Descripción general de instalación.
- Plan, diagramas de bloques, distribución de salas, planos de flujos de materiales y personas, planos de áreas clasificadas, diagramas de procesos básicos.
- Estimación de requerimientos de servicios auxiliares.
- Lista de equipos preliminar.
- Estimación económica de la inversión $\hat{\pm}$ 30% (Balper, 2016)

Ingeniería básica

Esta permite instaurar los requisitos del usuario y otros componentes como: valoración de costos y cronograma.

Durante esta fase se definen los siguientes trabajos:

- Revisión detallada de la Ingeniería Conceptual y requerimientos de usuario
- Hojas de datos de todas las salas (críticas y no críticas).
- Determinación de caudal de aire en cada una de las salas y de las cargas térmicas.
- P&ID básico de aguas y HVAC.
- Repartición de puntos en uso de servicios.
- Revisión de áreas de servicio y de Layout de salas.
- Listas de consumos.
- Listas de equipos.

La ingeniería básica se desarrolla en dos etapas: la primera consiste en la toma de datos y elaboración de requerimientos de usuario y en la segunda se desarrolla el resto de trabajos descritos anteriormente. El desarrollo de la ingeniería de detalle supone la aprobación de la ingeniería básica con una base sólida. (Balper, 2016)

Ingeniería de detalle

Teniendo listo los detalles previos que permiten definir los aspectos finales en el proyecto, arrancamos con la ingeniería de detalles. Estudiados estos aspectos, el proyecto será expuesto a un filtro con la intención es afinar detalles que pueden ser considerados un punto débil en el desarrollo del mismo. Dentro de la Ingeniería de Detalle existen especialidades definidas que se deben llevar a cabo e integrar para lograr un solo producto.

Algunos de los puntos básicos a desarrollar en la Ingeniería de Detalle son:

- Plano arquitectónico.
- Planos topográficos.
- Terracerías.
- Planos estructurales.
- Planos eléctricos
- Planos hidrosanitarios
- Planos de acabados
- Planos de albañilería.

No obstante, lo antes mencionado, será objeto de adecuaciones y modificaciones de acuerdo a los requerimientos propios del proyecto.

Puede considerarse la ingeniería de detalle como finalizada una vez que ha pasado por las diferentes modificaciones y filtros necesarios, lo cual ha sido posible gracias a los planos As Built donde se enmarca el producto terminado (Balper, 2016)

Capítulo 3.

Estado del Arte

En este capítulo se introduce a la evolución de tecnologías en los Sistemas Térmicos de media temperatura basados en Concentradores Cilíndricos Parabólicos (CCP). Así como también a las diferentes metodologías que se han desarrollado para guiar proyectos solares.

Sistema de control CCP

Enfocado en los proyectos de investigación, se detalla el seguidor solar, control y monitoreo de los Concentradores Cilíndricos Parabólicos de media temperatura en las etapas de concentración, e intercambiadores de temperatura.

Seguidor solar y posición de colectores

Los sistemas de control enfocados en los CCP se basan en el seguimiento del sol, o su giro para obtener la mayor eficiencia al momento de captar su Irradiancia (W/m^2). Características de los sistemas de acuerdo a (Orbea Samaniego & Silva Bravo, 2014) detalla lo siguiente:

- Los concentradores deben girar alrededor de su eje 15° por cada hora del día.
- El giro de los concentradores se lo realiza en ambos sentidos.
- La amplitud del giro de los concentradores debe ser de 180° .
- El posicionamiento inicial de los concentradores dependerá de la hora del día en que se encienda el equipo.

- La velocidad de regreso a su posición inicial será mayor con relación a la velocidad de seguimiento. (p. 146)

El sistema cuenta con un motor acoplado al CCP con transmisión de cadena y un potenciómetro que determina la posición del sistema. El control lo realiza a través de un microcontrolador.

Figura 40

Sistema de transmisor y posición del CCP



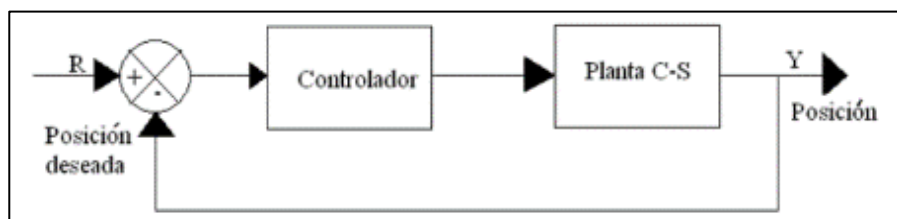
Nota: (Orbea Samaniego & Silva Bravo, 2014)

De acuerdo a (Molinero Vázquez, 2009, p. 46). La plataforma solar debe disponer de un campo de colectores solares cilindrico parabólicos con seguimiento solar, con el fin de aprovechar al máximo la radiación solar y obtener siempre la máxima eficiencia.

El diagrama de bloques en la figura indica que el controlador estará manipulando únicamente el campo de colectores solares y no toda la central termoeléctrica y al estar retroalimentado con la posición deseada se va a obtener la posición a la cual se va encontrar el sol. (Molinero Vázquez, 2009, p. 51)

Figura 41

Diagrama de bloques para el control del colector solar



Nota: (Molinero Vázquez, 2009)

El campo cuenta con sofisticado sistema que le da seguimiento del sol moviendo los espejos que posee y que rodean al eje paralelo. El mecanismo de seguimiento puede alcanzar los estados siguientes.

- Seguimiento: Los colectores enfocan encima de la tubería a través del mecanismo que da seguimiento al sol.
- Boca abajo: El mecanismo lleva al colector a una posición invertida, no existiendo ningún tipo de seguimiento del sol. A este estado se llega al final del día. (Molinero Vázquez, 2009, p. 51)

(Salgado Conrado, 2010), diseñó un control de posicionamiento solar en base a desplazamiento de agua en dos porrones de agua.

En los laterales del concentrador se encuentran colocados dos porrones de 2.850 kg cada uno, con una capacidad de 60 litros, en su interior se encuentran almacenados 30 litros de agua en cada contenedor, el agua almacenada se usará para la orientación del concentrador solar. Para poder inclinar el concentrador en dirección del sol, es necesario mandar el agua al porrón vecino a través de las bombas que se encuentran dentro de los porrones. (Salgado Conrado, 2010, p. 39).

Figura 42

Tanque lado izquierdo control de posición por cantidad de agua

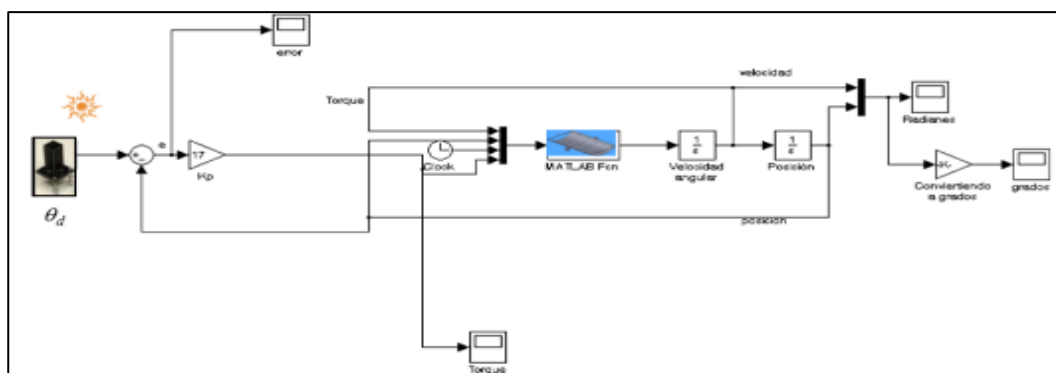


Nota: (Salgado Conrado, 2010)

Se ha realizado los experimentos con los diferentes controles. Se han utilizado como condiciones para el control proporcional $\theta_d = 20^\circ$, ya que cuando se tomaron los primeros datos experimentales este fue el ángulo al cuál se posicionó el concentrador solar desde un ángulo inicial $\theta = 0^\circ$ y $k_p = 17$. (Salgado Conrado, 2010, p. 51).

Figura 43

Control Proporcional

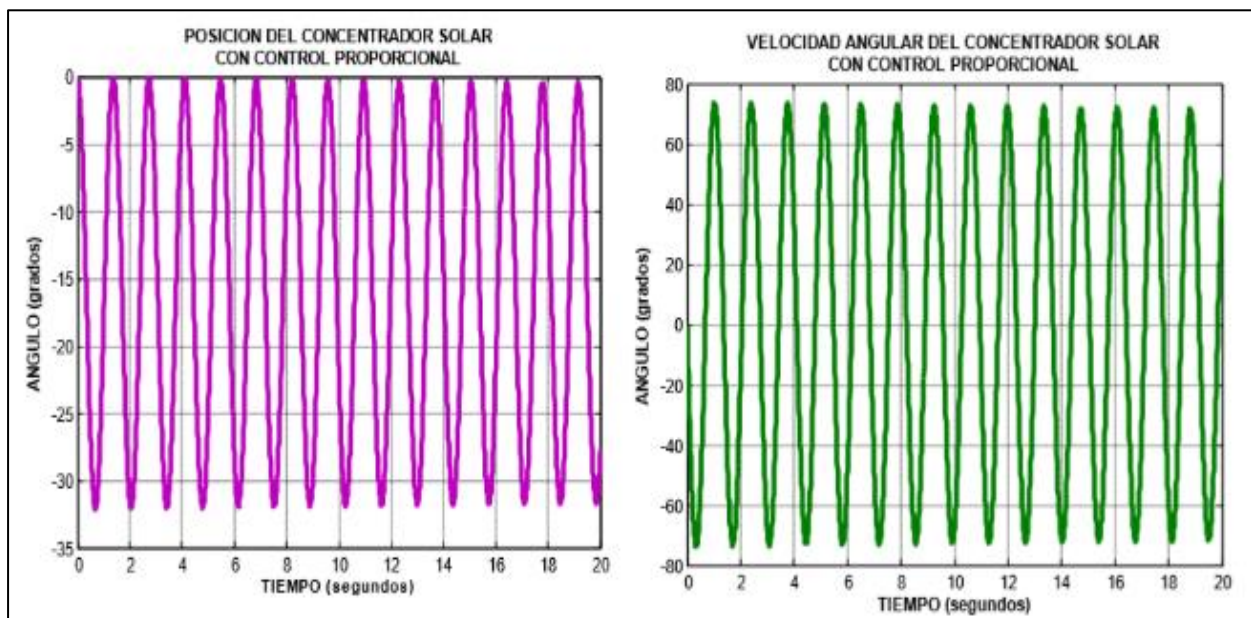


Nota: (Salgado Conrado, 2010)

La posición del sistema alcanza un valor máximo de 75° y un mínimo de -75° y en ningún momento llega a la posición deseada de $\theta_d = -20^\circ$, si se coloca a K_p un valor mayor a 17, la velocidad angular es mayor a $75^\circ/\text{seg}$. (Salgado Conrado, 2010, p. 51)

Figura 44

Comportamiento del concentrador solar utilizando un controlador proporcional

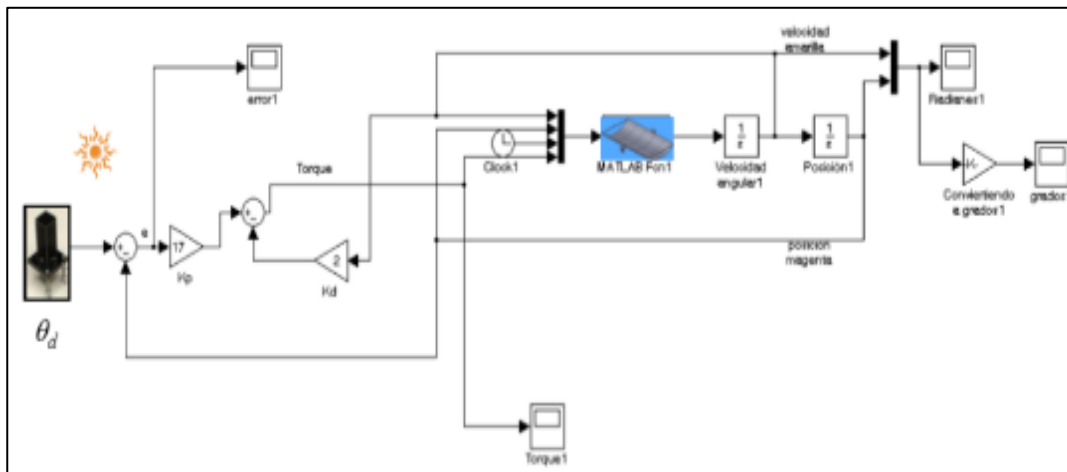


Nota: (Salgado Conrado, 2010)

Aplicando el Control para el posicionamiento se tiene lo siguiente con las condiciones iniciales $\theta_d = -20^\circ$, ángulo inicial $\theta = 0^\circ$ $k_d = 2$ y $k_p = 17$, de un controlador Proporcional derivativo, se tiene los siguientes resultados. (Salgado Conrado, 2010, p. 53)

Figura 45

. Control proporcional derivativo

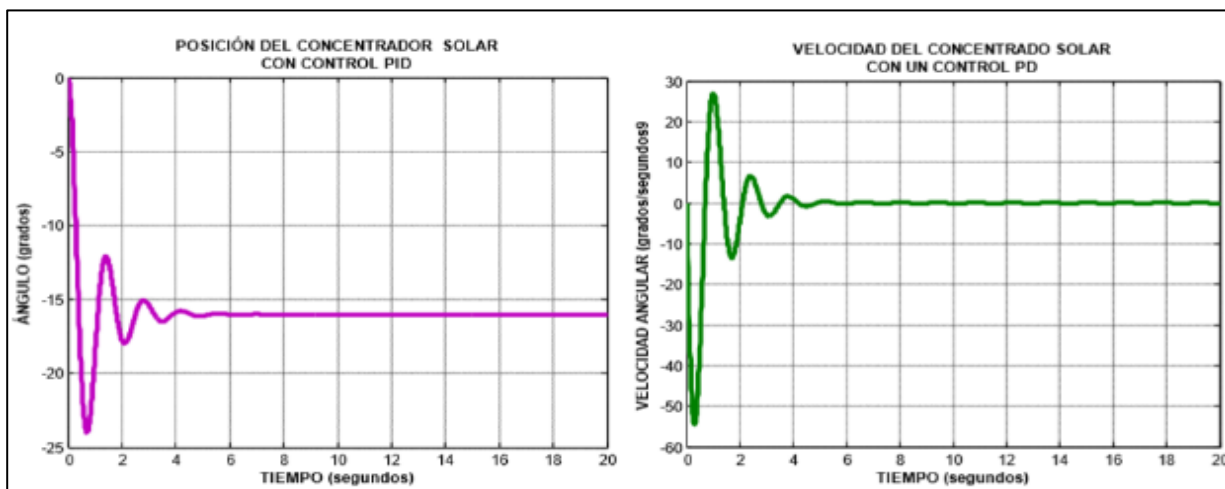


Nota: (Salgado Conrado, 2010)

El ángulo en el que está posicionado el sistema es de $\theta_d = -16^\circ$, la velocidad angular tiene un valor de 0.16 °/seg, mientras que el error tiene un valor aproximado de 0,06.

Figura 46

Posición y velocidad angula del concentrador con un controlador proporcional derivativo

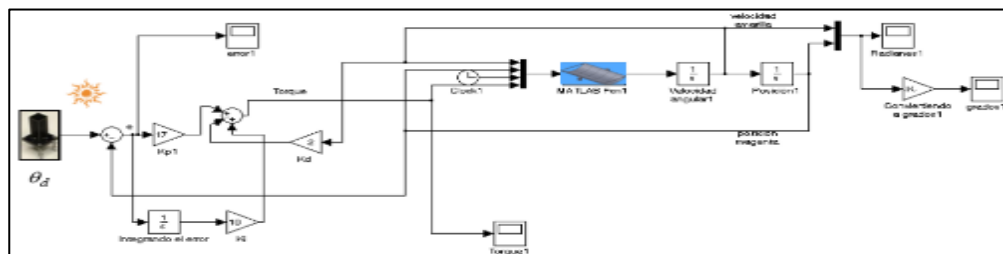


Nota: (Salgado Conrado, 2010)

En control Proporcional Integral Derivativo es usado para controlar el concentrador solar con las condiciones iniciales $\theta_d = 20^\circ$, ángulo inicial $\theta = 0^\circ$, $k_d = 2$, $k_i = 10$ y $k_p = 17$, se tiene los siguientes resultados (Salgado Conrado, 2010, p. 54)

Figura 47

Control proporcional integral derivativo

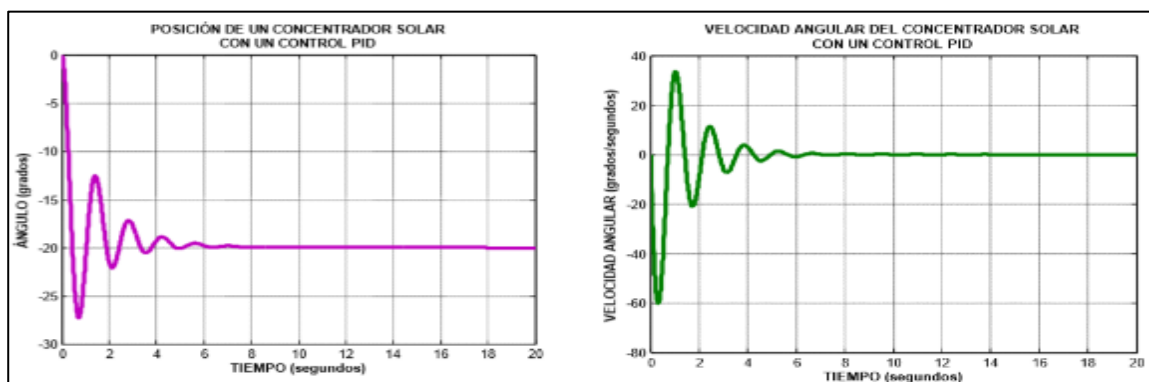


Nota: (Salgado Conrado, 2010, p. 54)

En la figura 48 se observa que el concentrador ha llegado $\theta_d = 20^\circ$, concluyendo que las ganancias K_d , K_i y K_p fueron elegidas correctamente, el error es igual a cero (Salgado Conrado, 2010, p. 55)

Figura 48

Posición y velocidad angular del concentrador solar con un control PID



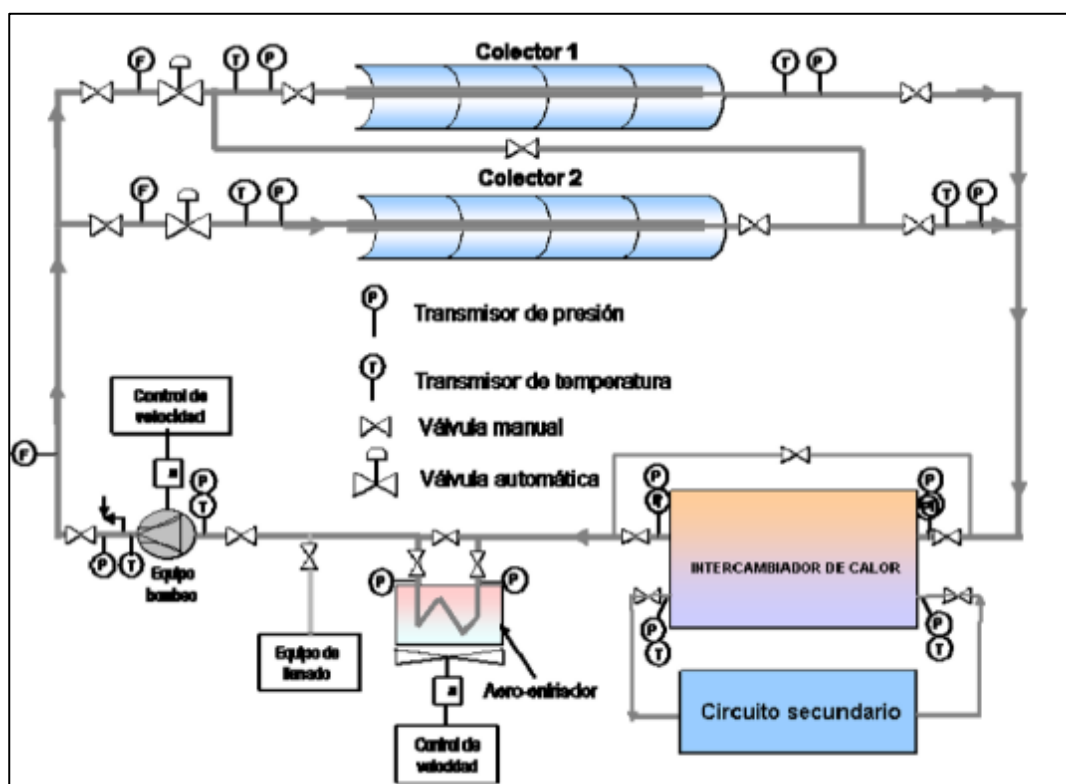
Nota: (Salgado Conrado, 2010, p. 55)

Instrumentos para control en los sistemas térmico CCP

Las variables: temperatura, presión y flujo son los utilizados para los diferentes análisis del comportamiento del sistema térmico de media temperatura basado en CCP. En la figura 49. Se puede identificar todas variables de entrada y salida de cada una de las etapas que componen el sistema.

Figura 49

Esquema simplificado de la instalación experimental para fluidos innovadores



Nota: (Salgado Conrado, 2010, p. 55)

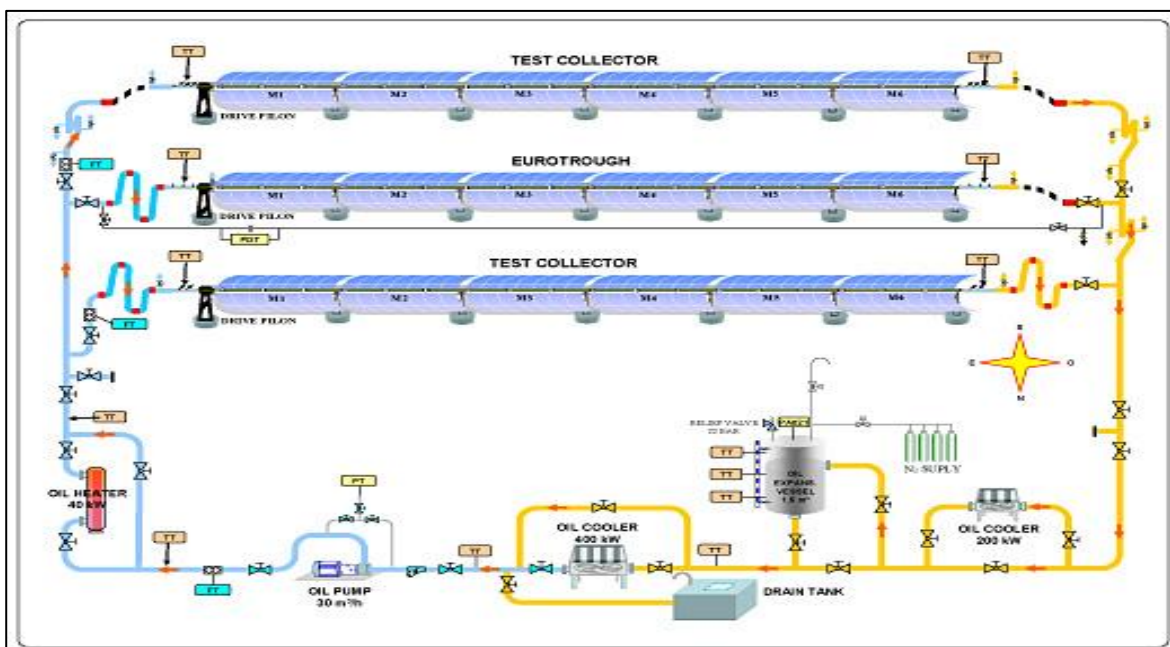
Partiendo de una captador de cilindro parabólico de clase LS-3, en 1997, el lazo de ensayo HTF fue instalado siendo idóneo para procesos de evaluación, en situaciones reales de

operaciones con energía solar concentrada, componentes para instalaciones con captadores cilindros parabólicos. (Ciemat, 2017)

Conectado a un captador solar la instalación original presentaba un circuito cerrado con aceite térmico, donde un captador solar conformado por 4 módulos que posean cilindros de la clase LS-3, de 12 m de largo y 5,7 m de apertura, con total de captación solar de 274 m². El aceite térmico usado en esta instalación (Syltherm 800) tiene una temperatura máxima de de 420°C, y un punto de congelación de -40°C. El captador de energía solar apunta su eje rotatorio al Este-Oeste, posibilitando aumentar el número de horas por año en las que el ángulo de incidencia de la radiación solar es menor a 5° (Ciemat, 2017).

Figura 50

Esquema de la instalación de ensayo de captadores solares cilindro parabólicos Lazo HTF



Nota: (Ciemat, 2017)

Con una presión máxima de trabajo de 16 bares, el circuito de aceite de esta instalación está constituido por estos elementos:

- Recipiente de expansión del aceite con capacidad de 1m^3 , con sistema automático de inertización a través de nitrógeno.
- Tanque de drenado del circuito de aceite.
- Enfriamiento de aceite a través de flujo de aire, con una capacidad tope de enfriamiento de 400 kW. Además, posee un regulador de velocidad que permite controlar el flujo de aire.
- Con un flujo de 8,3 L/s, posee una bomba centrífuga de aceite.
- Presenta un calentador de aceite, de 40 kW, 3 x 380 V. (Ciemat, 2017)

La conexión presenta con dispositivos para medir y de vigilancia para el análisis de los compuestos siguientes:

- Captadores cilindro parabólicos modelos (con una máximo de 75m de longitud).
- Los captadores cilindros parabólicos poseen espejos.
- Los captadores cilindros parabólicos están provistos de tubos absorbedores.
- Los captadores cilindros parabólicos presentan nuevos prototipos de interconexiones.
- Sistemas que le dan seguimiento al sol.
- Instrumentación. (Ciemat, 2017)

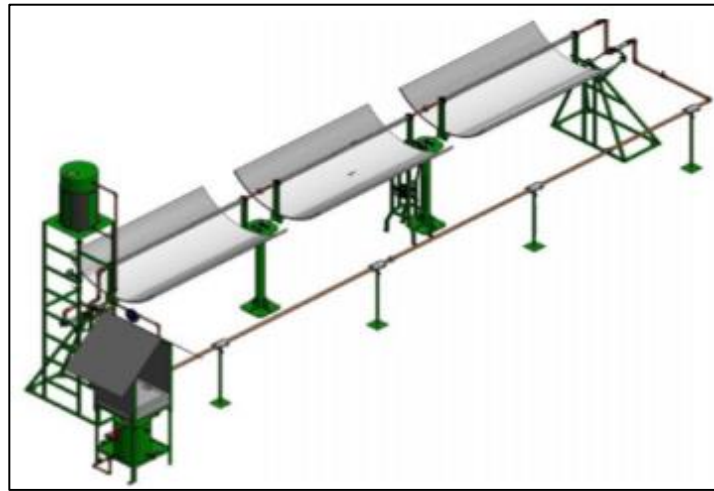
Repotenciación de un Colector Cilíndrico Parabólico

Con la realización del proyecto “INGENIERÍA INVERSA Y REPOTENCIACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN, TOMA DE DATOS Y CONTROL DEL COLECTOR CILÍNDRICO PARABÓLICO DE 7.2 M2” se pretende reparar y disponer de un equipo de experimentación de Energías

Renovables óptimo con mejoras en su diseño aplicando conocimientos de Automatización, Mecanismos y Transferencia de Calor. (Orbea Samaniego & Silva Bravo, 2014, p. 33)

Figura 51

Plano conjunto del colector cilíndrico parabólico



Nota: (Orbea Samaniego & Silva Bravo, 2014, p. 29)

Se diseñará, construirá e implementará un conjunto mecánico, que brinde un movimiento automático a los colectores parabólicos durante todo el día, así como un sistema de adquisición de datos junto con la programación de un software con lo que se tendrá un estudio más sensible del comportamiento del colector cilíndrico parabólico. (Orbea Samaniego & Silva Bravo, 2014, p. 34)

Se adquiere los datos de las siguientes variables:

T1 Temperatura del aceite térmico a la entrada del concentrador (°C)

T2 Temperatura de la cubierta del vidrio (°C)

- T3 Temperatura del panel concentrador (°C)
- T4 Temperatura del tubo de cobre (°C)
- T5 Temperatura del aceite térmico a la salida del concentrador (°C)
- T6 Temperatura del aceite térmico a la entrada de la cocina (°C)
- T7 Temperatura de la bandeja de la cocina (°C)
- T8 Temperatura al interior de la tapa de la cocina (°C)
- T9 Temperatura al exterior de la tapa de la cocina (°C)
- T10 Temperatura del aceite térmico a la salida de la cocina, que también corresponde a la temperatura del aceite térmico a la entrada del tanque calentador (°C)
- T11 Temperatura del aceite térmico a la salida del tanque calentador (°C)
- T12 Temperatura ambiente (°C)
- S1 Caudal másico del aceite térmico (kg/s)
- S2 Posición angular de los concentradores (°) (Orbea Samaniego & Silva Bravo, 2014, p. 34)

Figura 52

Instalación de caja de control



Nota: (Orbea Samaniego & Silva Bravo, 2014, p. 216)

Variables del modelo de parámetros concentrados

Expresando la variación de la energía interna en función del tiempo en el volumen total del campo y considerando que dichas variaciones son igual a la diferencia entre la energía incidente y la energía transferida y transportada por el fluido considerando las pérdidas, se tiene la siguiente expresión. (MORALES CARO, 2013, pp. 30-32)

$$C \frac{dT_{out}}{dt} = \eta_0 S I_{rr} - V \rho c_p (T_{out} - T_{in}) - H_l (T_m - T_{amb}) \quad (1)$$

En donde:

T_{out} : Temperatura de salida del campo solar.

I_{rr} : Radiación efectiva.

T_{in} : Temperatura de entrada del campo solar.

T_m : Temperatura media entrada-salida.

T_{amb} : Temperatura ambiente.

V : Caudal de aceite.

ρ : Densidad.

C_p : Calor específico a presión constante.

H_l : Coeficiente de pérdidas térmicas.

C : Capacidad térmica del fluido.

η_0 : Eficiencia óptica del colector.

S : Superficie efectiva.

Las variables indicadas son las que se utilizan para modelar el comportamiento de un colector, sin embargo, hay que incluir las variables de los demás sistemas externos cuando se analiza un sistema térmico completo.

Scada para CCP

A continuación, mencionamos algunas plantas solares que utilizan Sistemas Scada para el control y monitoreo; Otras cuentan con simuladores por temas de investigaciones y mejoras en sus procesos.

La plataforma solar de Almería (PSA)

Se presenta como el mayor centro de investigación, ensayo y desarrollo en Europa y se dedica a las tecnologías solares concentradas. Este centro perteneciente al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). (Almeria, 2017)

La planta está diseñada para calentar el gas que circula por los tubos concentrando la luz solar a través de una serie de cristales cóncavos, elevando la temperatura de este gas hasta unos 300°C. Luego, la energía se usa en el proceso de intercambio de calor, ya sea directamente convertida en electricidad o almacenada para su uso posterior. (Cuenca Ruiz, 2016).

Figura 53

Captadores cilíndricos parabólicos CIEMAT



Nota: (Cuenca Ruiz, 2016)

La gestión de la mencionada planta se compone de:

- Automatizar y controlar el proceso de presurización, temperatura y caudal de gas circulante mediante ventiladores.
- Todos los elementos auxiliares del proceso de circulación del gas, sondas, válvulas, enfriadora, etc, se automatizan y controlan.
- Control y gestión de los concentradores solares. Comunicación con sistemas de vigilancia, control de radiación.
- Supervisión en sistema centralizado de los procesos de la planta, para gestión de operario.
- Sistemas de recolección de datos para información y estudios estadísticos

Figura 54

Control y Monitoreo con el Sistema SCADA

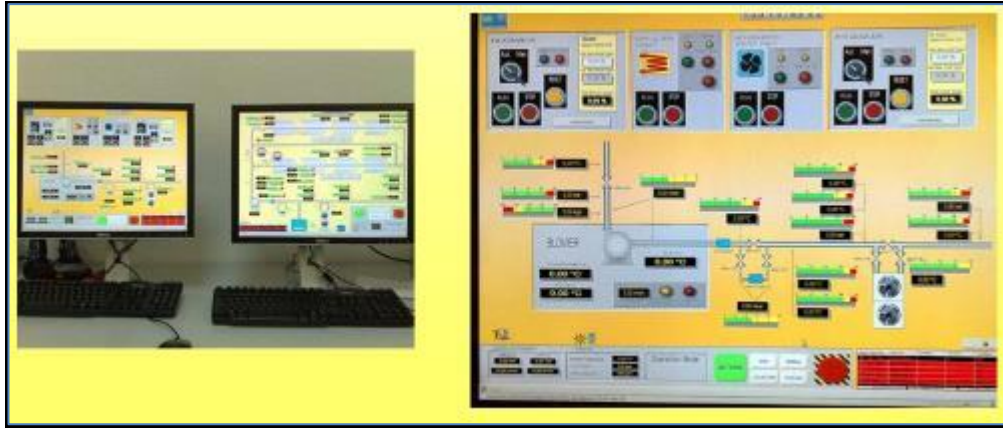


Nota: (Cuenca Ruiz, 2016)

- Un sistema de monitoreo de fábrica centralizado que consta de dos computadoras, conectadas en tiempo real, conectadas por Ethernet, conectadas directamente a PLC, es responsable de la gestión de la fábrica.
 - Visualización en tiempo real de todos los elementos y parámetros del dispositivo con una interfaz de operador para comunicación bidireccional, habilitada a través de un conjunto de entradas – salidas de PLC o RS485 y un protocolo dedicado para una tarjeta especial.
 - Sistema de recolección de datos para el procesamiento estadístico.
 - Registrar y guardar parámetros de forma selectiva cada 1, 3 o 5 segundos.
- Pantallas gráficas para control de producción en tiempo real.

Figura 55

HMI SCADA.



Nota: (Cuenca Ruiz, 2016)

Figura 56

Sistema de control phoenix contact.



Nota (Cuenca Ruiz, 2016)

Simulación CCP Universidad de Alcalá

La SCADA Visu + ha sido la herramienta mayormente utilizada en la realización de simulaciones de funcionamiento en la planta termo solar CCP que además posee un almacenamiento térmico, cuando varían las entradas/salidas (I/O). (González Cuesta, 2015, p. 11)

Elegir la herramienta Visu + se debe a múltiples factores, operación fácil de usar, capacidades de ingreso de datos, representación gráfica en la pantalla y, finalmente, SCADA, que realiza simulaciones pequeñas e impecables en múltiples pantallas, función del sistema de control distribuido (DCS-Distributed Control System), que participa en la propia instalación solar térmica de los distintos sistemas que en ella operan. (González Cuesta, 2015, p. 21).

Figura 57

Pantalla principal de colectores



Nota: (González Cuesta, 2015, p. 71).

Funcionamiento de las plantas termosolares basado en la simulación de este proyecto

Esta actividad es una demostración del funcionamiento de una instalación SCADA, necesaria para la explicación y comprensión general de las instalaciones solares. Programa basado en condiciones de trabajo:

Arranque o parada. Para cualquier operación, es importante conocer el estado de la planta industrial para ver si está sujeta a desgaste.

Función de la planta. La planta puede funcionar de varias formas, dependiendo de si opera durante el día, la noche o durante un día con poca luz solar. Se muestran tres LED:

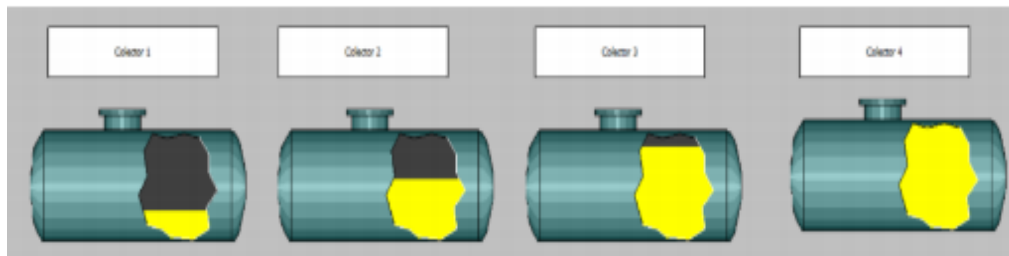
- Led de horario diurno.
- Led en horario nocturno.
- Led para un día con poca radiación.

Activación o desactivación de las variables de los diferentes sistemas. Una planta de energía solar tiene muchos sistemas diferentes y tiene múltiples pantallas que muestran si cada sistema está en funcionamiento.

Funcionamiento de la pantalla de los colectores solares. Otro sensor está vinculado a la temperatura de entrada del usuario, que representa el cambio de temperatura y, por lo tanto, simula la radiación solar. Cuando el manómetro se cambia a una temperatura más alta o más baja, los recipientes aumentarán su temperatura indicada por un líquido amarillo, y a temperaturas más altas, el líquido aumentará. La temperatura de entrada es un punto de partida que se transmite a muchos otros colectores, muchos de los cuales son visibles. El valor de la variable es mayor en el cuarto y último cilindro. (González Cuesta, 2015, pp. 62-64).

Figura 58

El gradiente térmico en los cuatro colectores

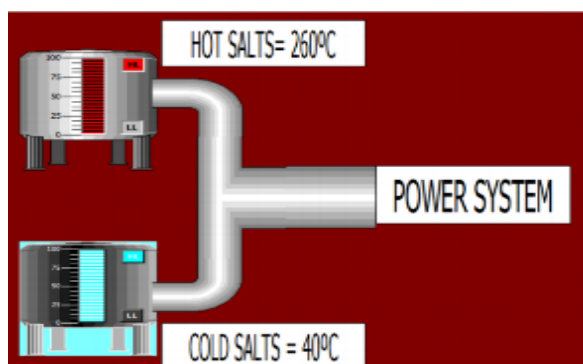


Nota: (González Cuesta, 2015, p. 64).

Funcionamiento de la pantalla de almacenamiento térmico que está en funcionamiento una vez que la planta entra en arranque. El almacenamiento térmico se utiliza para explicar el funcionamiento de las sales, que sirven para almacenar calor cuando hay una temperatura suficiente mayor a 150 °C. Y cuando no hay una suficiente radiación, habiendo una temperatura del fluido HTF menor a de 150 °C entonces las sales son las que simulan, que gracias a ellas se genera la electricidad.

Figura 59

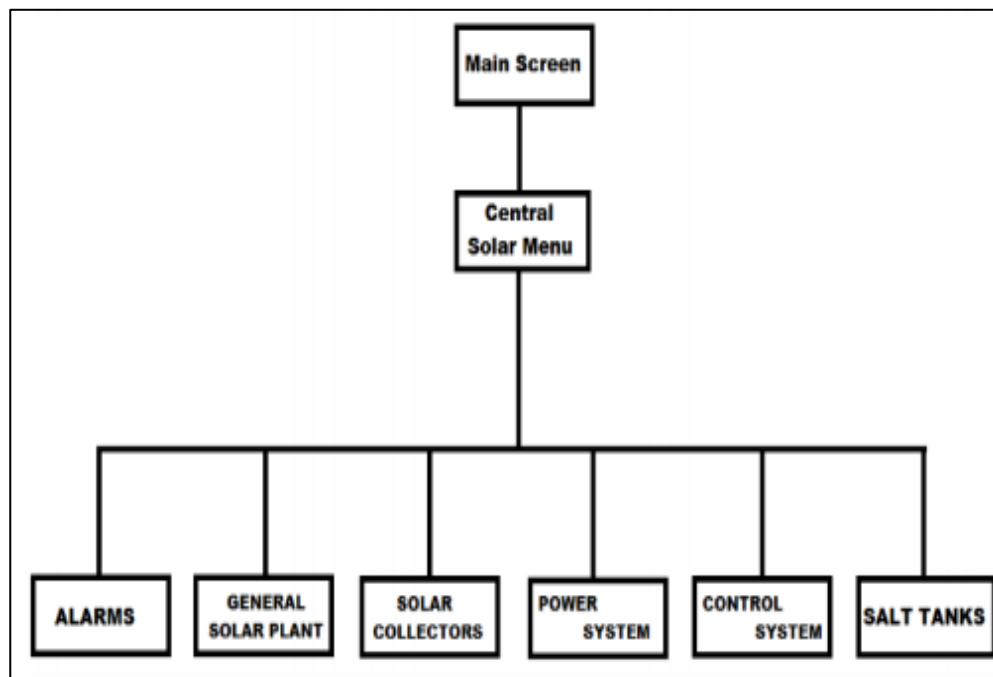
Tanque de sal para almacenamiento



Nota: (González Cuesta, 2015, p. 65).

Figura 60

Esquema general de la simulación en visu +



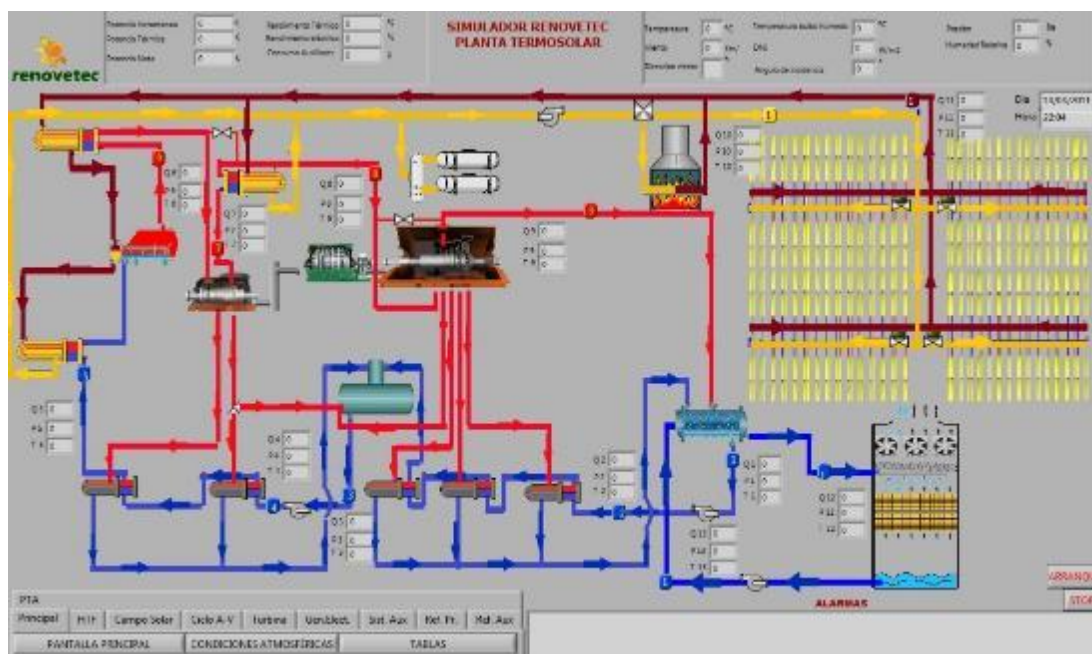
Nota: (González Cuesta, 2015, p. 68).

La simulación del sistema solar RENOVETEC

Teniendo en cuenta los parámetros más habituales del campo solar formado por los colectores de euro conversión, se ha determinado la cantidad de radiación que influirá en el tubo absorbedor del módulo durante 8.760 horas, es decir, un año, se ha estimado. Por tanto, dada la radiación disponible, el ángulo de influencia de la radiación con el plano que determina el área de apertura del colector y las características del tubo de absorción, es posible simular el posible aumento de temperatura. en el refrigerante a su paso por el módulo solar, en función de la velocidad a la que lo atraviesa, así como de la fecha y hora de la simulación. (García Garrido, 2013)

Figura 61

Scada recogida de datos para operación de la planta



Nota: (Garcia Garrido, 2013)

La simulación de la planta solar ha sido probada exhaustivamente, comparando su valor con el funcionamiento real de una de las plantas solares ubicadas en la provincia de Ciudad Real. De esta forma, se puede comprobar que en todo el rango de funcionamiento desde el 10% de carga hasta el 115%, los valores de todas las variables simuladas tienen una desviación inferior al 0,6% del ajuste real. En variables que representan distancias mayores, es posible comprobar cómo se produce el fallo, falla o fallo de calibración, por lo que se puede argumentar que, si existe una desviación entre los simuladores por desarrollo de RENOVETEK y fábricas simuladas realistas, será muy conveniente comprobar este último. (Garcia Garrido, 2013)

El simulador incluye únicamente 20 pantallas de control que simulan todos los sistemas que integran una planta solar:

- Sistema HTF
- Generador
- Tren de generación de vapor
- Turbina de vapor
- Campo solar
- Sistemas auxiliares (BOP)
- Ciclo Agua Vapor
- Sistemas eléctricos (Garcia Garrido, 2013)

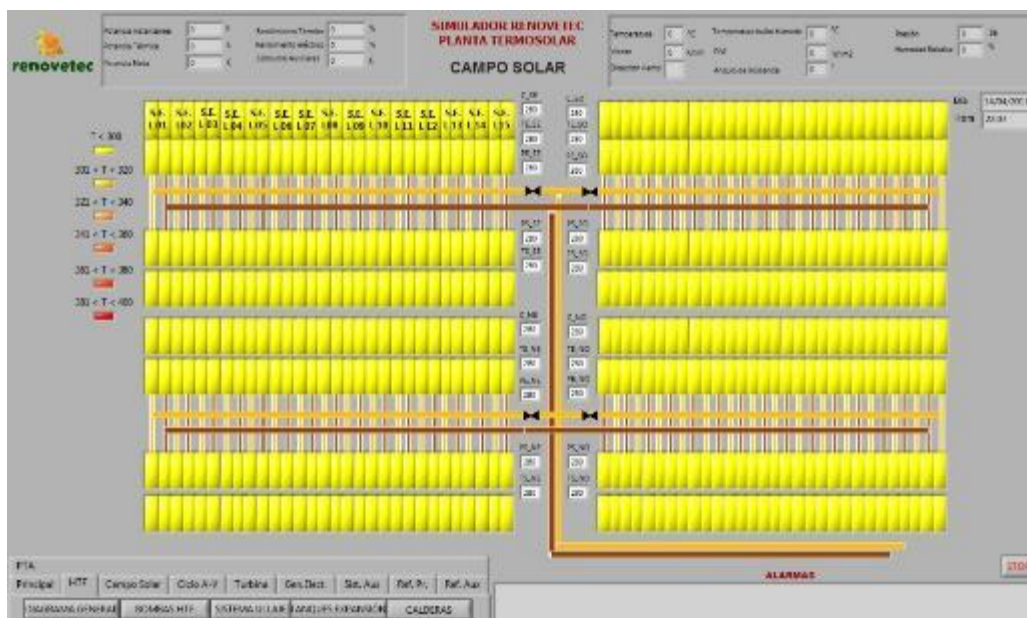
Simulación campo solar

Quien opera la planta puede opcionalmente abrir o cerrar los circuitos para lograr la temperatura y el caudal deseados en el sistema HTF, y puede des focalizar parcialmente los divisores de la misma manera que en la fábrica. La atenuación puede afectar un bucle, un subcampo de 30 lazos o todo el campo solar. (Garcia Garrido, 2013)

El simulador también calcula el número de Reynolds correspondiente a la circulación del refrigerante. El sistema emite un aviso si este número adimensional desciende por debajo de 300.000, valor que RENOVETEK considera el valor mínimo que se debe mantener durante la instalación para evitar una posible degradación del refrigerante por sobrecalentamiento calentado en la capa líquida más cercana al tubo metálico del absorbente. (Garcia Garrido, 2013)

Figura 62

Scada simulación campo solar



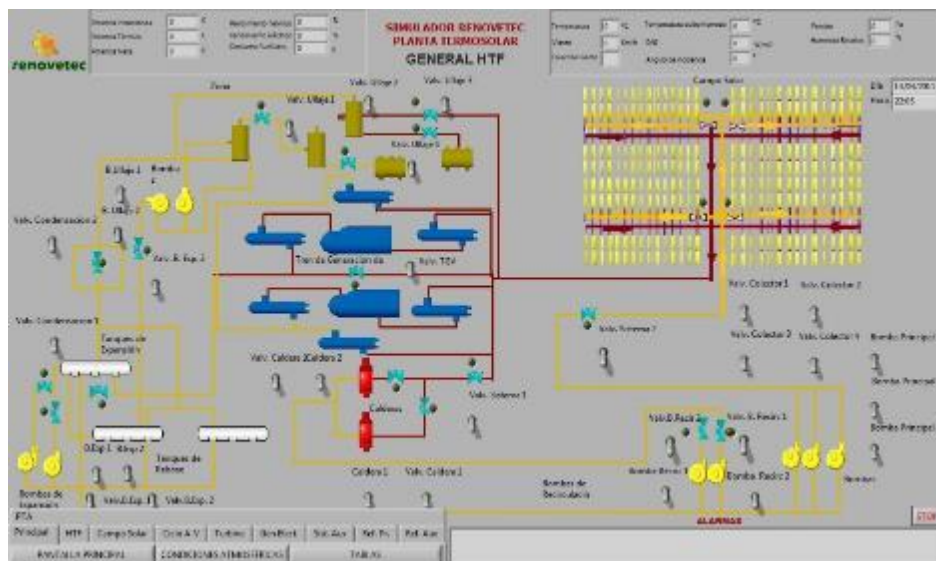
Nota: (Garcia Garrido, 2013)

La simulación del sistema HTF

El operador tiene la decisión de seleccionar la temperatura deseada del refrigerante. Por efecto de fábrica, el sistema selecciona 393°C; sin embargo, el operador es libre de cambiarlo dentro de ciertos límites para observar el efecto producido por cada parte del dispositivo. Entonces, el operador puede ver cómo cambiar la velocidad de la bomba y, por lo tanto, el flujo de fluido, afecta significativamente la temperatura en la entrada del HTF al campo solar. (Garcia Garrido, 2013)

Figura 63

Scada simulación intercambio de temperatura (HTF)



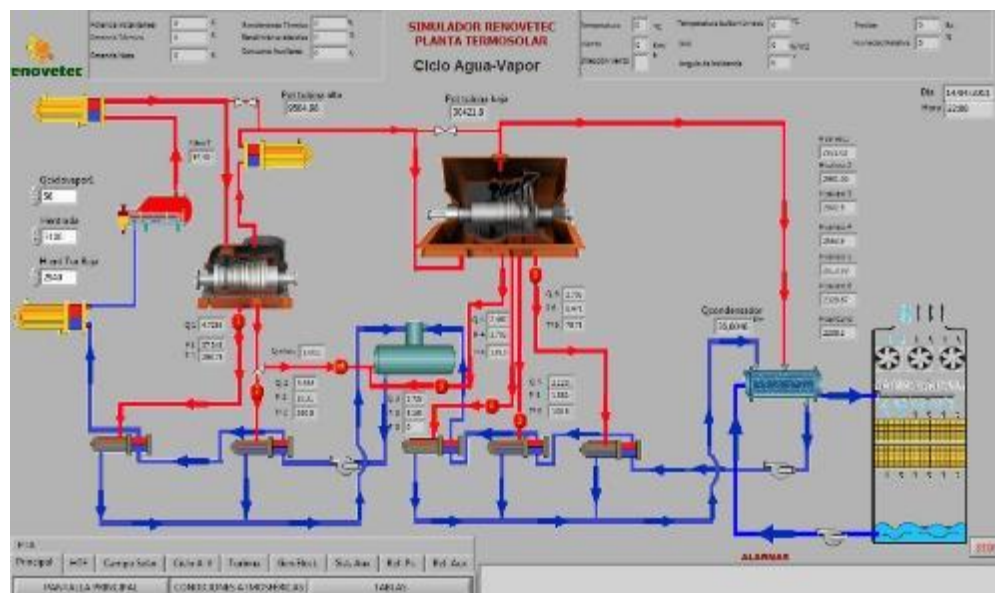
Nota: (Garcia Garrido, 2013)

La simulación del ciclo de vapor

Para realizar tales simulaciones, primero se debe tomar en consideración el caudal y la temperatura del refrigerante que ingresa a los intercambiadores de calor y, en segundo lugar, las condiciones atmosféricas. Teniendo en cuenta estos valores y las especificaciones de todos los equipos relevantes (intercambiadores de calor de la línea del generador de vapor, bombas de agua de alimentación y de condensado, torres de refrigeración, bombas del circuito de refrigeración principal, condensadores, etc.), etc.) simular lo que sucede cuando la temperatura ambiente, la presión, humedad, parámetros de ingeniería cambian equipos clave (se pueden personalizar), todo gráfica y visualmente.

Figura 64

Scada simulación ciclo de vapor



Nota: (García Garrido, 2013)

Metodologías aplicadas a proyectos CCP

En esta sección se detalla la metodología que fueron utilizadas en algunos proyectos de energía solar térmica con colectores cilíndricos parabólicos.

Metodología aplicada a centrales de 50 MW

Según (Guillamón López, 2012) La metodología utilizada en la ejecución de este proyecto. “Central Termosolar de 50 MW en Murcia con Colectores Cilíndricos Parabólicos” Se describirá resumiendo el trabajo realizado en orden cronológico. Se divide en cinco etapas.

- **Primera fase:** Se realizó un análisis de la idoneidad de la ubicación del sitio de partida para la instalación del sistema solar térmico. Más allá de la capacidad de configuración de fábrica.
- **Segunda fase:** Se ha tomado una decisión sobre los principales equipos a utilizar en la planta, como el tipo de colector, portador de calor y tubo de absorción, entre otros.
- **Tercera fase:** se han calculado los principales parámetros de la central termo solar, tanto en lo que respecta al campo solar en si como a la central eléctrica que le acompaña.
- **Cuarta fase:** se ha llevado a cabo un amplio estudio económico con el objetivo de confirmar la viabilidad del proyecto, así como los aspectos económicos más significativos.
- **Quinta fase:** Sacar conclusiones de los resultados obtenidos en periodos anteriores. (Guillamón López, 2012, p. 14).

Metodología aplicada a sistemas de concentración solar para la generación de vapor de agua

Según (Polo Bravo, Sacari Sacari, & Choque Chacoll, 2011) en el proyecto “Primeros resultados de un sistema solar centralizado para la producción de vapor”, se encontró que para desarrollar este trabajo se utilizó el siguiente proceso:

- **Diseño de los sistemas:** para lo cual se ha tenido que revisar las referencias bibliográficas correspondientes, a efectos de conocer los aspectos teóricos y de funcionamiento.

- **Dimensionamiento:** realizado sobre la base de las dimensiones de la plancha de aluminio anodizado, tubo receptor de cobre, vidrio cobertor del tubo absorbente, y material para la estructura de soporte, y sobre el potencial del recurso solar disponible en la región
- **Construcción:** en base a los dos primeros pasos, se dibuja una geometría adecuada, prestando especial atención a la figura, para minimizar la pérdida óptica y maximizar la concentración de radiación solar en el sistema.
- **Evaluación:** una vez construidos los sistemas se procede a colocar los diferentes sensores para medir temperaturas del fluido de trabajo a lo largo del tubo absorbedor cada 0,80 m, a efectos de la caracterización térmica, temperatura ambiente, Irradiancia solar incidente sobre la superficie reflejante.
- **Procesamiento de Datos:** con los datos experimentales obtenidos, y los parámetros dimensionales y ópticos de los sistemas se realizan los cálculos correspondientes.

Metodología aplicada a tecnologías para desalinizar agua, por medio de energía solar térmica

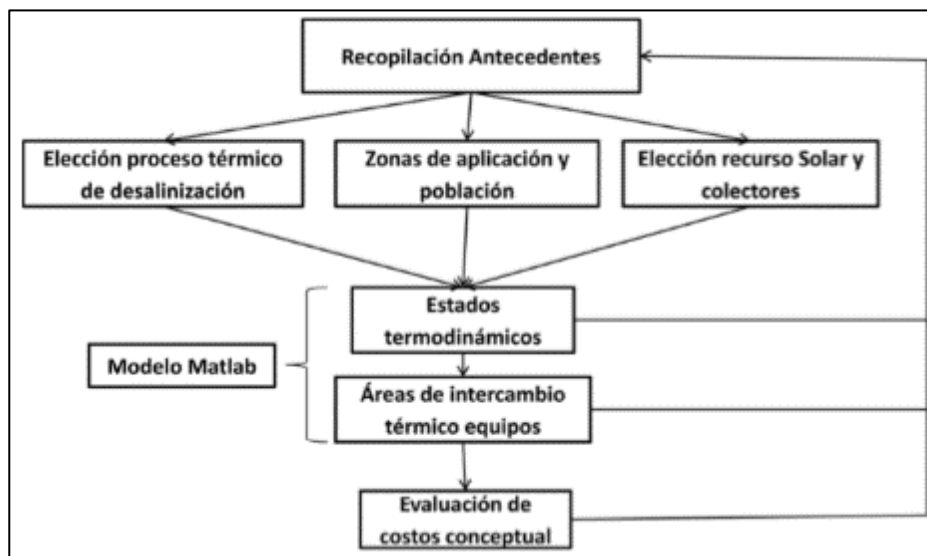
Según (LOBOS OPITZ, 2015) en su proyecto “EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE TECNOLOGÍAS PARA DESALINIZAR AGUA, POR MEDIO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA, EN EL NORTE DE CHILE” la metodología es la siguiente: Escogidas unas cinco localidades, se hace un análisis del recurso solar existente en esas zonas. De esta forma se puede evaluar aquellas que presenten mejor radiación y aquellas que muestren la peor.

Después de seleccionar el método de desalinización, se genera un modelo computacional para obtener los estados termodinámicos apropiados y las zonas de transferencia de calor del dispositivo.

El modelo en cuestión se programa por medio del software Matlab. Con el modelo completo se pueden evaluar los distintos casos en estudio. Dichos casos difieren principalmente en la cantidad de agua meta a producir, determinada por la cantidad de población. Lo anterior permite determinar el calor requerido a aportar y, después, el área de colectores solares requerida. Finalmente se procede a hacer una evaluación económica conceptual con tal de poder estimar cuánto cuesta una planta de esta envergadura.

Figura 65

Esquema de la metodología a seguir



Nota: (LOBOS OPITZ, 2015, p. 21)

Diseño de lineamientos metodológicos para la introducción de plantas de energía solar en la producción de energía eléctrica en Ecuador

Muestra el análisis a seguir para elegir la mejor ubicación, capacidad de planta y tecnología a utilizar. (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 37).

Desarrollo de lineamientos metodológicos para la introducción de plantas de energía solar en la producción de energía eléctrica en Ecuador

Proyecto

Todo proyecto tiene tres componentes: inicio, duración del proyecto y finalización, y estos procesos están influenciados por factores como: técnico, legal, económico, análisis de riesgo, financiero, alcance, impacto social, ambiental y tiempo esperado. (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 154)

Restricciones del Proyecto

Los proyectos tienen un propósito u objetivo que puede variar según el tipo de empresa o institución que produce el producto, pero todo proyecto tiene tres parámetros básicos que se deben cumplir, llamados restricciones triples: alcance, tiempo y costo. (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 154)

Guía de diseño técnico para una planta Termo Solar de CCP

El objetivo principal es demostrar los conceptos y criterios del análisis técnico, así como la selección específica de sus diversos componentes.

Ubicación óptima para la central

Este parámetro determina el punto de partida para el diseño de cualquier planta termo solar. (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 170).

Condiciones climatológicas

La condición meteorológica se obtiene de la estación meteorológica Loja - La Argelia, que se encuentra aproximadamente a 124 kilómetros de la ubicación de la planta termo solar seleccionada (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 44).

Tabla 4

Condiciones climatológicas de Loja-La Argelia

Tabla Anual					
Mes	T	TM	Tm	VV	PT
Enero	22	24.5	9.9	4.64	114.6
Febrero	21.74	23.4	8.9	3.96	203.1
Marzo	21.91	25.1	8.8	11.29	57.8
Abril	22.42	25.7	8.7	5.29	87.5
Mayo	21.88	23.3	7.2	9.19	58.7
Junio	21.49	23.3	7.7	13.66	86.1
Julio	21.18	25	7.3	19.23	14.2
Agosto	21.58	24.7	7.9	12.47	31.3
Septiembre	22.04	24.5	6.6	14	32.9
Octubre	22.43	25.9	9.3	6.4	40.9
Noviembre	23.26	25.3	8.1	5.01	108.1
Diciembre	22.62	25.4	7.6	7.51	86.3

Donde:

T = Temperatura media, expresada en [°C]

TM = Temperatura máxima, expresada en [°C]

Tm = Temperatura mínima, expresada en [°C]

VV = Velocidad media del viento expresada en [km/h]

PT = Precipitación total de lluvia y/o nieve derretida, expresado en [mm].

Como resultado anual de la información obtenida se deduce:

- Temperatura media anual = 22.04 °C
- Velocidad media del viento anual: 9.39 km/h
- Precipitación total anual: 921.5 mm
- Altura: 2160 m.

Los resultados son favorables para implementar una central termo solar, considerando que la precipitación pluvial es de 921,5 mm, cabe señalar que la zona no es húmeda ni lluviosa. (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 46).

Tipo de Central

Analizando las distintas tecnologías, se puede concluir que, gracias a la gran experiencia y reconocimiento mundial, el mejor equipo para el desarrollo de plantas de enriquecimiento en el Ecuador es el tipo cilindro parabólico; además, estas plantas aprovechan mejor la tierra donde serán construidas.

Tamaño de la planta

La capacidad típica de un concentrador de disco oscila entre 30 y 80 MW, y en este estudio se considerarán 50 MW como valor de diseño, debido a que este valor ha sido el diseño estándar para las centrales termo solares construidas hasta la fecha. (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 50).

Diseño de la planta termo solar

El campo de concentración solar. - Se construirá a capacidad de fábrica con algunos parámetros adicionales desarrollados en esta sección. Consta de 3 partes principales: colector y estructura, tubo de absorción y fluido caloportador. (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 52)

Colector. - Básicamente, esta es una estructura que alberga espejos y sus propios mecanismos de seguimiento solar. Su función es sostener el espejo y el tubo de absorción y mantenerlos alineados en la intemperie, especialmente en tiempo ventoso. (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 53)

Tubo Absorbedor. - Uno de los elementos más importantes del diseño del equipo es el tubo absorbedor, debido a que este es el encargado directo de recoger la radiación y convertirla en calor, y su eficiencia dependerá totalmente de sus óptimas características de diseño. (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 54)

Fluido Caloportador. - En la industria se utilizan dos tecnologías de fluidos de transferencia de calor, una es el "fluido de transferencia de calor" HTF basado en el uso de aceite y sal fundida, y la otra es la "generación directa de vapor" (DSG) que utiliza agua a presión como fluido. (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 57).

Diseño del campo de concentración solar

El inicio del diseño está basado en el desempeño del ciclo de Rankine, es decir 38%, este valor se utiliza como supuesto para el estudio basado en la experiencia con la operación actual de la planta, que es el caso de la planta ANDASOL-2. Se trata de una planta termo solar de tecnología cilindro - parabólica de concentración con una potencia instalada de 49,9 MW. (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, p. 59).

Metodología para proyectos de automatización

A continuación, un ejemplo de las etapas que componen un proyecto de automatización industrial: (Ferreira, 2016)

Etapas I (Definición del proyecto)

- Estudiar la viabilidad financiera y técnica del proceso a automatizar.

Etapas II (Definición General de dispositivos de campo)

- Identifique el tipo de sensores y actuadores necesarios para todo el proceso, ya sean digitales o analógicos, y qué variables están midiendo o activando.
- Identificar los elementos HMI necesarios.
- Determine las interfaces de comunicación requeridas en cada dispositivo.

Etapas III (Especificación y selección del controlador)

- Determinar las especificaciones requeridas del controlador.
- Realizar la gestión técnica de pedidos.
- Realizar una comparativa de los productos seleccionados, indicando las ventajas y desventajas de cada uno, teniendo en cuenta las características adicionales que ofrecen.

Etapas IV (Especificación y Selección de dispositivos de campo)

- Especificar las características técnicas de cada uno de estos elementos de acuerdo a la aplicación.
- Realizar la gestión técnica de compras de estos elementos.
- Realizar la comparación entre los productos seleccionados indicando los pros y los contras de cada uno igual que como se hizo con el controlador.

Etapas V (Programación del PLC)

- Elija el lenguaje más apropiado para su aplicación (diagrama de escalera o conjunto de diagramas).
- Describir detalladamente las funciones automatizadas con diagramas de bloques, cronogramas, etc.
- Incluye una lista de todas las variables internas utilizadas con sus funciones y estados.

Etapa VI (Comunicación, SCADA y HMI)

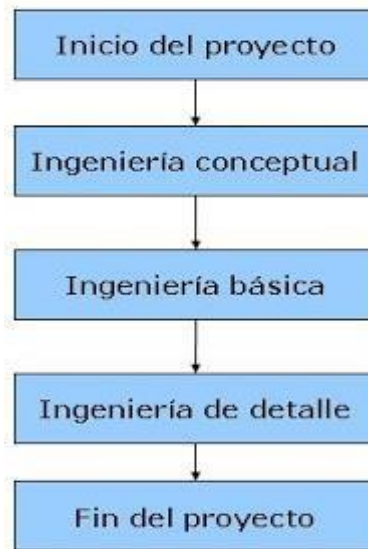
- Identificar necesidades relacionadas con otros sistemas de automatización y seguimiento, control y mantenimiento.
- Identificar las necesidades de monitoreo.
- Seleccione el software del controlador a utilizar. (Ferreira, 2016)

Metodología proyectos de automatización (Ingeniería conceptual, básica y detalle)

Cuando comienza un proyecto de ingeniería, independientemente del tipo de proyecto, se puede abordar con la ayuda del diagrama a continuación:

Figura 66

Esquema de la metodología Ingeniería de Proyectos



Nota: (Moreno Gomez , 2016)

Muchos proyectos pueden simplemente fallar en esta etapa de desarrollo, debido a una rentabilidad muy baja, una relación costo-beneficio insatisfactoria o alguna otra razón, así que KS. Concepto y básico son diferentes. (Moreno Gomez , 2016)

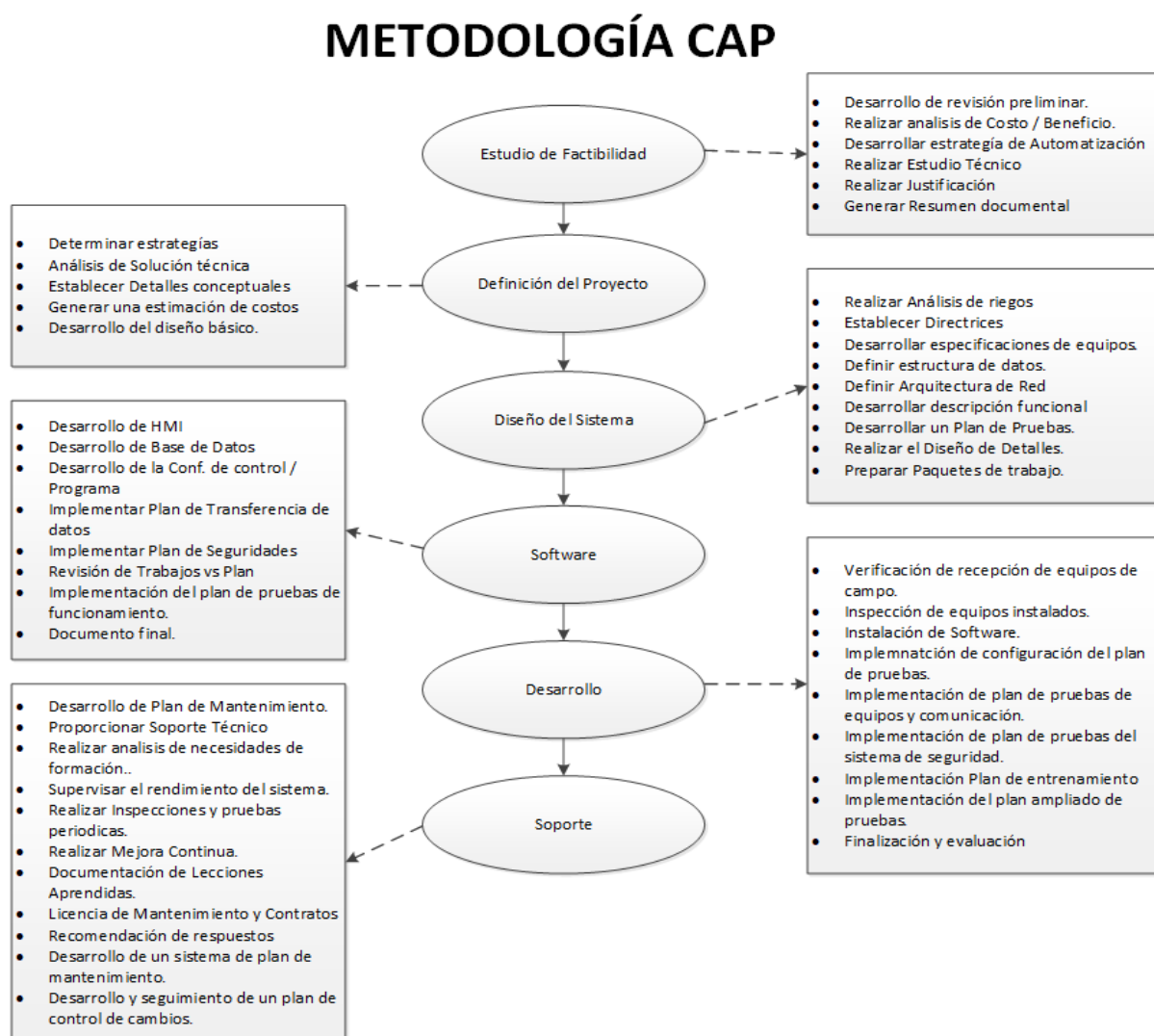
Metodología CAP para proyectos de automatización

A diferencia de los modelos PMI, la determinación del modelo CAP (Certified Automation Professional) para proyectos de automatización e instrumentación ISA se puede realizar durante la fase de definición del proyecto. Conceptualmente, puede dirigirse a su audiencia durante la fase de diseño del sistema. En la fase básica y de expansión, el Ing. de detalles.

Actualmente los proyectos de automatización industrial e instrumentación, están basando su implementación a través de la guía de maduración de proyectos CAP de ISA (International Society of automation). (Moreno Gomez , 2016).

Figura 17

Esquema de la metodología CAP



Nota: (Moreno Gomez , 2016)

Capítulo 4.

Metodología de Control y Monitoreo

De acuerdo a la investigación realizada, hasta el momento no se cuenta con una metodología desarrollada para la implementación de proyectos de Sistemas solares de media temperatura con tecnología de Concentradores Cilíndricos Parabólicos (CCP). La Universidad de la Fuerzas Armadas - ESPE siempre a la vanguardia de la tecnología y aprovechamiento de Recursos Renovables ha puesto en marcha un proyecto prototipo para de investigación en el campo Solar, el cual se lo ha llamado CCP_ESPE. La actual investigación tendrá como objetivo dar una guía metodológica para futuros proyectos en el país.

La propuesta de metodología se desarrolla tomando en cuenta la ingeniería conceptual, básica, y la de detalle, en conjunto con el modelo CAP (Certified Automation Professional) que es específica para proyectos de Automatización y Control. Del modelo CAP se tomará aspectos representativos aplicados a la automatización y monitoreo basado en SCADA para Sistemas solares con Concentradores Cilíndricos Parabólicos. Además, se integra la metodología tradicional con sus 5 etapas: Inicio, planificación, ejecución, Evaluación y cierre.

La metodología propuesta se aplicará a un sistema que ya se encuentra implementado y del cual se requiere un análisis y caracterización del sistema considerándolo desde el diseño hasta el soporte técnico.

Además, en la metodología propuesta se detalla cada una de las etapas para el desarrollo del monitoreo y control del CCP_ESPE. Las etapas de factibilidad y otras que conforman la

metodología completa se incluirá las referencias bibliografías respectivas, así como fragmentos de investigaciones realizadas sobre el prototipo.

Descripción de la Metodología Completa

Se ha considerado como base la metodología CAP de ISA para realizar la propuesta de metodología para el CCP_ESPE, por el detalle en cada una de las fases del proyecto y su alcance enfocado en el servicio técnico. Las etapas se detallan a continuación:

- Factibilidad del Proyecto
- Definición del Proyecto
- Diseño del Sistema
- Software
- Desarrollo, implementación física y pruebas
- Soporte Técnico y Mantenibilidad

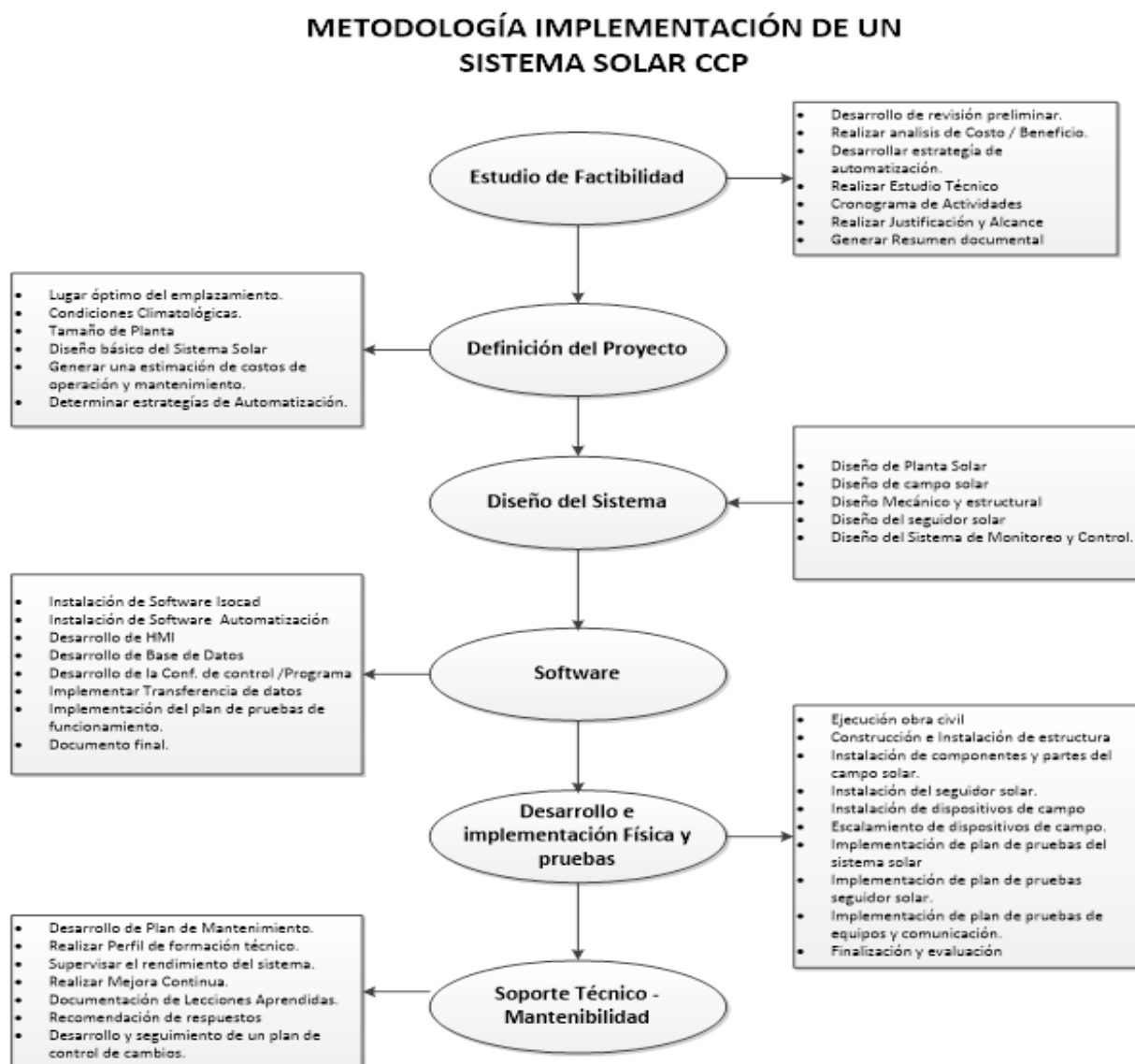
La metodología de Ingenierías según (Moreno Gomez , 2016) la ingeniería conceptual forma parte de la definición el proyecto, la ingeniería básica se encuentra dentro del diseño del sistema, y la ingeniería de detalle es parte de la etapa de desarrollo.

A continuación, se detalla cada una de las fases de la metodología propuesta, complementando con el desarrollo de cada una de ellas. Se Enfoca en los subsistemas que componen un proyecto integral para este tipo de tecnología:

1. Sistema Solar (campo, intercambiadores, entre otros).
2. Seguidor Solar
3. Monitoreo y Control

Figura 68

Esquema de la metodología para Sistemas Solares CCP



Factibilidad del proyecto

En esta sección se menciona el primer paso de la metodología propuesta y se toma como referencia un estudio anterior “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONCENTRACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR DE MEDIA TEMPERATURA CON CCP PARA GENERACIÓN DE UNA POTENCIA INSTALADA DE 16000 KCAL/HR” (Quintana & Yépez, 2015).

Desarrollo del alcance preliminar

El alcance del proyecto inicial según (Quintana & Yépez, 2015, p. 3) es el Diseño y Construcción de un sistema de concentración de la radiación solar para una potencia instalada de 16000 Kcal/h, del calor útil para ser utilizados en proyectos de calentamiento de fluidos de proceso.

El alcance de proyecto con el enfoque de monitoreo y control está contemplado en el Capítulo 1. Generalidades de esta investigación donde se menciona el alcance, los objetivos, Justificación, y se realiza el resumen de la importancia de la automatización en sistemas solares con tecnología CCP.

El alcance del proyecto del seguidor solar según (Fabara, 2016) debe completar la construcción de un modelo prototipo que pueda monitorear de manera óptima la posición del sol.

Realizar el análisis de costo/beneficio

El proyecto fue financiado por estudiantes de la Maestría de Energías Renovables con un monto aproximado de 24.000 dólares.

Por ser un proyecto de investigación en energía solar se determinó beneficio en términos de creación de nuevo conocimiento, aprovechamiento de radiación solar por parte de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Y además la creación de un prototipo para la generación de nuevas tecnologías.

El proyecto inicial tiene un costo aproximado de \$ 17.135,00, y posterior para la automatización tiene un costo aproximado de \$ 9.000. La diferencia es financiada con recursos del investigador. En total el proyecto tiene un costo total de \$26.135,00.

Realizar justificación

La justificación del sistema solar según (Quintana & Yépez, 2015, pp. 3-4) . El aprovechamiento de las energías renovables, como es el caso de la energía solar térmica se considera como una alternativa factible para contribuir en el mediano y largo plazo con el fortalecimiento de la matriz energética internacional. Sin embargo, se puede indicar que en el Ecuador existen serias dificultades en el desarrollo de tecnologías que permitan aprovechar estos recursos de manera eficiente.

La justificación del seguidor solar según (Fabara, 2016) Uno de los componentes centrales de este proyecto es el desarrollo de mecanismos que permitan el monitoreo preciso de la radiación solar y el control de todo el sistema por medios electrónicos. De esta forma se consigue la máxima irradiación solar en el canal prototipo del sistema de recogida cilíndrico-parabólico.

Una vez instalado en sistema solar el enfoque en la automatización y su justificación se encuentra en el Capítulo 1. Generalidades de esta investigación.

Definición del proyecto

Analizar soluciones técnicas

Lugar óptimo del emplazamiento: Se refiere a la selección de las características óptimas para proyectos solar de media temperatura. Referencia: (Quintana & Yépez, 2015, pp. 41-51).

Condiciones climatológicas: Se debe tomar muy en cuenta las condiciones del clima para el diseño del campo solar, especialmente para el concentrador solar. (Quintana & Yépez, 2015, p. 48).

Tamaño de planta y tipo de central: El proyecto de investigación se basa en tipo de central termo solar de media temperatura con tecnología de Concentradores cilíndricos parabólicos (CCP) y tamaño de planta de potencia 18,6 Kwh o 16.000 Kcal/h.

Diseño del sistema

En esta sección se detalla el diseño de todo el sistema solar, segmentando en subsistemas de acuerdo a la estrategia de implementación de este proyecto CCP_ESPE.

Diseño de la planta y del campo solar

Para el diseño se toma como referencia el estudio realizado por autores (Esquivel Baduy & Tixe Enriquez, 2014, pp. 51-59). Así como también el diseño desarrollado del proyecto CCP_ESPE de los autores (Quintana & Yépez, 2015, pp. 52-99).

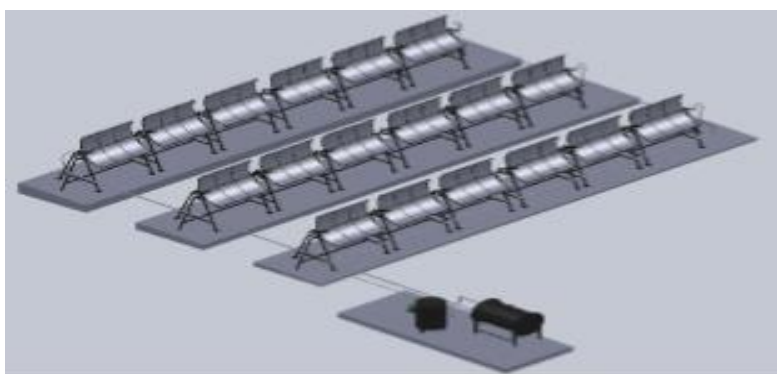
Diseño mecánico y estructural

El análisis de todo sistema se debe realizar considerando que va existir una fuerza y presión ejercida por la velocidad del viento y el torque que genera por el movimiento del eje de la parábola, el peso propio de la estructura con todos estos parámetros se puede empezar a realizar el diseño mecánico y estructural del sistema. (Quintana & Yépez, 2015, p. 100).

La referencia del diseño mecánico para este proyecto está tomada de del estudio de investigación de Autores (Quintana & Yépez, 2015, pp. 99-170).

Figura 69

Esquema sistema Solar CCP_ESPE



Diseño del seguidor solar

El diseño del seguidor solar comprende la evaluación del recorrido del sol, diseño mecánico, eléctrico, electrónico (Subrutinas del PLC) para que el sistema solar adquiriera su mayor potencia. La referencia del diseño del CCP_ESPE es del autor (Fabara, 2016, pp. 36-103).

Diseño del sistema de monitoreo y control

Parte de la metodología a implementar es el diseño de la Automatización del sistema solar de media temperatura basada en la tecnología de concentradores CCP_ESPE, lo cual nos permite mantener el sistema controlado y realizar mejoras para su máxima eficiencia.

Figura 70

Sistema CCP_ESPE instalado



Desarrollar especificaciones de equipos

Para la caracterización del diseño del Sistema de Media temperatura con tecnología CCP nos referiremos a la tesis "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONCENTRACIÓN

DE LA RADIACIÓN SOLAR DE MEDIA TEMPERATURA CON CCP PARA GENERACIÓN DE UNA POTENCIA INSTALADA DE 16000 KCAL/HR” (Christian Quintana y David Yépez, 2015) en la cual encontramos los parámetros de diseño del sistema.

También se considerará hoja técnicas y temas de tesis relacionados a los equipos y subsistemas instalados (Fluido para transferencia de calor, Diseño de la Caldera, entre otros).

Determinación de parámetros críticos y medibles

Tomaremos como referencia el modelo de parámetros concentrados desarrollado por Rubio, et al., 2006 para determinar los parámetros críticos y medibles en el CCP_ESPE, lo cual nos ayudará a mantener bajo control el sistema:

I: Irradiancia (w/m²).

T_{out}: Temperatura de salida del campo solar (°C).

T_{in}: Temperatura de entrada del campo solar (°C).

T_{amb}: Temperatura ambiente (°C).

T_{ac}: Temperatura aceite térmico (°C).

T_{rc}: Temperatura radiación concentrada (°C).

P_{in}: Presión de entrada fluido térmico del campo solar (psi).

P_{in}: Presión de salida fluido térmico del campo solar (psi).

P_{in_a}: Presión en el Caldero de agua (psi).

T_a: Temperatura del agua en el Caldero (°C).

P_{os}: Ángulo de posición del campo solar (θ).

C_d: Caudal de aceite en proceso (gl/min).

Tabla 5*Caracterización de parámetros del Sistema CCP_ESPE*

Parámetro	Rango	Unidad	Página	Referencia
Sistema solar de media temperatura con tecnología CCP	100 a 390	°C	Diapositiva 27	Instalación de sistema térmico de media y alta temperatura (Msc. José María Barea)
Temperatura ambiente	12 a 23	°C		Nasa
Temperatura tubo absorbedor (Radiación concentrada)	0 a 400	°C	Catalogo 2012	Siemens UVAC 2010
Presión de ingreso campo solar	27	PSI	Diapositiva 30	Estudio y selección de un fluido térmico para aplicaciones de la energía solar de media temperatura con concentraciones
Presión de salida campo solar	27	PSI		
Irradiación media	834	W/m2		
Temperatura de entrada del campo solar	55,72	°C	Diapositiva 02	Francisco Pérez y Marco Salgado (diciembre 2015) con el tema "Diseño y construcción de un caldero con capacidad de 0.5 metros cúbicos para vaporización de agua con energía solar térmica de media y alta temperatura
Temperatura de salida del campo solar	60.16	°C		
Presión de ingreso		PSI		
Temperatura de trabajo del caldero	150	°C		
Temperatura de agua en el caldero 6 horas	26.43 a 56.43	°C		
Presión diseño caldero	55	PSI		
Diseño temperatura del aceite	15 a 73	°C	Pag.57	Diseño y construcción de un sistema de concentración de la radiación solar de media temperatura con CCP para generación de una potencia instalada de 1600 KCAL/HR
Temperatura aceite térmico comercial Shell térmico oil B	0 a 340	°C	Hoja técnica pag.1	
Eficiencia del sistema	65	%	Pag. 211	
Capacidad reservorio aceite	0.26	m3	Pag.185	
Capacidad reservorio aceite	8	gal/min	Pag. 201	

Criterios de selección para instrumentación

Tomando como referencia el Libro de Transductores Industriales de la Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería Eléctrica (Cap.6) y Principios Generales de Selección de

Instrumentación (Unidad 1) del Tecnológico Nacional de México; se considera los siguientes criterios para la selección de los instrumentos de medición aplicados en el Sistema CCP_ESPE.

- Condiciones del entorno
- Precisión, exactitud y resolución.
- Mantenibilidad



Condiciones del entorno. - El CCP_ESPE tiene un rango de trabajo de 100 a 390 °C, siendo la tecnología más madura de aprovechamiento solar.

Uno de los factores que afecta directamente a la selección de los instrumentos viene a ser las condiciones climáticas extremas por encontrarse instalado a la intemperie. De acuerdo a la época del año se tendrá fuertes precipitaciones, días con mucho sol, entre otros. De tal manera el Grado de Protección mínimo de la instrumentación será IP67.

Según la Nasa el emplazamiento donde se encuentra instalado el CC_ESPE cuenta con las siguientes características climáticas que se muestran en la tabla.

Tabla 6

Datos de temperatura de emplazamiento, parámetros de diseño

SSE Homespice	Find A Different Location	Accuracy	Methodology	Parameters (Units & Definition)
	NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data			
Latitude -0.313 / Longitude -78.447 was chosen.				
		Unit	Climate data location	
Latitude		°N	-0.313	
Longitude		°E	-78.447	
Elevation		m	1686	
Heating design temperature		°C	12.61	
Cooling design temperature		°C	23.09	
Earth temperature amplitude		°C	10.87	
Frost days at site		day	0	

Nota: (NASA, 2016)

Tabla 6

Datos meteorológicos zona Sangolquí, obtenidos de la Nasa

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Windspeed	Earth temperature	Heating degree day	Cooling degree day
	°C	%	kwh m2/d	Kpa	m/s	°C	°C dd	°C - d
Enero	17.5	80.2	4.14	83.3	1.7	19.2	21	232
Febrero	17.6	80.3	4.35	83.3	1.5	19.2	16	217
Marzo	18	78.7	4.55	83.3	1.4	19.8	10	250
Abril	17.9	76.6	4.33	83.3	1.5	19.8	12	239
Mayo	17.8	70.9	4.12	83.4	1.7	19.8	14	243
Junio	17.3	66.8	4.02	83.5	2.1	19.2	26	218
Julio	17.5	57.8	4.27	83.5	2.3	19.9	24	233
Agosto	18.6	51.4	4.46	83.5	2.3	21.8	8	264
Septiembre	19.3	53.8	4.27	83.4	2.1	22.9	4	276
Octubre	19.3	60.3	4.24	83.3	1.9	23.1	4	288
Noviembre	18.3	71.2	4.3	83.3	1.9	21.3	10	251
Diciembre	17.6	79.8	3.98	83.3	1.8	19.6	17	237
Anual	18	69	4.25	83.4	1.9	20.5	166	2948
Measured at (m)					10	0		

Nota: (NASA, 2016)

La humedad relativa de este emplazamiento tiene una media anual de 69 % HR, sin embargo, para la selección de instrumentación nos manejaremos con los rangos máximos mensuales 80,3% HR, ya que el instrumento debe trabajar en las condiciones más extremas garantizando su funcionalidad en el tiempo.

Exactitud, precisión y resolución. - Según la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005 Energía Solar - Rendimiento Térmico y Funcionalidad de Colectores Solares Para Calentamiento de Agua - Métodos de Prueba y Etiquetado tiene una fecha de inicio de vigencia el 14 de octubre del 2005 menciona sobre los requisitos de exactitud y precisión en temperatura, presión de sistemas solares térmicos.

La exactitud y precisión de los instrumentos para medir la temperatura, incluyendo sus mecanismos asociados, deben estar dentro de los siguientes límites: ± 0.5 °C y ± 0.2 °C para la precisión y exactitud respectivamente.

El instrumento debe medir la presión de entrada del colector solar, así como la caída o el cambio de presión a través del mismo, con una precisión de $\pm 3,5$ kPa ($\pm 0,5$ psi). La resolución debe ser de al menos 0,1 para los sensores de presión y temperatura.

Mantenibilidad. - Una vez que se ha seleccionado la herramienta correcta para la aplicación, debe dimensionarse y determinarse para que se adapte a la aplicación deseada, instalarse en condiciones aceptables y luego mantenerse en condiciones de funcionamiento óptimo con un programa de mantenimiento adecuado. Además, debe tener en cuenta la facilidad de instalación y la disponibilidad de repuestos en el mercado.

Selección de instrumentación

De acuerdo a la caracterización del sistema CCP_ESPE se realiza el ajuste del rango máximo de trabajo y la de señal como se muestra en la tabla 8.

Tabla 7*Ajuste de rango de trabajo de variables de proceso*

Variable	Nomenc.	Min	Max	Ajuste	Unidad	Sensor	Tipo de señal	Rango
Temperatura ambiente	Tamb	12	23	25	°C	Termocupla	Tipo J	0-750 °C
Temperatura aceite térmico	Tac	0	340	340	°C	Termocupla	Tipo J	0-750 °C
Temperatura radiación concentrada	Trc	60	400	400	°C	Termocupla	Tipo J	0-750 °C
Temperatura de salida del campo solar	Tout	0	60.16	65	°C	Termocupla	Tipo J	0-750 °C
Temperatura de entrada del campo solar	Tin	0	55.72	60	°C	Termocupla	Tipo J	0-750 °C
Presión de salida del fluido térmico del campo solar	Pout	0	27	30	PSI	Transmisor de Presión	4-20 mA	0-10 bar
Presión de entrada del fluido térmico del campo solar	Pin	0	27	30	PSI	Transmisor de Presión	4-20 mA	0-10 bar
Presión de Caldero del agua	Pin_a	0	111.6	115	PSI	Transmisor de Presión	4-20 mA	0-10 bar
Temperatura del agua en el Caldero	Ta	0	56.43	60	°C	Termocupla	Tipo J	0-750 °C

De acuerdo al grado de protección de la instrumentación debe ser IP67, y en acero inoxidable por las condiciones ambientales de operación.

Tabla 8*Selección de tipo de transmisor de temperatura*

Transductor de presión	Rango de Medición (psi)	Rango de temperatura (°C)	Nivel de Salida	Exitación	Exactitud (%)
Tubo de Bourdon	0,5 a 100000	90 (máx)	-	-	0,5 - 1
Diafragma	0,071 a 28,466	90 (máx)	-	-	0,5 - 1
Fuelle	0,142 a 28,466	90 (máx)	-	-	0,5 - 1
Capacitivo	14,696 a 14,696	0 a 816	> 100mV	AC	± 0,05 - ± 0,5
LVDT	30 a 10000	(-55 a 150)	> 100mV	AC	± 0,05
Piezoeléctrico	0,1 a 10000	(-240 a 260)	< 100mV	AC	± 1
Potenciómetro	5 a 10000	(-54 a 149)	> 100mV	AC y DC	± 1
Strain Gage	0,5 a 10000	(-270 a 371)	< 100mV	AC y DC	± 0,25
Celda de Cerámica	hasta 10000	400 (max)	< 100mV	AC y DC	± 0,3

Para la variable temperatura se selecciona la tecnología termocupla porque supera los 300°C en uno de los casos (por tal motivo no se utiliza RTDs). Utilizaremos el tipo J por el rango que más se ajusta a la aplicación CCP-ESPE como se muestra en la tabla 10. Adicional para garantizar la precisión de la termocupla el cable debe ser mínimo pre ensamblado 10 metros.

De acuerdo a la exactitud referida en los criterios y la caracterización del sistema CCP_ESPE se realiza la selección del transmisor de presión y sensor de temperatura.

Tabla 9*Selección de tipo de transmisor de temperatura*

Transductor de temperatura	Rango de Medición (°C)	Exactitud (%)	Aplicaciones
RTD de Platino	(-200 a 950)	0.01	Temperaturas de fluidos y superficies
RTD de Niquel	(-150 a 300)	0.5	Temperaturas de fluidos y superficies
RTD de Cobre	(-200 a 120)	0.1	Temperaturas de fluidos y superficies
Termopar Tipo T	(-200 a 260)	0,4 a 2	Biofísica, Temperatura interna de máquinas de combustión. Instrumentos científicos y calorimetría. Investigaciones Médicas y Petroquímicas
Termopar Tipo J	(-200 a 750)	0,3 a 0,5	Biofísica, Temperatura interna de máquinas de combustión. Instrumentos científicos y calorimetría. Investigaciones Médicas y Petroquímicas
Termopar Tipo K	Hasta 1100	0.8	Biofísica, Temperatura interna de máquinas de combustión. Instrumentos científicos y calorimetría. Investigaciones Médicas y Petroquímicas
Termopar Tipo R y S	Hasta 1500	0,5 a 0,8	Biofísica, Temperatura interna de máquinas de combustión. Instrumentos científicos y calorimetría. Investigaciones Médicas y Petroquímicas
Pirómetro	(-50 a 4600)	±0,5	Mediciones de Altas temperaturas. Cuerpos en movimiento.
Termómetro Bimetálico	(-73 a 538)	±0,5 a ±1	Control. Interruptores de sobrecarga. Compensación de temperatura.
Termistores	(-100 a 450)	±0,005 a ±0,1	Compensación de temperatura. Industria en general.
Termómetro de CI	(-55 a 150)	±0,5	Control. Compensación de unión de referencia en termopares.

Las señales de temperatura termocupla tipo J y de presión analógica de 4-20 mA son conectadas para su acondicionamiento a módulos específicos para el tipo de señal. En el controlador principal se puede escalar (PLC).

Transmisor de presión. - Se ha encontrado en el mercado algunas marcas, sin embargo, se ha elegido la tecnología de Turck *PT 010 -11- LI3 - H1131*, por el grado de protección IP67 y las características ambientales de trabajo analizadas en la sección anterior.

Termocupla. - Según se analizó el rango de aplicación utilizaremos el tipo J (0-750 °C). Con las siguientes características tomando en cuenta la instalación física de la tubería:

- Termocupla Tipo J.
- Longitud bulbo 50mm
- Diámetro bulbo 6.3mm
- Conexión 1/4".
- 10m de cable

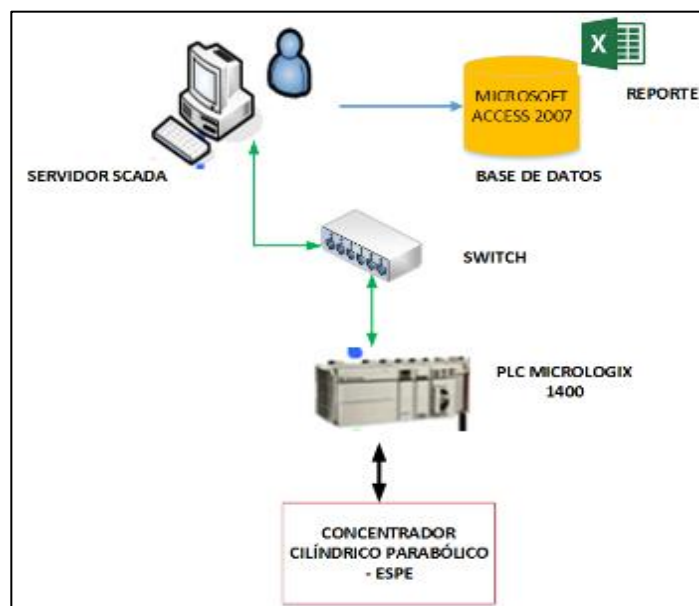
Definir estructura de datos

La base de datos se configura como estructura simple y de un almacenamiento lineal, que es enviado mediante comandos desde el Soft_CCP (Software de desarrollo local) hacia Microsoft Access 2007.

El flujo de la información está dado por la dirección de las flechas.

Figura 71

Estructura base de datos CCP



Flujo de información entre CCP y PLC.- Los transmisores de presión y temperatura son llevados hacia el PLC para su tratamiento de señales analógicas, también llegan las señales de la posición del CCP. En cambio, el PLC envía señales de control digital hacia la bomba de aceite y al seguidor solar mediante un variador de frecuencia.

Flujo de información red LAN.- Se utiliza el protocolo TCP/IP (100Mbps) para la transporte de información entre el PLC y Sistema SCADA. El PLC Micrologix 1400 ya convierte todas las señales de los transmisores y posición en unidades de ingeniería. En el Soft_CCP se configura para tener lectura de las variables.

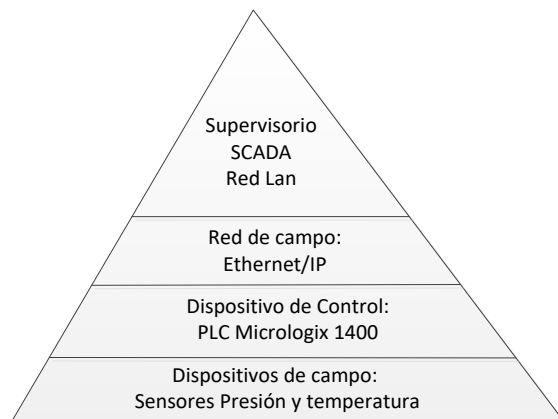
Flujo de información sacada y microsoft access. - la comunicación es bidireccional ya que el software Soft_CCP envía la información hacia Microsoft Access a través de comandos para la gestión y almacenamientos de datos cada 10 min. Así como también el Soft_CCP lee los datos almacenados para emitir el reporte correspondiente.

Flujo de información Soft_CCP a excel. - El Excel es utilizado para el reporte de datos y con el diseño de una plantilla se obtiene un análisis estadístico instantáneo. El software del CCP realiza la consulta de datos a Microsoft Access y luego despliega la información en Excel.

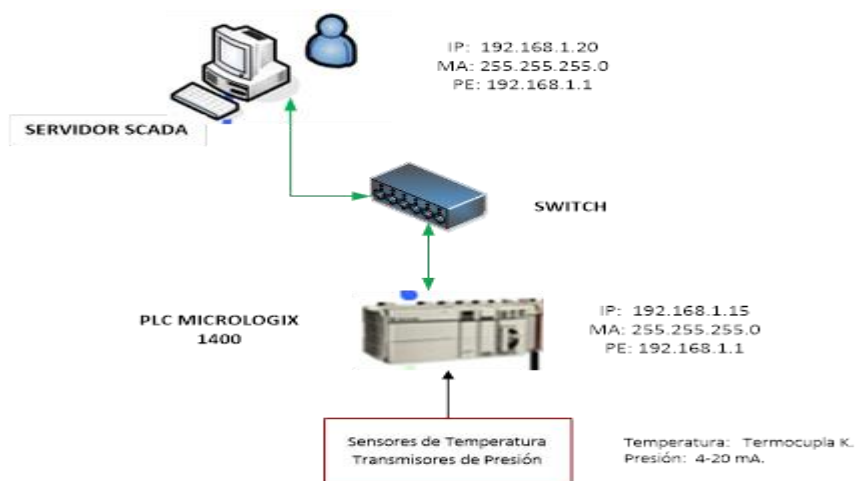
Definir arquitectura de red

Se realiza una arquitectura centralizada por las siguientes características tomadas del catálogo Siemens (Juan Palacios, 2016).

- Pocos dispositivos de campo.
- Corta distancia entre la planta CCP y el sistema de control (15 m el punto más alejado).
- Acondicionamiento de señales no complejas (Temperatura ingresa a módulo de termocupla y la salida de transmisores de presión 4-20 mA).
- Programación no muy compleja.
- Condiciones ambientales normales.

Figura 72*Jerarquía de comunicación Scada*

El PLC Micrologix 1400 tiene incluido un puerto RJ45 para comunicación Ethernet/IP que permite ser compatible con la red LAN (Local Access Network) la cuál ocuparemos para conectarnos con el sistema SCADA a una velocidad de 100 mbps.

Figura 73*Arquitectura Centralizada Sistema de Control – Scada*

Dentro de la configuración realizada se encuentra el variador de frecuencia Powerflex que comanda la moto reductora del seguidor solar a través del protocolo de campo Modbus RTU. (Jorge Fabara, 2016).

Driver: Modbus RTU Master

Baud: 9600

Parity: None

Stop Bits: 1

Data Bits: 8

Utilizando esta red de campo se puede integrar más dispositivos de monitoreo como pueden ser Centrales Meteorológicas, equipos de medición de radiación, entre otras.

Desarrollar la descripción funcional

Al iniciar el funcionamiento del sistema CCP_ESPE, automáticamente empieza el posicionamiento para alcanzar la máxima transferencia de calor con respecto al sol con la ayuda del seguidor. Al mismo tiempo se enciende la bomba de recirculación del aceite térmico que permite el intercambio de Calor de la Irradiancia concentrada en el tubo absorbedor.

El aceite térmico pasa a través del caldero que se encuentra con agua recirculando en su interior, permitiendo que el agua se caliente a una temperatura mayor a 40 °C.

Las termocuplas y los transmisores de presión adquieren el valor presente (PV) del aceite térmico que circula por el sistema. En el PLC se recibe y se acondiciona las señales de

temperatura en los módulos de termocupla (1762-IT4) y las señales de los transmisores de presión en el módulo (1762-IF4).

El sistema CPP_ESPE cuenta con seguridades que permite: Si la temperatura del sistema se eleva sobre 400 °C o la presión sobre los 100 PSI el sistema se apaga automáticamente por rangos máximos de trabajo de los sistemas Solares de Media Temperatura. Adicional sobre los 350 °C el control permite que el sistema se desvíe del eje focal con el fin de bajar la potencia térmica.

El sensor de temperatura y presión instalado en el sistema de agua permite determinar el intercambio de energía del aceite térmico al agua por convección. En el Soft_CCP (Software propietario) se visualiza en tiempo real los valores de temperatura y presión, el cual permite almacenar los datos cada 10 min en la base de datos (Microsoft Access). Y finalmente el reporte se ejecuta en la aplicación Excel para el análisis estadístico.

La comunicación se realiza a través de la red LAN hacia las oficinas del Departamento de Energía Renovables desde ahí pueden realizar el encendido del sistema.

Realizar el diseño de detalle

Se detalla todo el Hardware y variables que se utilizaran en el CCP_ESPE y de acuerdo a la arquitectura centralizada se requieren los siguientes equipos.

- Controlador Lógico Programable (PLC).
- Módulo de comunicación Ethernet.

- Módulos de termocuplas.
- Módulos de entrada de corriente.
- Fuente de 24 VDC

Estos equipos serán instalados en un tablero 100cm x 50 cm en el cual se rutea las señales que intervienen para el control y monitoreo (Elementos del tablero de control + dispositivos de campo).

Las entradas son funcionales a 24 VDC y con nivel alto de activación. La instrumentación y señales de control serán alimentadas por una fuente de 24 VDC externa como se muestra en la tabla 11.

Tabla 10

Detalle de entradas del controlador

INGENIERIA DE DETALLE CONTROL CCP			
SLOT0: CPU, ENTRADAS DIGITALES			
CANAL	TAG	DESCRIPCIÓN	SEÑAL
IN0/COM0	ZS K1-01	Señal encoder canal A	0L/1L (24VDC-sinking)
IN1/COM0	ZS K1-02	Señal encoder canal B	0L/1L (24VDC-sinking)
IN2/COM0	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-sinking)
IN3/COM0	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-sinking)
IN4/COM1	ZS K1-03	Micro seguridad Oriental	0L/1L (24VDC-sinking)
IN5/COM1	ZS K1-04	Posición medio día	0L/1L (24VDC-sinking)
IN6/COM1	ZS K1-05	Micro seguridad Occidental	0L/1L (24VDC-sinking)
IN7/COM1	MO_01-1	Señal retroalimentación encendido Motor seguidor	0L/1L (24VDC-sinking)
IN8/COM2	BO_01-2	Señal retroalimentación encendido bomba de Aceite	0L/1L (24VDC-sinking)
IN9/COM2	BO_02-1	Señal retroalimentación encendido bomba de Agua	0L/1L (24VDC-sinking)
IN10/COM2	ZS D-01-2	Pulsador rearme de averías del sistema	0L/1L (24VDC-sinking)
IN11/COM2	PR MO_01-1	Protección térmica Motor Seguidor	0L/1L (24VDC-sinking)
IN12/COM3	PR BO_01-2	Protección térmica bomba de aceite	0L/1L (24VDC-sinking)
IN13/COM3	PR BO_02-1	Protección térmica bomba de agua	0L/1L (24VDC-sinking)
IN14/COM3	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-sinking)
IN15/COM3	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-sinking)
IN16/COM3	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-sinking)
IN17/COM3	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-sinking)
IN18/COM3	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-sinking)
IN19/COM3	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-sinking)

Las señales de salida del controlador serán de voltaje de 220VAC/120VAC y 24 VDC en algunos casos, para lo cual las salidas del controlador debe ser tecnología contacto relé sin polarización, el detalle se muestra en la tabla 12.

Tabla 11

Detalle de salidas del controlador

SLOT0: CPU, SALIDAS DIGITALES			
CANAL	TAG	DESCRIPCIÓN	SEÑAL
OUT0/VAC-DC0	XS BO-01	Señal comando motor Bomba Aceite MAC-01	0L/1L (24VDC-Relé)
OUT1/VAC-DC1	XS BO-02	Señal comando motor Bomba Agua MWT-01	0L/1L (24VDC-Relé)
OUT2/VAC-DC2	ZI-MAC-01	Luz piloto encendido bomba de Aceite	0L/1L (24VDC-Relé)
OUT3/VAC-DC3	ZI-MWT-01	Luz piloto encendido bomba de Agua	0L/1L (24VDC-Relé)
OUT4/VAC-DC4	ZI-ERR-01	Luz piloto averías-fallas del sistema	0L/1L (24VDC-Relé)
OUT5/VAC-DC5	ALM-01	Alarma sonora	0L/1L (24VDC-Relé)
OUT6/VAC-DC6	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-Relé)
OUT7/VAC-DC7	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-Relé)
OUT8/VAC-DC8	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-Relé)
OUT9/VAC-DC9	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-Relé)
OUT10/VAC-DC10	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-Relé)
OUT11/VAC-DC11	SPARE	SPARE	0L/1L (24VDC-Relé)

Los transmisores de presión deben contar con salida de 4 a 20 mA, para que sean compatibles con los módulos analógicos indicados en la tabla 13. Y para obtener la señal de temperatura se utiliza la termocupla tipo J, que será configurado en el módulo de acuerdo al tipo de termocupla como se muestra en la tabla 14.

Tabla 12*Detalle de señales analógicas*

SLOT1: CPU, entradas analógicas			
Canal	Tag	Descripción	Señal
IV0(+)/COM ANA	PT-CCP- 01	Presión de entrada fluido térmico del campo solar BK1	Analógica 4 a 20 mA
IV1(+)/COM ANA	PT-CCP- 02	Presión de salida fluido térmico del campo solar BK1	Analógica 4 a 20 mA
IV2(+)/COM ANA	PT-CAL- 01	Presión de recirculación del agua CAL1	Analógica 4 a 20 mA
IV3(+)/COM ANA	SPARE	SPARE	Analógica 4 a 20 mA

Tabla 13*Detalle de señales analógicas de temperatura*

SLOT2: entradas de termocupla			
Canal	Tag	Descripción	Señal
IN0+/IN0-	TT-CCP-01	Temperatura de aceite entrada del campo solar BK1	Termocupla J
IN1+/IN1-	TT-CCP-02	Temperatura de aceite salida del campo solar BK1	Termocupla J
IN2+/IN2-	TT-ACE-01	Temperatura de aceite en el depósito AC1	Termocupla J
IN3+/IN3-	TT-WAT-01	Temperatura agua intercambiador de calor EX-01	Termocupla J
SLOT3: entradas de termocupla			
Canal	Tag	Descripción	Señal
IN0+/IN0-	TT-CCP-03	Temperatura Tubo absorbedor TA-01	Termocupla J
IN1+/IN1-	TT-AMB-01	Temperatura ambiente TA-02	Termocupla J
IN2+/IN2-	SPARE	SPARE	SPARE
IN3+/IN3-	SPARE	SPARE	SPARE

Tomando en consideración el diseño de detalle de señales se elige el PLC y los Módulos a Utilizar. Como requerimiento del diseño de detalle se necesita mínimo:

- 13 entradas digitales/ 6 salidas digitales.

- 3 señales analógicas de entrada de corriente.
- 6 entradas de termocupla J.

Controlador: PLC Micrologix 1400 de la familia Allen Bradley. Protocolos de comunicación: Modbus RTU, Ethernet/IP. La serie es **1766L32BWA**, el cual cuenta con 20 entradas digitales y 12 salidas a relé, y posee incorporada comunicación Ethernet y RS232 (Modbus), no tiene señales analógicas incluidas.

Tabla 14

Modelos y detalles de la familia Micrologix 1400

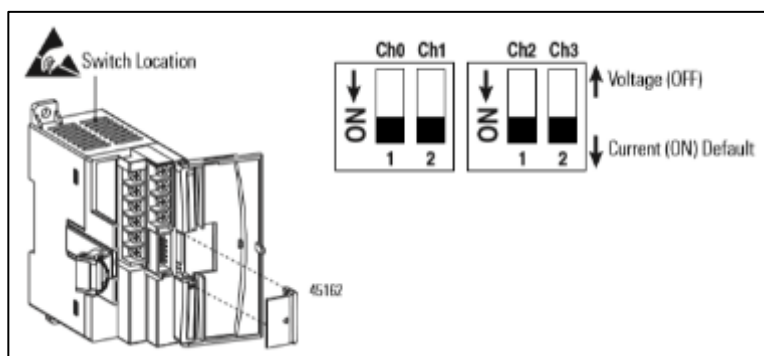
Controller Input And Output Description					
Catalog Number	Ooscripliol				
	Input Power	User Power	Embedded Discrete VO	Embedded Analog I/O	Coan. Pons
1766-L32BWA	100/240V AC	24V DC	12 Fast 24V DC Inputs 8 Normal 24V DC Inputs 6 Realy Outputs	None	1RS232/AS485 1 1Ethernet 1 AS232
1766-L32AWA		None	20 120V AC Inputs 12flelay Outputs		
1766-L32BXB	24V DC		12 Fast 24V DC Inputs 8 Normal 24V DC Inputs 6 Realy Outputs 3 <i>Fast DC Outputs</i> 3 <i>Normal DC Outputs</i>		
1766-L32BWAA	100/240V AC	24V DC	12 Fast 24V DC Inputs 8 <i>Normal 24V DC Inputs</i> 12 <i>Relay Outputs</i>	4 Voltage Inputs 2 Voltage Output	
1766-L32WAA		None	20 120V AC Inputs 12Realy Outputs		
1766-L32BXBA	24V DC		12 Fast 24V DC Inputs 8 Normal 24V DC Inputs 6 Realy Outputs 3 <i>Fast DC Outputs</i> 3 Normal DC Outputs		

Nota: (Allen Bradley, 2017)

Módulo analógico de entrada. - La plataforma Micrologix es modular y cuenta con diferentes módulos para su integración. Seleccionamos el módulo 1762-IF4 de 4 señales de entrada.

Figura 74

Selección de tipo de señal de entrada

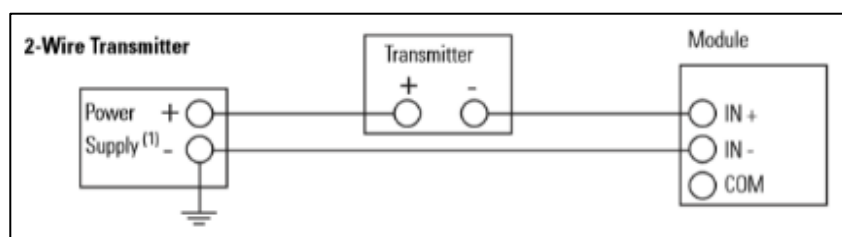


Nota: (Allen Bradley, 2017)

El módulo 1762-IF4 tiene la capacidad de trabajar con señales de voltaje y corriente, por tanto, debemos seleccionar en modo corriente con la configuración de DIP Switch ubicado en la parte frontal del módulo como se puede visualizar en la figura.

Figura 75

Cableado para transmisor de 2 hilos



Nota: (Allen Bradley, 2017)

Módulo analógico de termocupla. - Este módulo cuenta con 4 entradas de termocupla que se puede configurar para cualquier tipo. K,J,T, entre otras. El módulo es el 1762-IT4.

Tabla 15

Los tipos y respectivos rangos de temperaturas

Thrmocuple Type	°C Temperature Rnage	°F Temperature Range
J	-210 to + 1200°C	-346 to + 2192°F
K	-200 to + 1370°C	-454 to + 2498°F
T	-270 to + 400°C	-454 to + 752°F
E	-270 to + 1000°C	-454to + 1832°F
R	0 to + 1768°C	+32 to + 3214°F
S	0 to + 1768°C	+32 to + 3214°F
B	+300 to + 1820°C	+572 to + 3308°F
N	-210 to + 1300°C	+346 to + 2372°F
C	0 to + 2315°C	+32 to + 4199°F

Nota: (Allen Bradley, 2017)

Para obtener lecturas precisas para cada canal del módulo 1762-IT4, compense la temperatura de conexión del terminal entre el conductor del termopar y el canal de entrada. Un termistor compensado de contacto frío (CJC) está integrado en el bloque de terminales de este módulo. Por lo tanto, es importante no quitar el termistor.

Figura 76

Diagrama de conexión sensor al módulo + sensor de Junta fría

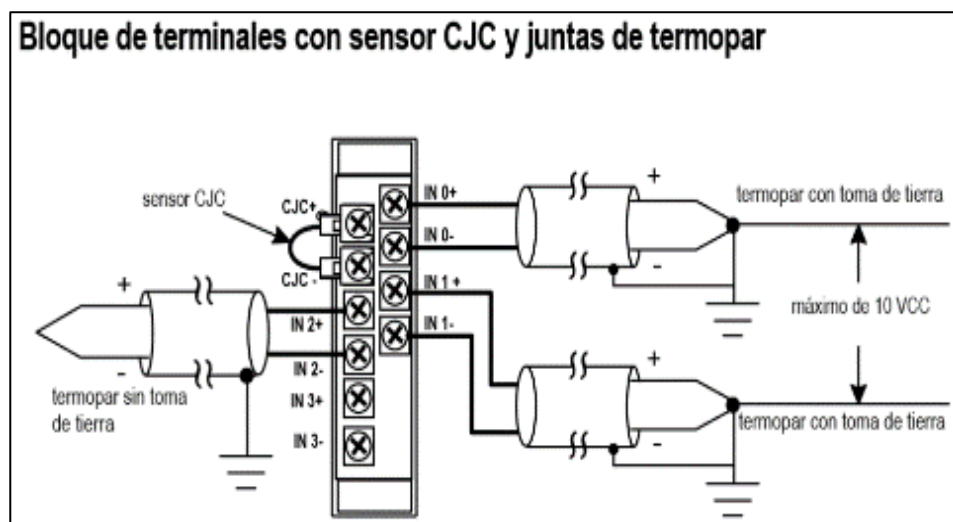
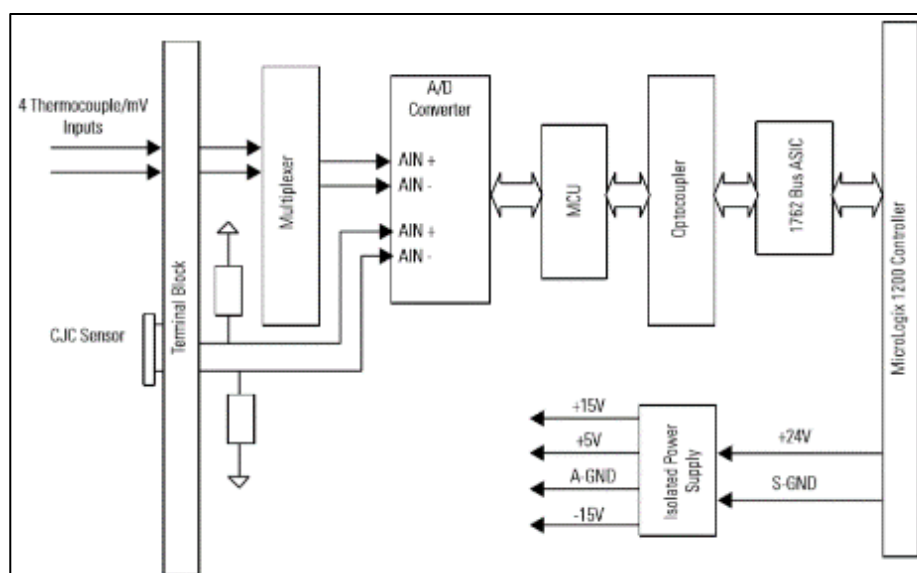


Figura 77

Diagrama de bloques Módulo 1762-IT4



Determinar software de desarrollo

Los criterios de selección para software según Tania Pineda (Criterios para compra de software, 2010) podemos destacar lo siguiente:

- Disponibilidad en el mercado
- Soporte técnico autorizado
- Aspectos económicos (Costo)
- Facilidad de Programación.

En el mercado se encuentra varias marcas de software a diferentes precios como se indica en la tabla 18, sin embargo, para el proyecto CCP_ESPE se desarrollará una aplicación software propietaria para el monitoreo y control de las variables térmicas. El nombre de la aplicación es Soft_CCP v1.0. Así como también como software para la gestión de datos se utilizará Microsoft Access.

Tabla 16

Criterios de selección software scada

Detalle	Intouch	MC-Worx	Cimplicity	WinCC
Marca	Wonderware	Mitsubishi	General Electric	Siemens
Soporte técnico	Si	No	No	Si
Fácil programación	Si	Si	No	No
Integrado OPC server	Si	No	No	No
Costo 150 pts	\$ 1.500	\$ 2.400	\$ 3.600	\$ 2.500
Acceso a Información	Si	No	No	Si

Tabla 17*Selección software base de datos*

Detalle	SQL Server	Oracle	MySQL	Microsoft Access
Memoria mínima	512 MB	256 MB	512 MB	256 MB
versión	Gratuita	Gratuita	Gratuita	ESPE-licencia
Compatibilidad con scada	Si	Si	No	Si
Acceso a información	Si	No	No	Si
Programación Fácil	Si	No	Si	Si

El software a utilizar en el desarrollo de la aplicación es:

- Rslinx Server Gateway (PLC y OPC Server).
- Rslogix 500 (PLC).
- Soft_CCP v1.0 (Software Scada).
- Microsoft Access 2007. (Base de Datos).
- Excel. (Reporte).

Software e implementación

En esta sección se detalla la instalación y puesta a punto del software para el desarrollo de las aplicaciones y conectividad.

Instalación de software

Se instala software en el sistema operativo XP de Microsoft con las características mínimas.

- Service Pack: 3

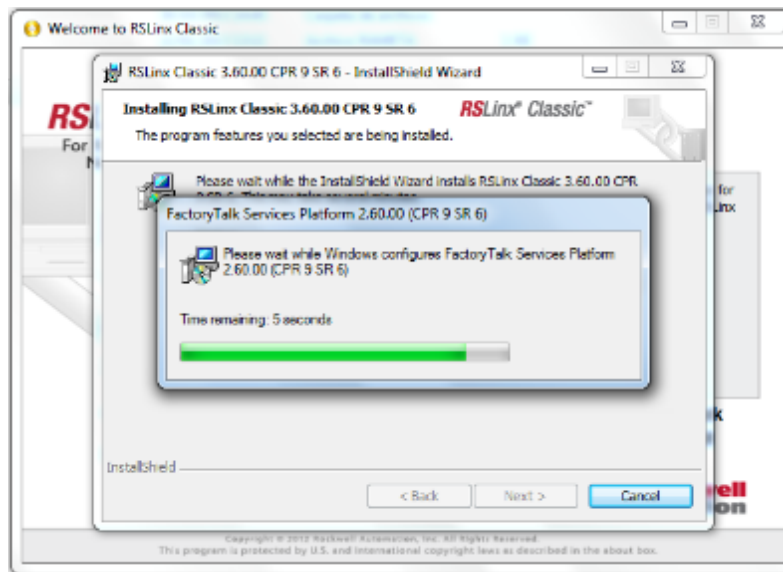
- Memoria RAM: 256 MB
- Resolución: 1200 x 768 pixeles.
- Procesador: 1 Ghz.
- Microsoft .Net framework 3.0 service pack 1.

Rslinx y configuración

Este software nos permite la comunicación del PLC Micrologix 1400 con el software de programación RSLogix 500 (ladder). Además, tiene la característica de OPC Server que sirve para la conectividad con el Software Scada.

Figura 78

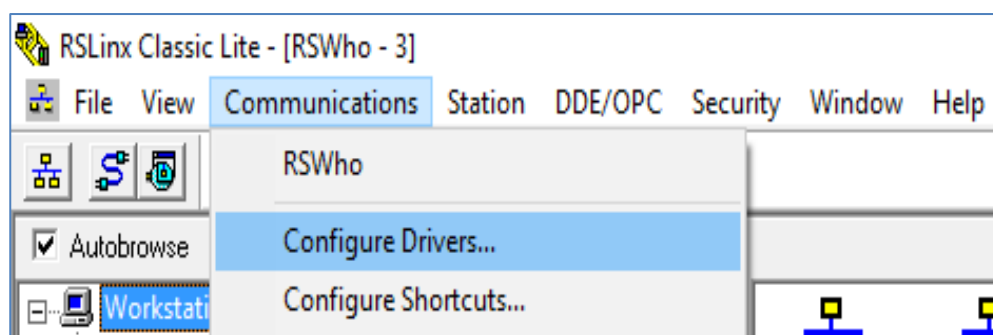
Instalación de Rslinx Classic.



Una vez instalado procedemos a configurar la comunicación con el PLC Micrologix 1400 vía Ethernet IP, el equipo físicamente debe estar conectado a la red LAN. Nos dirigimos a **comunicaciones** y posterior a **Configuración de Driver**.

Figura 79

Configurar driver o dispositivo



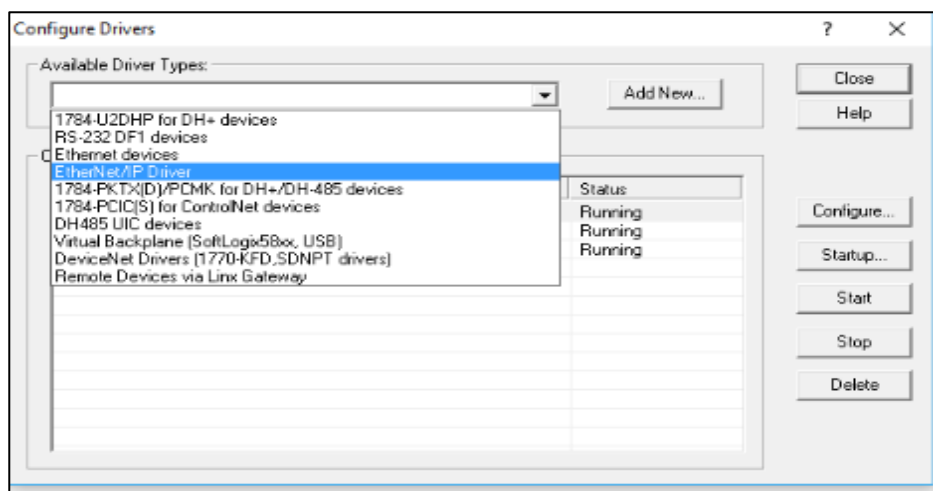
Tenemos dos opciones para configurar “Ethernet devices” o “EtherNet/IP Drivers”. La diferencia radica en lo siguiente.

Ethernet devices.- Protocolo genérico que puede comunicar a cualquier dispositivo con protocolo Ethernet de diferentes fabricantes.

EtherNet/IP Drivers.- Es el protocolo propietario de Rockwell Automation, al ejecutar envía un broadcast y se comunica con todos los dispositivos de la marca.

Figura 80

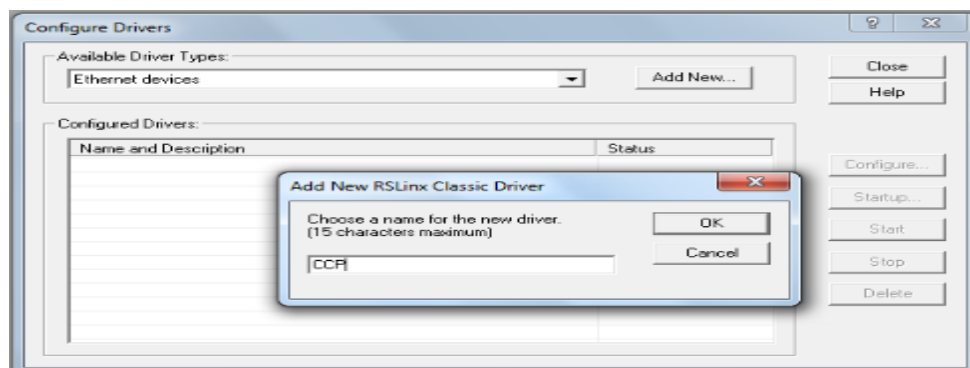
Opciones de configuración Ethernet IP



Para nuestra aplicación utilizaremos la opción Ethernet devices y debemos configurar la IP del dispositivo, esta manera es más segura para direccionar vía remota los cambios o descargas al dispositivo correcto.

Figura 81

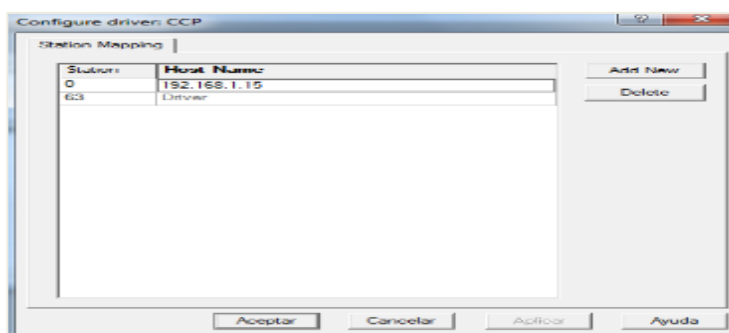
Selección de opción de configuración Ethernet devices



Al añadir y presionar OK en el paso anterior la conexión CCP, nos despliega otra pantalla donde configuramos la IP del Micrologix 1400. Para nuestra aplicación usaremos la IP: 192.168.1.15, no es necesario configurar la máscara o la puerta de enlace ya que el host debe tener conexión con el PLC.

Figura 82

. Configurar IP para la conexión PLC- RSlogix500




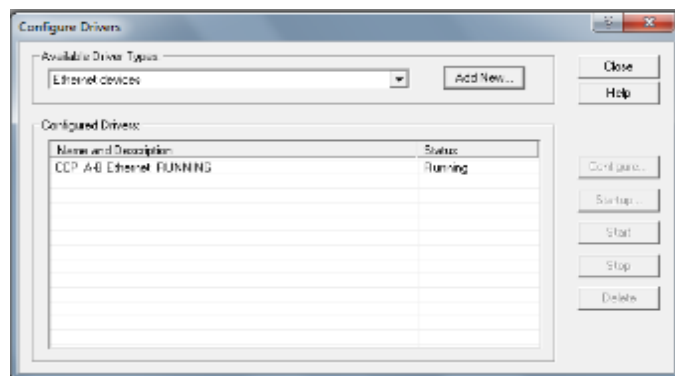
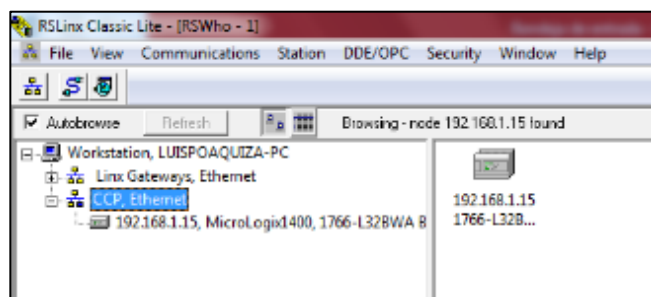
Una vez configurado la IP y aceptado, podemos verificar que la conexión CCP se está ejecutando como referencia en la Figura xx. Para revisar su correcta direccionamiento y ejecución procedemos a visualizar en RSWho para lo cual nos dirigimos a **comunicaciones** en la barra de menú como referencia en la figura xx podemos observar el nombre de la conexión CCP y el equipo con su respectiva dirección que se encuentra enlazando (.192.168.1.15, Micrologix 1400). Si al contrario no tuviéramos éxito en la conexión nos indicaría el siguiente status  192.168.1.15 MicroLogix 1400 .

Figura 83

Conexión CCP ejecutándose

**Figura 84**

Configuración del PLC Micrologix en Rslinx.

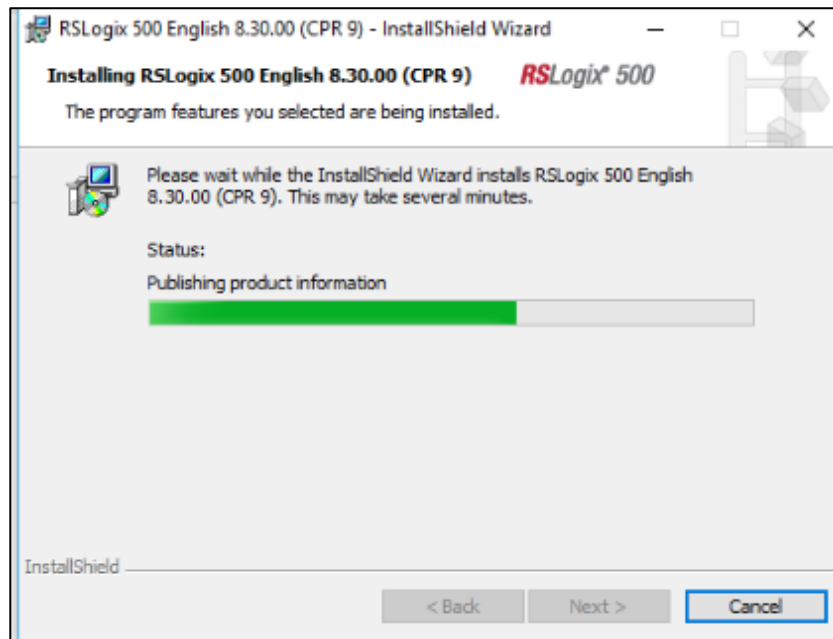


RSLogix 500 y configuración

Rslogix 500 es el software propietario de Rockwell Automation para los PLCs Micrologix 1000, 1100, 1200, 1400 y 1500. La versión más actual es la v8.30 que instalaremos.

Figura 85

Instalación de RSLogix 500

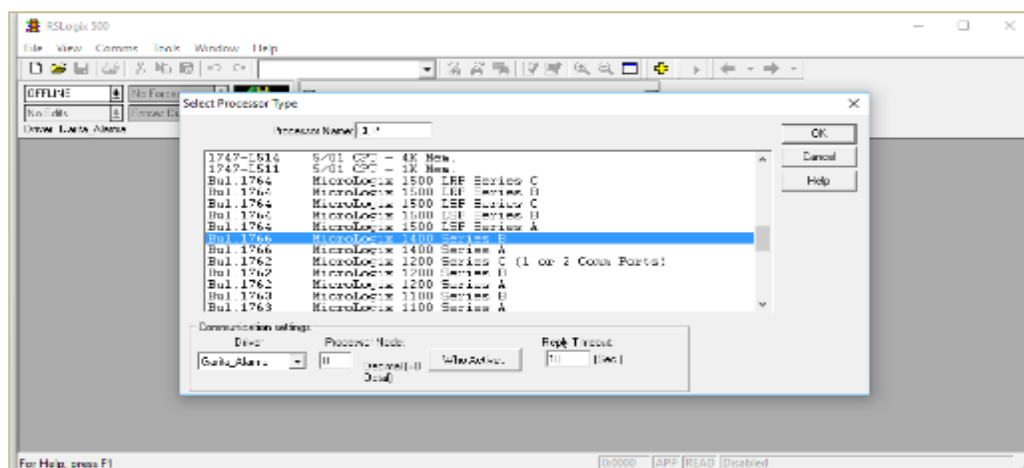


Una vez finalizada la instalación procedemos a abrir el RSLogix 500 y podemos configurar de dos maneras para el inicio de la programación.

Manual: Seleccionado el modelo del PLC Micrologix, configurando la IP correspondiente, para posterior realizar la descarga al PLC. Así también se configuran los módulos analógicos en ***IO configuration***.

Figura 86

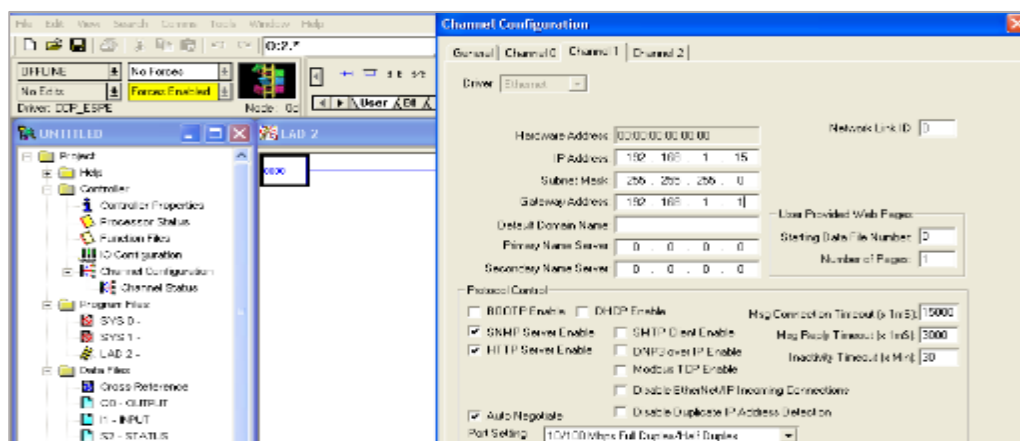
Configuración de modelo del PLC Micrologix 1400



En el Canal 1 se configura la IP correspondiente, su máscara y la puerta de enlace. Toda la configuración es fuera de línea.

Figura 87

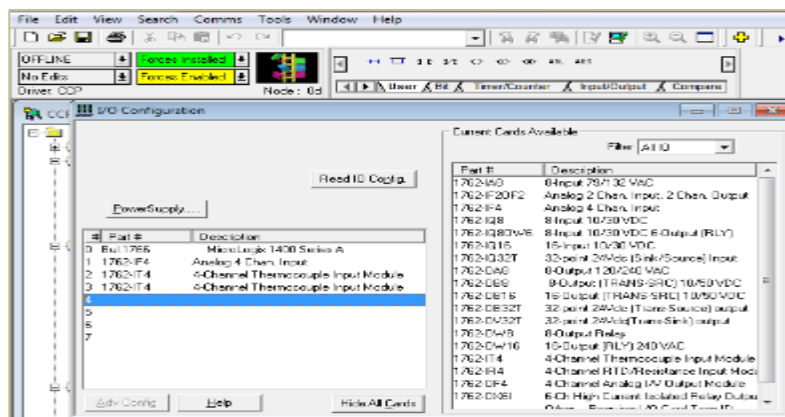
Configuración de IP red Lan



Los módulos analógicos son configurados en IO configuración, se debe seleccionar cada uno de los módulos y arrastrar a la izquierda de la pantalla.

Figura 88

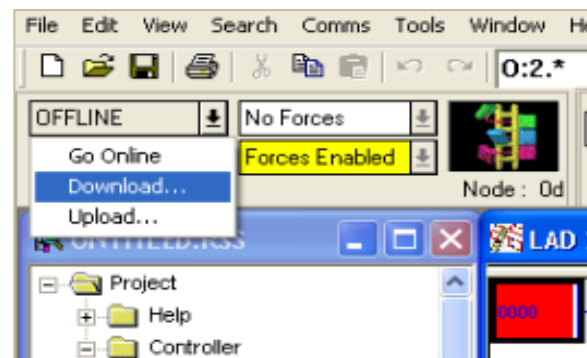
Configuración módulos analógicos



Una vez finalizada la configuración en el menú estado del PLC seleccionamos descargar y nos direcciona hacia el RSlinx para seleccionar el PLC a donde descargar la configuración.

Figura 89

. Descargar configuración a PLC Micrologix 1400

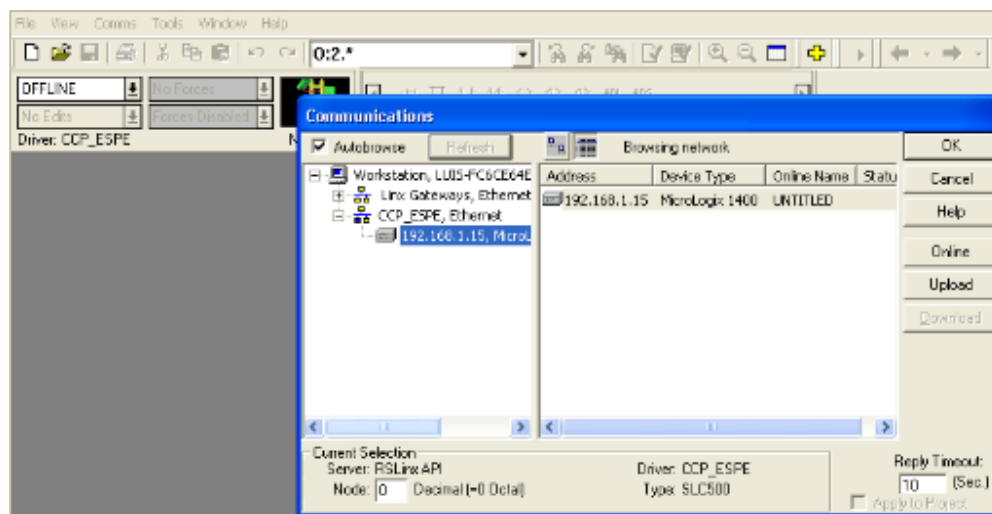


Cargar configuración desde RSlinx: Una de las características de la marca Rockwell Automation es cargar la configuración del PLC a través de RSlinx para lo cual en la barra de menú, opción **comunicación** seleccionamos **system comm**

Al presionar **system comm** el software se enlaza con el Rslinx para seleccionar el PLC que deseamos cargar la configuración hacia el RSLogix 500. Una vez seleccionado presionamos **Upload**. Es importante considerar que únicamente se carga la configuración del PLC y los canales de comunicación.

Figura 90

Cargar configuración del PLC Micrologix hacia RSLogix 500



Si todo está bien a continuación en el Software RSLogix 500 se podrá verificar las características del PLC en **controller**, y los canales de comunicación configurados, en nuestro caso nos interesa el canal 1. En barra de estatus del PLC se visualizará que está en remote run (Se puede hacer cambios en línea).

Figura 91

Micrologix 1400 en línea configurado el controlador y canales de comunicación

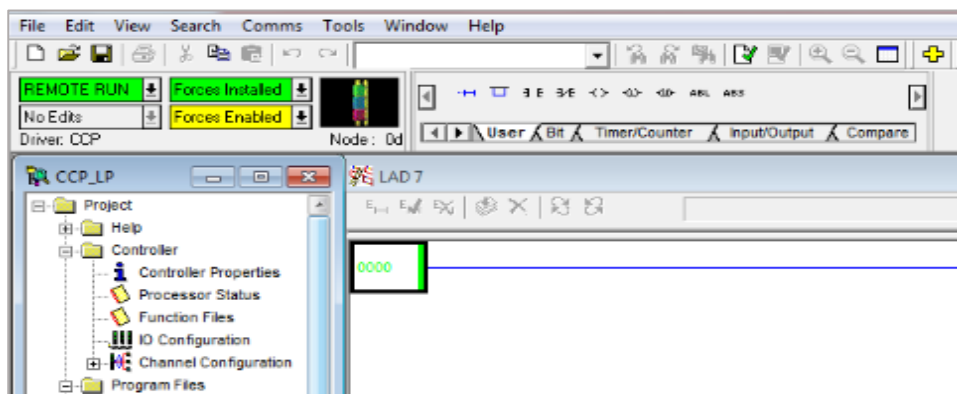
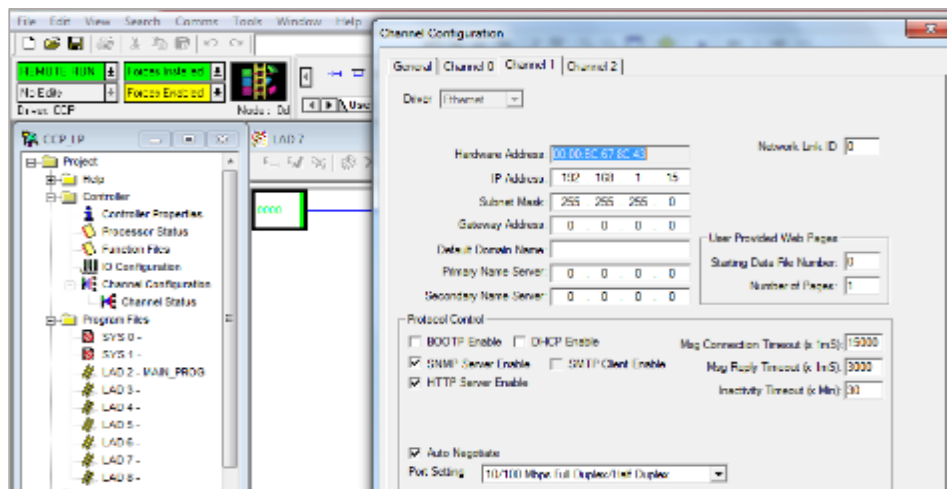


Figura 92

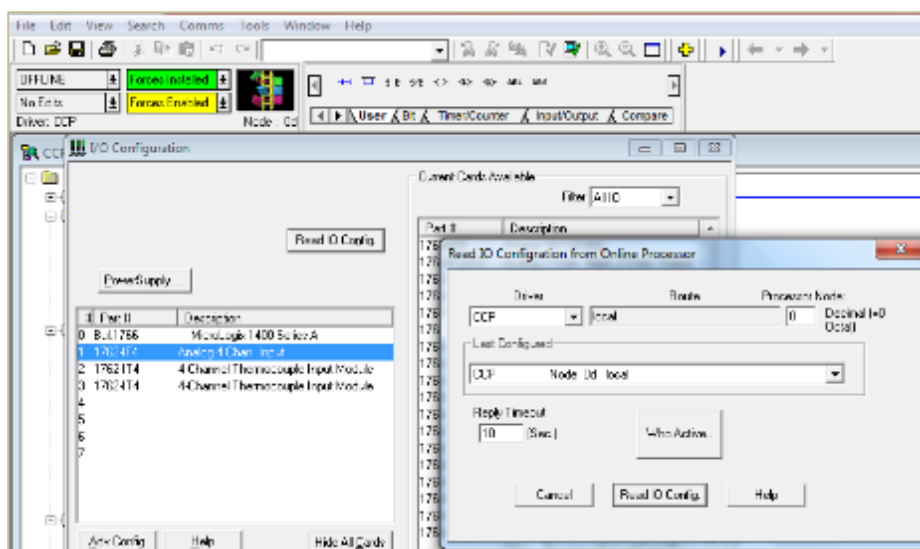
Configuración de canal 1 cargado desde el PLC hacia RSLogix 500



Para configurar los módulos analógicos se lo debe realizar en modo offline o fuera de línea. Cuando hemos cargado la configuración del PLC Micrologix 1400 nos basta presionar en **Read IO Config** para que se cargue los módulos que directamente se encuentran conectados al PLC (Los módulos deben previamente estar conectados y energizados).

Figura 93

Configuración de módulos analógicos IF4 y IT4



El módulo analógico 1762-IF4 es un módulo de 4 entradas (canales 0-3) configurables para voltaje como para corriente. Para la aplicación del CCP_ESPE se utilizará la configuración de 4 a 20 mA y en datos crudos (convertidos a decimal) para posteriormente escalar y obtener en unidades de Ingeniería. En el detalle de la programación del PLC analizará a mayor profundidad el escalamiento y los parámetros de señales analógicas.

El módulo analógico 1762-IT4 es un módulo de 4 entradas (canales 0-3) configurables para termocuplas, para la aplicación de CCP se utilizó termocuplas tipo K y se leen directamente en unidades de ingeniería (°C).

Figura 94

Configuración de módulo 1762-IF4

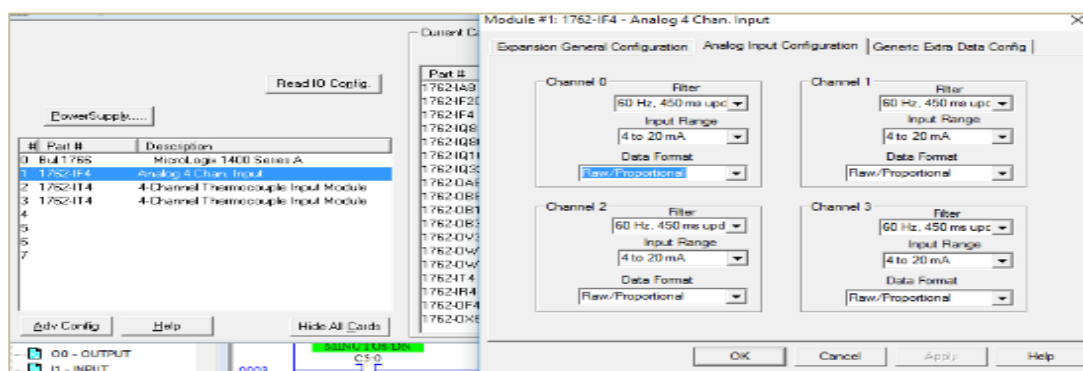
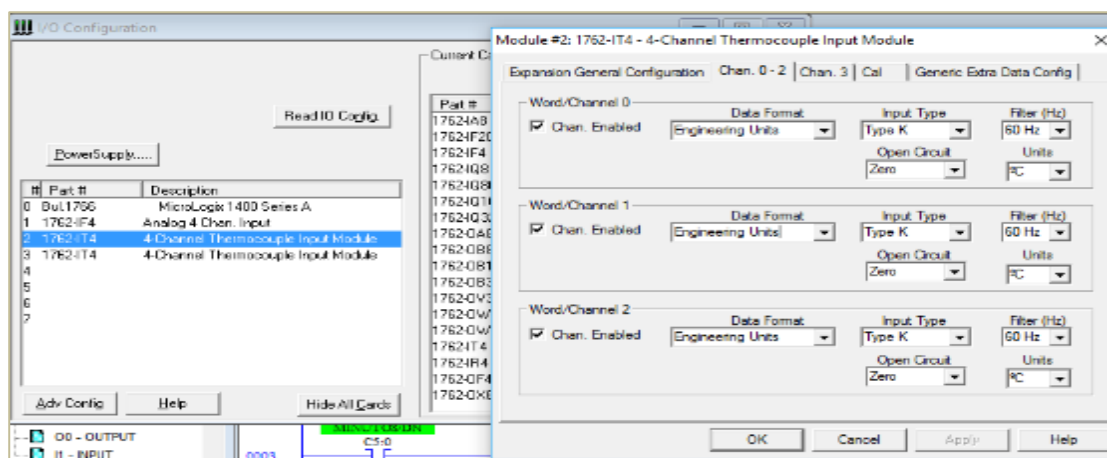


Figura 95

Configuración de módulo 1762-IT4



Instalación Soft_CCP v1.0

Soft_CCP es un software desarrollado exclusivamente para el CCP_ESPE, la plataforma utilizada es Visual Basic 6.0 con las librerías de ADO (Activex Data Object) y comunicación DDE (Dinamic Data Exchange).

Figura 96

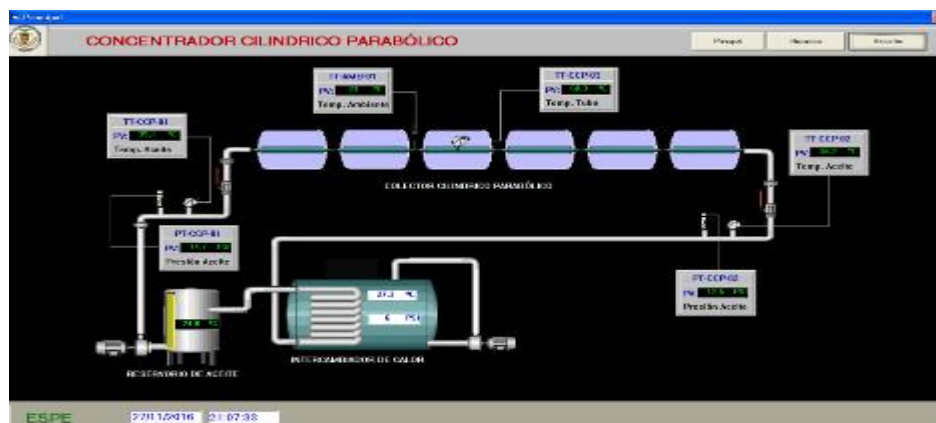
Pantalla de desarrollo Soft_CCP.



Una vez concluida la aplicación procedemos a generar el *.EXE que nos permitirá ejecutar en cualquier ordenador con XP. Este ejecutable se debe copiar en el directorio C:/, creamos un acceso directo en el escritorio.

Figura 97

Pantalla principal de Soft_CCP



Instalación Microsoft Access 2007

El paquete de Microsoft Office cuenta con Access el cual gestiona Base de Datos y se encuentra instalado en el ordenador que monitorea y controla el sistema CCP_ESPE.

Figura 98

Pantalla Principal Microsoft Access

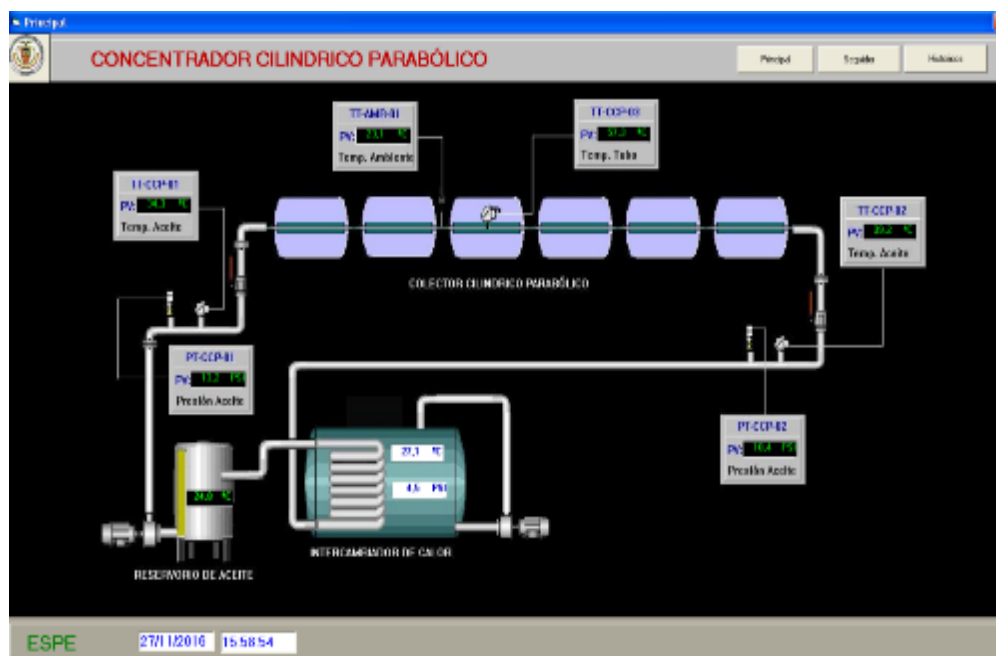


Desarrollo de HMI

Soft_CCP v1.0.- como habíamos comentado es una aplicación software que nos permite visualizar en tiempo real las variables del sistema CCP (Concentrador Cilíndrico Parabólico) y tener históricos. Realizamos la parte grafica del CCP y colocamos los Display de variable donde corresponde con su respectiva nomenclatura y la distribución física del sistema.

Figura 99

Pantalla principal CCP en Visual Basic 6.0



Para tener acceso a los datos del PLC se realizó en primera instancia la configuración del RSlinx Classic Gateway, y posterior el enlace con el Soft_CCP. La visualización y el manejo de base de datos se programan en lenguaje C dentro de la plataforma Visual Basic 6.0.

Figura 100

Enlace de Visual Basic con Rslinx

```
Private Sub Form_Load()  
    presion_oil_input.Locked = True  
  
    presion_oil_input.LinkTopic = "RSLinx|Data_1"  
    presion_oil_input.LinkItem = "F8:10"  
    presion_oil_input.LinkMode = 1  
    presion_oil_input.LinkRequest  
  
    presion_oil_output.LinkTopic = "RSLinx|Data_1"  
    presion_oil_output.LinkItem = "F8:11"  
    presion_oil_output.LinkMode = 1  
    presion_oil_output.LinkRequest
```

La programación en Visual Basic se desarrolla enfocándose al enlace con el OPC Server RSlinx y con cada una de las variables. A continuación, se detalla la configuración para una comunicación DDE (Dynamic Data Exchange).

- *LinkTopic*.- Path OPC server que se configura en el Rslinx para el enlace con el PLC Micrologix 1400.
- *LinkItem*.- se enlaza a los registros internos del PLC Micrologix 1400 donde se encuentran los valores de temperatura y presión.
- *LinkMode*.- está configurado como fuente o source
- *LinkRequest*.- adquiere el dato del registro interno del PLC Micrologix 1400 y lo copia en el display del software.

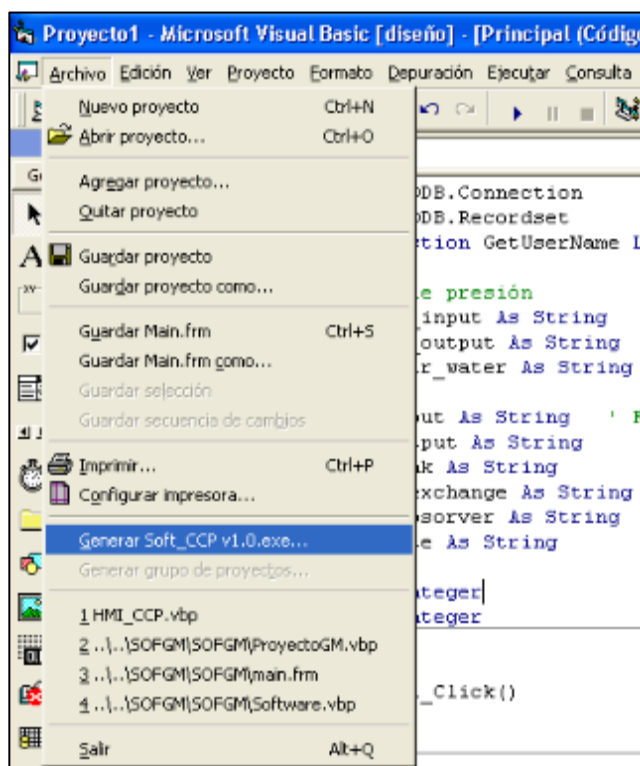
Para cada variable se debe realizar estas líneas de programación y se podrá visualizar los valores en los textbox (Cuadro que muestra los valores en el HMI). De esta manera podemos visualizar en tiempo real los datos en la pantalla principal del CCP (Concentrador Cilíndrico

Parabólico). Con los datos adquiridos podemos almacenar y generar históricos en Microsoft Access.

Para utilizar el software se genera un ejecutable .EXE dentro del menú archivo.

Figura 101

Generar archivo ejecutable



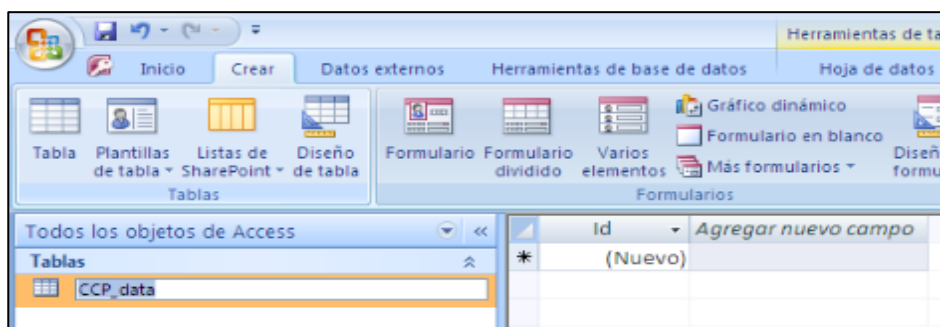
Desarrollo de base de datos

Ingresamos a Microsoft Access, procedemos con la creación de una base de Datos con el nombre de **Base CCP** y adicionamos dentro de la carpeta tablas una nueva con el nombre de

CCP_data en la cual se almacena todos los datos de las variables de temperatura y presión que se requiere para el análisis del CCP (Concentrador Cilíndrico Parabólico).

Figura 102

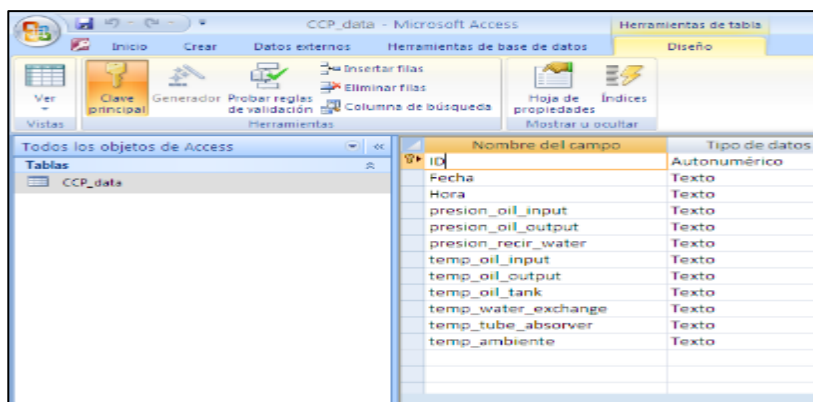
Creación de la tabla en la Base de Datos



A continuación, se realiza el diseño de la tabla con las variables a ser almacenadas con sus respectivos tipos de dato y el índice general (ID).

Figura 103

Configuración de variables en la tabla de datos

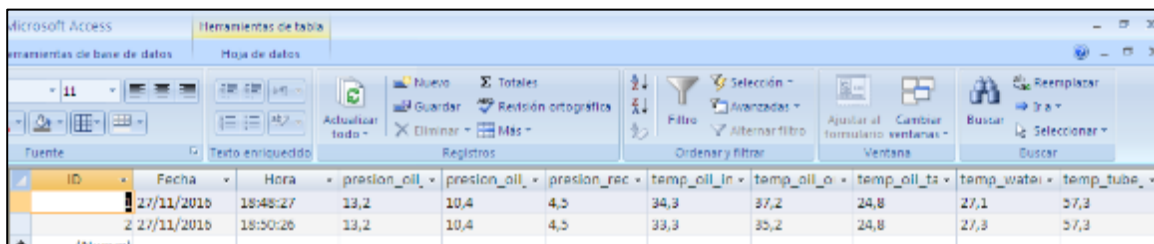


Alfanumérico. - Esta relacionado al ítem que es el índice que va incrementando en uno por cada línea de almacenamiento (evento de almacenamiento de todas las variables en la misma línea). Y está configurado para que sea único el índice.

Text.- Relacionado a la hora y fecha del evento que se almacena o línea de almacenamiento. No se cuenta con un tipo de datos para fecha por tal motivo de utiliza el tipo texto. Adicional todos los datos son almacenados como texto para evitar posibles errores en el punto flotante. Al momento de reporte se genera como valor numérico.

Figura 104

Tabla creada y lista para almacenar datos



ID	Fecha	Hora	presion_oll	presion_oll	presion_rec	temp_oll_in	temp_oll_o	temp_oll_ts	temp_water	temp_tube
	27/11/2016	18:48:27	13,2	10,4	4,5	34,3	37,2	24,8	27,1	27,3
	27/11/2016	18:50:26	13,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,8	27,3	27,3

Desarrollo de la configuración de control y programa

El control en las centrales termo solares aún no está suficientemente desarrollado, por lo que a nivel global el sistema adolece de falta de integración entre los diferentes sistemas que engloba la planta (campo solar, ciclo agua-vapor, sistemas auxiliares, sistema de alta tensión y turbina de vapor). El sistema HTF no tiene un control propiamente dicho, sino que parte de sus funciones

las realiza el sistema de control del campo solar y otra parte el sistema de control del bloque de potencia, dedicado este último mayoritariamente al control de los parámetros de ciclo agua-vapor. (Empresa Renovetec, 2016). En el CCP_ESPE se implementaron 2 lazos de control para su funcionamiento global.

1. Lazo del seguidor solar.
2. Lazo de control del campo solar.

En el bloque de potencia únicamente se monitorea los parámetros de operación.

Control del proceso

EL objetivo del sistema de control es alcanzar la mayor potencia de concentración de la radiación, así como mantener la temperatura estable del conductor de energía térmica (Aceite). A continuación, detallamos los lazos de control necesarios según la empresa Renovetec en los sistemas de control solar térmico, de los cuales hemos seleccionado los que se aplican al CCP_ESPE.

1. El lazo de control del seguidor solar.
2. Lazo control de flujo de fluido térmico (Aceite) y radiación concentrada.
3. Lazo de control de seguridad de radiación máxima.

Lazo de control seguidor solar. - Se basa exclusivamente en seguir el sol de forma perpendicular para tener la mayor concentración de radiación en el CCP_ESPE. Referirse a la Tesis del seguidor solar (Ing. Jorge Fabara, 2016)

Lazo de control fluido térmico y radiación concentrada. - Según la caracterización el rango de temperatura que se concentra en el sistema CCP_ESPE normalmente es de 100 °C a 390 °C con una radiación solar de 834 w/m² y la temperatura nominal de transferencia del aceite térmico es 73 °C. Cuando la temperatura se encuentra por debajo de 73 °C el sistema de control debe actuar disminuyendo la velocidad del variador de frecuencia (Nuestro proyecto no cuenta con este equipo) según el control utilizado Pi, Pd o Pid para que pueda llegar a tener un valor presente PV = 73 °C, el principio es disminuir en caudal (nominal 8 gl/min) así el aceite atraviesa más lentamente, la energía transferida es mayor y la temperatura del aceite se recupera.

Este lazo principalmente se aplica cuando la Radiación Solar baja y se necesita mantener la temperatura del aceite estable al SP. Sin embargo, Si la temperatura continúa descendiendo llegará un momento en que el flujo de sistema a través de los lazos sea inferior a un valor determinado (Limite de seguridad). Entonces, si la velocidad del flujo de líquido a través de los tubos de absorción cae por debajo de 0,8 m/s, parte del líquido se moverá hacia la corriente, por lo tanto, independientemente de la temperatura promedio del volumen máximo alcanzado por el líquido en el tubo. las paredes serán demasiado altas y darán lugar a una rápida descomposición del líquido que conducirá a la fractura.

Por lo tanto, cuando la velocidad del líquido es demasiado baja debido a la baja radiación, lo que hace que la bomba gire más lentamente, los módulos de colectores solares perderán el foco y, después de unos minutos, la instalación se apagará por razones de seguridad. (Renovetec, 2015).

Lazo de control de seguridad de radiación máxima. - Cuando la temperatura de la radiación concentrada (Tubo absorbedor) es mayor a 400 °C, la primera decisión que tomará el

sistema de control será aumentar la velocidad de la bomba de aceite, para que el fluido pase menos tiempo en los tubos y los atraviese más rápidamente.

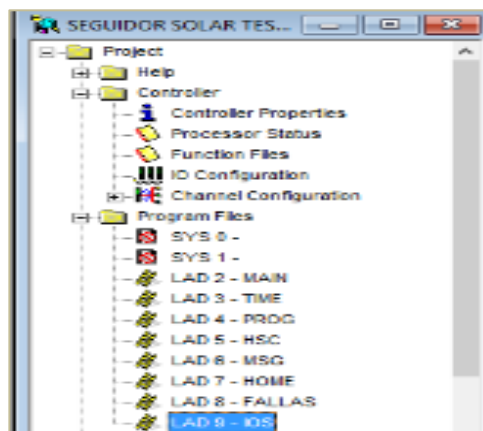
Las bombas solo alcanzaran su máximo caudal y velocidad, una vez que las condiciones de radiación solar sean sobresalientes. El CCP_ESPE se deberá desenfocar parcialmente hasta que baje la radiación solar (w/m^2) o apagarse después de 10 min en caso de fallar el control de desenfoque.

Programación de controlador lógico programable (PLC)

Subrutinas. - La programación se realizó tomando en cuenta la flexibilidad para la detección de errores y comunicación, a continuación, se detalla la estructura del programa para CCP.

Figura 105

Estructura de subrutinas Control y Monitoreo CCP



Principal (Main). - es la subrutina que realiza la secuencia de las demás una vez que se activan, adicional se configura la hora del sistema con el reloj interno que posee el PLC.

Tiempo (Time).- EL PLC es compartido para la programación del seguidor solar, esta subrutina contiene la generación de hora, ajuste de tiempos de acuerdo al mes del año.

Programa (Prog).- En esta subrutina se encuentra la secuencia de funcionamiento del seguidor solar y el funcionamiento de la bomba de aceite.

Encoder (HSC).- Adquiere la imagen de la posición del encoder para la posición del seguidor solar.

Mensaje (MSG).- Comunicación del PLC con el Variador de frecuencia que controla la posición del seguidor solar. En un futuro se podría integrar en esta subrutina dispositivos Modbus como estaciones meteorológicas.

Inicio (Home).- Esta subrutina permite colocar en la posición inicial el seguidor solar, así como todos los parámetros que controla el CCP.

Fallas. - Esta subrutina contiene las diferentes fallas y alarmas del sistema.

Entradas y Salidas (IOS).- Se realiza una imagen de cada una de las entradas digitales físicas a memorias internas del PLC, y la configuración de las entradas analógicas de la misma manera con los bloques de conversión.

El lenguaje de programación es ladder (escalera), utilizamos el software RSlogix 500. Todas las líneas de programación lo podemos ver en el Anexo 1. La estructura nos permite organizar y ser eficiente en el manejo de fallas.

Transferencia de datos

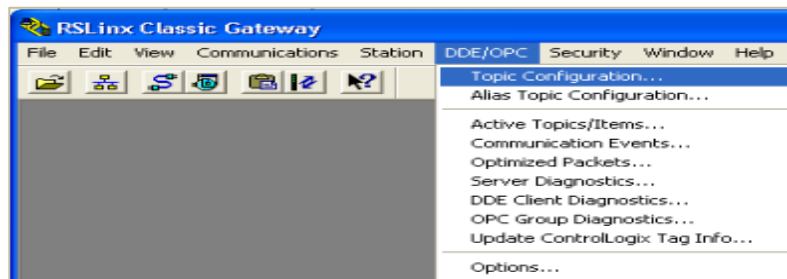
En esta sección revisamos la configuración y el manejo de la data del CCP_ESPE.

Rslinx OPC server

Como requisito principal es tener Rslinx Classic Gateway es cual nos permite realizar la configuración OPC server. En la barra de menú seleccionamos **DDE/OPC** para configurar de tema (Topic Configuration). Pulsamos en nuevo y colocamos el nombre de **Data**, Tomar en cuenta que al momento de crear debe estar seleccionado el CCP_ESPE.

Figura 106

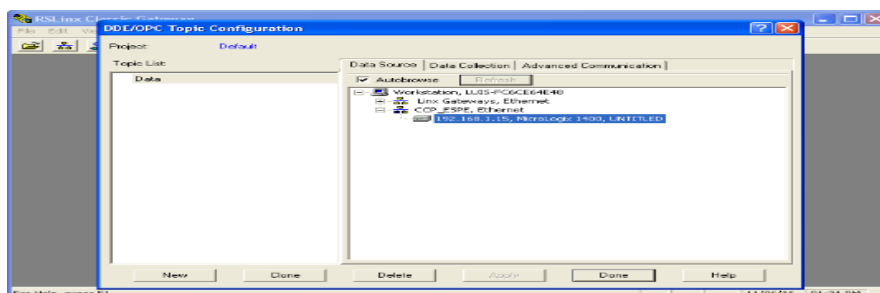
Pantalla Rslinx Classic Gateway para configurar DDE/OPC



Este enlace permite que desde Visual Basic 6.0 se pueda visualizar la conexión **Data_1**, caso contrario no podríamos leer los datos del PLC.

Figura 107

Creación de nueva conexión con CCP_ESPE

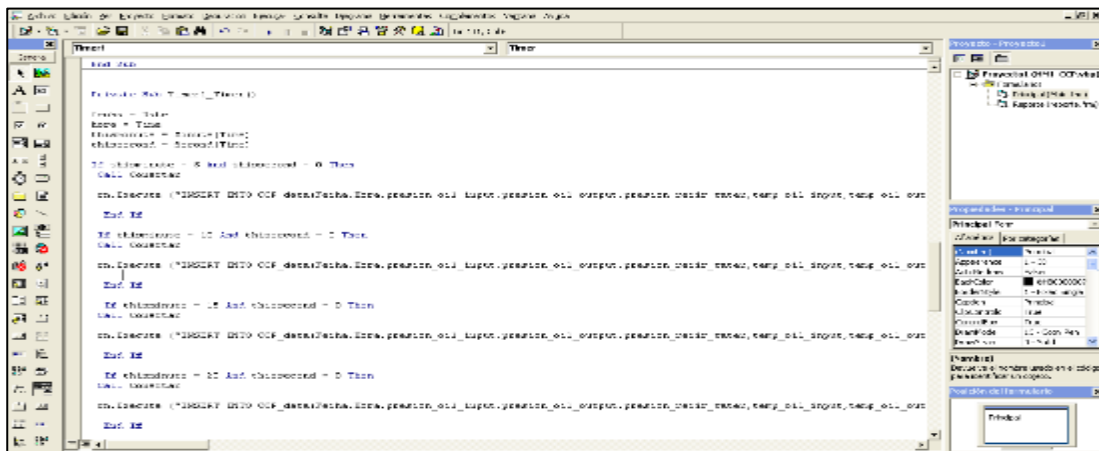


Algoritmo de envío de datos a Microsoft Access

En el desarrollo del Soft_CCP se utilizó la conexión ADO para la gestión de base de datos

Figura 108

Script aplicación que se ejecuta en runtime



Sub Conectar()

Set cn = New ADODB.Connection

Set rs = New ADODB.Recordset

rs.CursorLocation = adUseClient

cn.CursorLocation = adUseClient

cn.Open "DRIVER={Microsoft Access Driver (.mdb)};dbq=" & App.Path & "\Base CCP.mdb;PWD=pintura2013"*

End Sub

If thisminute = 5 And thissecond = 0 Then

Call Conectar


```

cn.Execute ("INSERT INTO
CCP_data(Fecha,Hora,presion_oil_input,presion_oil_output,presion_recir_water,temp_oil_input,temp_oil
_output,temp_oil_tank,temp_water_exchange,temp_tube_absorber,temp_ambiente) Values('" & Date &
"', '" & Time & "', '" & presion_oil_input.Text & "', '" & presion_oil_output.Text & "', '" &
presion_recir_water.Text & "', '" & temp_oil_input.Text & "', '" & temp_oil_output.Text & "', '" &
Temp_oil_tank.Text & "', '" & temp_water_exchange.Text & "', '" & temp_tube_absorber.Text & "', '" &
temp_ambiente.Text & "')")
End If

```

La sentencia **IF** según la condición se ejecuta el algoritmo cada 5 min. Se abre la conexión con Microsoft Access (**cn.Open**) para lo cual se autentifica con el usuario y contraseña, seguido por la base de datos a la cual se va acceder y el path del Servidor.

Con el comando (**cn.Execute**) acompañado con INSERT INTO insertamos los datos de temperatura y presiones en la tabla de la Base (**CCP_data**) .

Tabla 18

Datos almacenados en Microsoft Access

ID	Fecha	Hora	presion_oil_in	presion_oil_out	presion_rec	temp_oil_in	temp_oil_out	temp_oil_tank	temp_water_ex	temp_tube_abs	temp_ambiente
76	27/11/2016	19:12:40	13,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,8	27,3	57,3	
79	27/11/2016	19:12:57	13,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,8	27,3	57,3	
80	27/11/2016	19:13:00	13,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,8	27,3	57,3	
81	27/11/2016	19:15:06	13,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,8	27,3	57,3	
82	27/11/2016	19:15:18	13,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,8	27,3	57,3	
83	27/11/2016	19:16:00	13,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,8	27,3	57,3	
84	27/11/2016	19:20:42	13,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,8	27,3	57,3	
85	27/11/2016	19:21:00	13,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,8	27,3	57,3	
86	27/11/2016	19:30:00	13,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,8	27,3	57,3	
87	27/11/2016	19:35:01	12,8	11,2	0	33,3	35,2	24,8	27,3	57,3	
88	27/11/2016	19:40:00	14,7	12,5	6	35,1	36,2	24,8	27,3	60,3	
89	27/11/2016	19:45:00	14,7	12,5	0	35,1	36,2	24,8	27,3	60,3	

Reportes

En la opción de reportes en la pantalla principal de Soft_CCP tenemos acceso a una nueva pantalla donde se muestra los datos del último día que se encuentran almacenados. La conexión con Excel y la transferencia de datos se realiza con sentencias programadas en Visual Basic 6.0.

A continuación, un fragmento del programa.

```

Dim Path As String
Dim objexcel As Excel.Application
Dim objhoja As Excel.Worksheet
Dim H As Long 'Horizontal
Dim V As Long 'Vertical
On Error GoTo ErrorExcel
Set objexcel = New Excel.Application
objexcel.Visible = True
'determina el numero de hojas que se mostrara en el Excel
objexcel.SheetsInNewWorkbook = 1
'Crea el Libro
Path = App.Path & "\reporte_data.xlsx"
Path1 = App.Path & "\report.xlsx"
objexcel.Workbooks.Open (Path)
objexcel.ActiveWorkbook.SaveAs (Path1)

V = 5
H = 1
Do While rs.EOF = False
    objexcel.ActiveSheet.Cells(V, 1) = rs(1).Value
    objexcel.ActiveSheet.Cells(V, 2) = rs(2).Value
    objexcel.ActiveSheet.Cells(V, 3) = rs(3).Value
    objexcel.ActiveSheet.Cells(V, 4) = rs(4).Value
    objexcel.ActiveSheet.Cells(V, 5) = rs(5).Value
    objexcel.ActiveSheet.Cells(V, 6) = rs(6).Value
    objexcel.ActiveSheet.Cells(V, 7) = rs(7).Value
    objexcel.ActiveSheet.Cells(V, 8) = rs(8).Value
    objexcel.ActiveSheet.Cells(V, 9) = rs(9).Value
    objexcel.ActiveSheet.Cells(V, 10) = rs(10).Value

```


Figura 1103

Datos exportados desde Microsoft Access hacia Excel

DATOS SISTEMA SOLAR DE MEDIA TEMPERATURA										
FECHA	HORA	Presion Oil Input	Presion Oil Output	Presion Water	Temp Oil Input	Temp Oil Output	Temp Oil Tank	Temp Water ex	Temp tube Absorber	Temp Ambiente
27/12/2018	10:10:40	10,2	10,4	4,5	35,5	35,2	24,0	27,5	27,5	20,4
27/12/2018	10:11:47	10,2	10,4	4,5	44,4	35,2	24,0	27,4	27,4	20,0
27/12/2018	10:15:00	10,2	10,4	4,5	55,5	35,2	24,0	27,5	27,5	20,4
27/12/2018	10:16:09	10,2	10,4	4,5	44,4	35,2	24,0	27,4	27,4	20,0
27/12/2018	10:15:28	10,2	10,4	4,5	55,5	35,2	24,0	27,5	27,5	20,4
27/12/2018	10:16:00	10,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,0	27,3	27,3	20,0
27/12/2018	10:20:42	10,2	10,4	4,5	55,5	35,2	24,0	27,5	27,5	20,4
27/12/2018	10:21:00	10,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,0	27,3	27,3	20,0
27/12/2018	10:40:01	10,2	10,4	4,5	55,5	35,2	24,0	27,5	27,5	20,4
27/12/2018	10:30:01	10,2	10,4	4,5	33,3	35,2	24,0	27,3	27,3	20,0
27/12/2018	10:40:01	10,2	10,4	4,5	55,5	35,2	24,0	27,5	27,5	20,4
27/12/2018	10:42:00	14,7	12,5	8,00	49,7	38,2	24,0	27,4	24,0	21,0
27/12/2018	10:43:01	10,2	10,4	4,5	55,5	35,2	24,0	27,5	27,5	20,4
27/12/2018	10:55:00	14,7	12,5	8,00	35,1	36,2	24,0	27,4	24,0	21,0
27/12/2018	10:59:01	10,2	10,4	4,5	55,5	35,2	24,0	27,5	27,5	20,4
27/12/2018	10:59:00	14,7	12,5	8,00	35,1	36,2	24,0	27,4	24,0	21,0
27/12/2018	10:59:00	14,7	12,5	8,00	35,1	36,2	24,0	27,4	24,0	21,0
27/12/2018	10:59:00	14,7	12,5	8,00	35,1	36,2	24,0	27,4	24,0	21,0
27/12/2018	10:59:00	14,7	12,5	8,00	35,1	36,2	24,0	27,4	24,0	21,0
27/12/2018	10:59:00	14,7	12,5	8,00	35,1	36,2	24,0	27,4	24,0	21,0
27/12/2018	10:59:00	14,7	12,5	8,00	35,1	36,2	24,0	27,4	24,0	21,0

Desarrollo físico e implementación y pruebas

En esta sección se detalla la implementación total del sistema desde la obra civil hasta la instrumentación que debe ser instalada en el sistema de media temperatura CCP_ESPE ubicada en la Universidad de la Fuerzas Armadas (ESPE). Y es prototipo para el estudio de energía solar en el Ecuador.

Ejecución obra civil

Es necesario construir tres bases para los CCP en paralelo y una base para el tanque de aceite y el caldero. Las bases de los CCP deben tener 15 metros de largo y 2 metros de ancho; mientras que la base para el tanque de aceite debe tener un ancho de 2 metros y un largo de 5 metros. Los ejes de los CCP tienen que estar concéntricos y alineados, de esta manera se pueden implementar los CCP, tomando en consideración que la superficie debe ser plana en

medida de lo posible. Teniendo en cuenta este punto, se procede a realizar la cimentación para los CCP y para la base del tanque. (Quintana & Yépez, 2015, pp. 182-186).

Figura 1114

Encofrado de madera para relleno con lastre



Figura 512

Secado de hormigón de los bordillos



Construcción e instalación de estructura

De acuerdo al diseño del CCP_ESPE se ha procedido con la construcción de la estructura donde se fija los componentes, las parábolas y el sistema térmico las cuales se detalla en un proyecto de los autores (Quintana & Yépez, 2015, pp. 172-181).

Figura 123

. Estructura base totalmente ensamblada



Figura 114

Soldadura de platinas y refuerzos de la estructura parábola



Instalación de componentes y partes del campo solar

La parábola se ajustó mediante chumaceras con la ayuda de dos pernos sobre la estructura soporte, en cada una de las 2" x 3/8", con rodela plana, de presión y tuercas de 3/8". Tomando en cuenta que la chumacera debe quedar centrada, aproximadamente 8 centímetros a cada lado. (Este procedimiento se realiza para los 18 CCP). (Quintana & Yépez, 2015, pp. 187-194).

Figura 115

Soldado de la parte trasera del colector con el matrimonio



Nota: (Quintana & Yépez, 2015, p. 190)

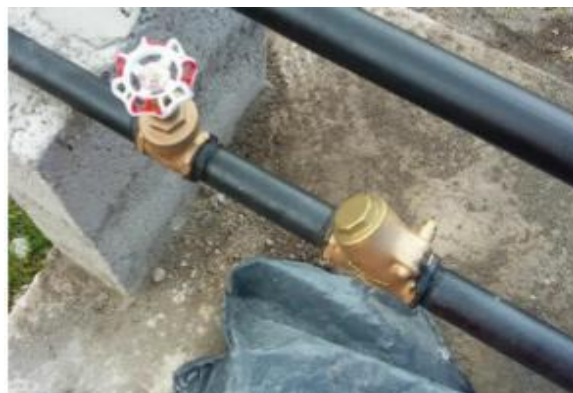
Figura 116

Sujeción de los acoples de grilón



Figura 117

Montaje de las válvulas



Nota: (Quintana & Yépez, 2015, p. 192)

Figura 118

Instalación de accesorios



Nota: (Quintana & Yépez, 2015, p. 201)

Nota: (Quintana & Yépez, 2015, p. 200)

Figura 119

Instalación de la bomba centrífuga



Nota: (Quintana & Yépez, 2015, p. 200)

Figura 120

Tubo de cobre sobre el tubo de vidrio



Nota: (Quintana & Yépez, 2015, p. 1993).

Figura 121

Perforación tanque de aceite



Nota: (Quintana & Yépez, 2015, p. 180)

Instalación del seguidor solar

Teóricamente la velocidad, al final del proceso de desaceleración es en realidad la misma que requiere el husillo cuando la frecuencia del motor es de 60 Hz, pero al ser elementos mecánicos, su precisión de desaceleración no siempre coincide con la teórica, se alcanza la primera de las reducciones. El paso es variable, por lo que, si la desaceleración disminuye desde la velocidad terminal, aumentará, la desaceleración se logra usando un botón conectado al paso variable (Fabara, 2016, p. 70)

Figura 122

Equipo Moto reductor con 4 etapas de reducción acoplado



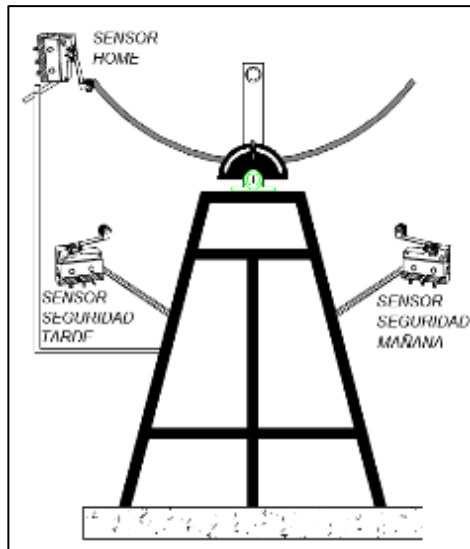
Nota: (Fabara, 2016, pp. 72-87)

Esto está marcado como la posición 0 en el ENCODER porque se ha determinado que el codificador debe incrementar su posición cada día en relación con el sensor que determina la posición de las 12:00 PM.

Las horas anteriores, entre 9 AM y 12 PM, se miden mediante pulsos negativos en el ENCODER. Se tiene un giro de 45° que corresponde a 180 minutos o 3 horas. (Fabara, 2016, p. 83)

Figura 123

Avistamiento lateral del Seguidor con la ubicación de los sensores colocados

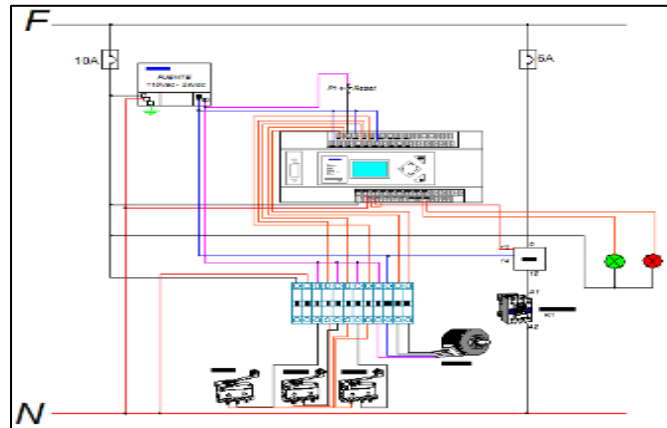


Nota: (Fabara, 2016, p. 83)

La creación de TSV (True Solar Time) comienza con la creación de un cronómetro que genera horas, minutos y segundos, seguido de una lectura de la hora de la computadora o PLC correspondiente a la hora civil ecuatoriana. A partir de esta lectura diaria, se sigue utilizando la tabla correspondiente a la ecuación del tiempo, sumando valores al TSV según el mes para darnos tiempo de trabajo cada día. (Fabara, 2016, p. 85)

Figura 124

Diagrama de Control del PLC



Nota: (Fabara, 2016, p. 86)

Instalación de dispositivos de campo

Las termocuplas tipo J son instaladas en la línea de proceso con un reductor de 1/2" a 1/4" en acero galvanizado y la conexión eléctrica se le realiza en el tablero de control.

Figura 125

Termocupla instalada en la línea de proceso



Nota: (Poaquiza Yumbolema, 2016)

El transmisor de presión es instalado en la línea de proceso en paralelo al indicador analógico de presión. La conexión es ¼" NPT.

Figura 126

Transmisión de presión Tuck



Figura 127

Transmisor de presión en líneas de proceso



Escalamiento de dispositivos de campo

La digitalización de realizará con la ayuda de módulos de entradas analógicas en el caso de presiones, para la variable temperatura el módulo es exclusivo para termopares (TC).

Escalamiento transmisor de presión

Digitalización de -32767 a 32767

0 a 10 bar (0 a 145 psi)

0 a 21 mA ; full escala

0 a 32767

$$y (\text{bar}) = \frac{10 * x}{32767}$$

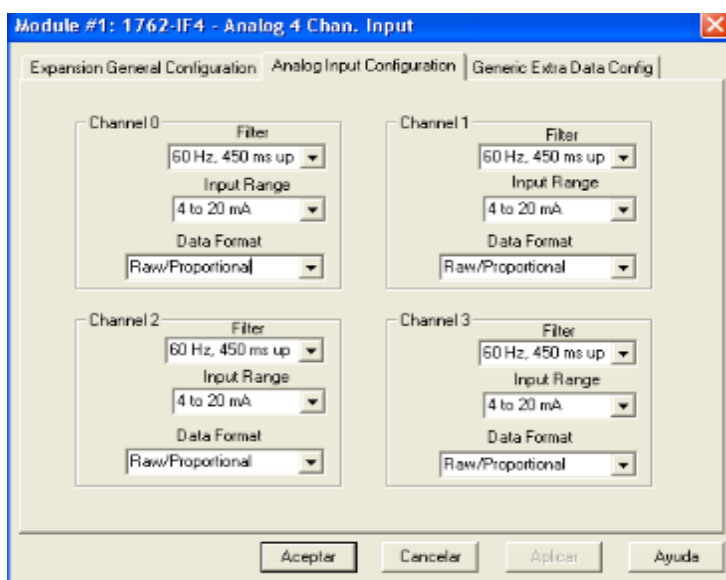
$$y (\text{psi}) = \frac{145 * x}{32767}$$

x = es el valor digitalizado 0-32767

Con el módulo analógico 1762-IF4 se obtiene algunos datos ya digitalizados

Figura 128

Configuración de canal analógico



Raw/Proportional nos devuelve los datos digitalizados de 0 a 32766, sin embargo, hay que configurarlo en la subrutina en el PLC con la función SCP (Scale Parameter). Los valores a ser programados según las características del módulo 1762-IF4 a full escala son los siguientes:

Tabla 19

Valores del módulo determinado a full escala

Dato Digitalizado	Valor de corriente
32767	21 mA
31206	20 mA
6241	4 mA
0	0 mA

Con estos datos se realiza la configuración de la función SCP para escalamiento en el PLC.

Figura 129

Configuración función de escalamiento

Presión de entrada	
fluido térmico del	
campo solar	
PRESION_OIL_INPUT	
SCP	
Scale w/Parameters	
Input	N7:80
	?
Input Min.	6241
	?
Input Max.	31206
	?
Scaled Min.	0
	?
Scaled Max.	145
	?
Output	F8:10
	?

En N7:80 se encuentra el valor digitalizado entre el rango de 0 – 32767, el rango de trabajo configurado en la función es de 6241 a 31206, que corresponde a los valores digitalizados de 4mA a 20mA. El valor escalado o unidad de ingeniería a la cual se va a convertir es de 0 – 145 psi. Finalmente, el resultado del escalamiento de guarda en F8:10.

Escalamiento sensor de temperatura

El módulo 1762-IT4 convierte directamente en Unidades de Ingeniería, para utilizar estos valores únicamente dividimos el valor para 10 y obtenemos el valor real.

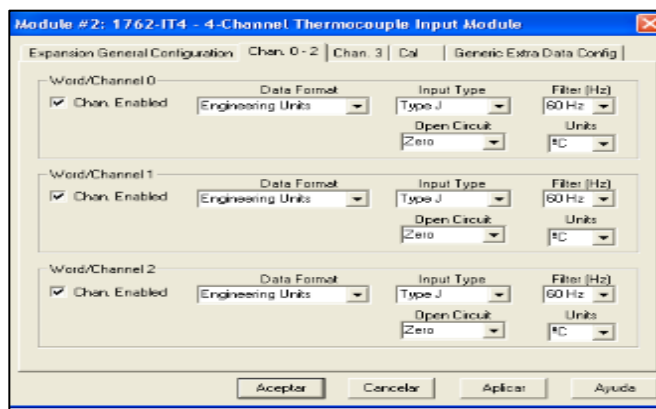
Figura 130

Configuración y adquisición de valores de temperatura

Temperatura de aceite entrada del campo solar	
TEMP_OIL_INPUT	
DIV	
Divide	
Source A	N7:84
	292<
Source B	10.0
	10.0<
Dest	F8:20
	29.2<

Figura 131

Configuración módulo de termocupla 1762-IT4



Soporte técnico y mantenibilidad

En esta sección se detalla la implementación de la mantenibilidad del CCP_ESPE y la mejora continua del sistema.

Desarrollo de plan de mantenimiento

El soporte técnico del sistema se considera los puntos que se detalla.

- Respaldo del Programa del PLC.
- Respaldo del Programa HMI.
- Repuesto de transmisor de presión.
- Repuesto de termocupla.
- Repuesto del variador de frecuencia.
- Manuales e información de equipos.
- Plan de mantenimiento.

Tomando en referencia a la empresa especializada en energía térmica solar (Renovetec, 2016) se ha seleccionado el tipo de mantenimiento aplicado al CCP_ESPE, y contempla la realización de las siguientes actividades:

El mantenimiento conductivo, llevado a cabo diariamente por operadores de planta.

El mantenimiento sistemático (preventivo), que llevan a cabo los técnicos de mantenimiento de planta a lo largo del año.

El mantenimiento predictivo, lo realizan los técnicos apoyándose en diferentes análisis de: análisis de aceites, vibraciones, termografías, verificaciones mediante ultrasonido, boroscopia y otros.

El plan de calibración, hace parte del sistema que controla la planta y que permite asegurar la precisión y exactitud, contemplando de forma especializada las variaciones y ajustes de instrumentación.

Tabla 20

Activos o partes del sistema se detallan en la siguiente tabla

Nombre proyecto: CCP_ESPE

Código de proyecto: CCP_01

CÓDIGO ACTIVO	UBICACIÓN	EQUIPO	Año de ingreso
CP001	CCP_CONC_01	Lazo 1 sistema CCP	2015
CP002	CCP_CONC_02	Lazo 2 sistema CCP	2015
CP003	CCP_CONC_03	Lazo 3 sistema CCP	2015
CP004	CCP_ESTR_01	Estructura de soporte	2015
CP005	CCP_BOM01	Bomba Aceite	2016
CP006	CCP_BOM02	Bomba de Agua	2016
CP007	CCP_CAL_01	Caldero	2016
CP008	CCP_ACE_01	Sistema de Aceite	2016
CP009	CCP_SEG_01	Seguidor Solar	2016
CP010	CCP_TAB_01	Tablero de Control	2016
CP011	CCP_INS_01	Instrumentación y sensores	2016

En la tabla 22 se tiene la propuesta del Plan Mantenimiento General para el CCP_ESPE, donde se incluye el mantenimiento preventivo, predictivo y el plan de calibración.

Tabla 21

Plan de mantenimiento preventivo CCP_ESPE

Código	Equipo	Código MP	MPs	Horas	Frecuencia	Semana Inicio	Anual Horas
CCP_TAB_01	Tablero de Control	MP001	Revisión y Ajuste de borneras	0.50	12	4	2.17
		MP002	Termografía	0.25	26	26	0.50
CCP_CONC_01	Lazo 1 sistema CCP	MP003	Limpieza de Colector	1.50	3	1	26.00
		MP004	Limpieza y ajuste de Absorbedor	1.00	3	1	17.33
CCP_CONC_01	Lazo 1 sistema CCP	MP003	Limpieza de Colector	1.50	3	2	26.00
		MP004	Limpieza y ajuste de Absorbedor	1.00	3	2	17.33
CCP_CONC_01	Lazo 1 sistema CCP	MP003	Limpieza de Colector	1.50	3	3	26.00
		MP004	Limpieza y ajuste de Absorbedor	1.00	3	3	17.33
CCP_BOM01	Bomba Aceite	MP005	Ajuste de Borneras de Motor	0.50	12	4	2.17
		MP006	Inspección de sellos para determinar fugas	0.25	1	1	13.00
		MP002	Termografía Mecánica	0.25	26	26	0.50
		MP007	Vibraciones	0.50	26	20	1.00
		MP008	Lubricación de rodamientos	1.00	26	5	2.00
CCP_BOM02	Bomba de Agua	MP005	Ajuste de Borneras de Motor	0.50	12	4	2.17
		MP006	Inspección de sellos para determinar fugas	0.25	1	1	13.00
		MP002	Termografía Mecánica	0.25	26	26	0.50
		MP007	Vibraciones	0.50	26	20	1.00
		MP008	Lubricación de rodamientos	1.00	26	5	2.00
CCP_CAL_01	Caldero	MP009	Limpieza de Hogar	4.00	52	52	4.00
		MP010	Mapeo de temperatura de aislamiento	1.00	26	15	2.00
		MP011	Revisión de instrumentos de medición	0.50	4	1	6.50
		MP012	Purgas de fondo	0.25	4	8	3.25
CCP_SEG_01	Seguidor Solar	MP005	Ajuste de Borneras de Motor	0.50	12	4	2.17
		MP013	Revisión y relleno de aceite caja reductora	1.00	4	4	13.00
		MP006	Inspección de sellos para determinar fugas	0.25	1	1	13.00
		MP002	Termografía Mecánica	0.25	26	26	0.50
		MP007	Vibraciones	0.50	26	20	1.00
CCP_INS_01	Instrumentación y sensores	MP008	Lubricación de rodamientos	1.00	16	10	3.25
		MP014	Revisión y Ajuste de Conectores	2.00	8	8	13.00
		MP015	Calibración	8.00	26	26	16.00
					Total horas anula		247.67
					Total horas semanal		4.76

En el análisis de horas de mantenimiento semanal se requiere un promedio de 5 h/semana para trabajos preventivos.

El mantenimiento conductivo se realiza a diario con la ayuda de una lista de verificación, tanto para condiciones de parámetros medibles como para la inspección del sistema físico. Tiempo aproximado 1 hora en el cumplimiento (Anexo 1).

El mantenimiento del CCP_ESPE requiere aproximadamente un total de 10 h/h semanas o 2 h/h diarias para el correcto funcionamiento del sistema y su mantenibilidad en el tiempo.

Perfil de formación técnico

Campos de conocimiento

- Electrónica en Control (Instrumentación y PLCs)
- Mecánica básica
- Mantenimiento preventivo
- Redes lan e industriales

Competencias



- Trabajo en equipo
- Trabajo bajo presión
- Adaptación al cambio

Documentación de lecciones aprendidas

Las lecciones aprendidas son documentos que es parte de la mejora continua de un proyecto, los cuales nos ayudan a corregir los errores para futuros proyectos en las diferentes áreas. Para el CCP_ESPE se determinan lecciones aprendidas desde la planificación hasta la implementación. A continuación, se detalla una de las lecciones aprendidas en el formato que se ha desarrollado para su difusión y archivo.

Figura 132

Formato Lecciones Aprendidas

SISTEMA SOLAR TÉRMICO BASADO EN CCP			
Lecciones Aprendidas <input type="checkbox"/>			
FECHA : 15 Diciembre 2016 ASUNTO / TEMA : INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN LAS LINEAS PROCESO PARA EL MONITOREO PARTICIPANTES : LUIS POAQUIZA		CATEGORIA QUE APLICA: <input type="checkbox"/> GENTE <input type="checkbox"/> CALIDAD <input checked="" type="checkbox"/> CAPACIDAD DE RESP. <input type="checkbox"/> SEGURIDAD	
ESTADO ANTERIOR		ESTADO ACTUAL / FUTURO	
En el momento de la instalación de las tuberías no se consideró las tomas y acoples para la colocación de instrumentación (Transmisores de presión y sensores de temperatura). Lo que dificulta sobre todo cuando la tubería ya se encuentra con la aceite termico.		Se coloca los transmisores de presión en forma paralela a los instrumentos de medida análogos. Los instrumentos análogos de temperatura son reemplazados con los sensores de temperatura (Termocuplas J).	
DIAGRAMA / FOTO: 		DIAGRAMA / FOTO: 	
BENEFICIO	SITUACION		MEJORA OBTENIDA
	ANTERIOR	ACTUAL / FUTURO	
SEGURIDAD			
CALIDAD	Los accesorios utilizados para acoplamiento de instrumentación son de hierro negro y se encuentran en mal estado.	Se cambia por accesorios de acero galvanizado para que soporte la corrosión.	Tiempo de vida de acoples y accesorios.
RESPUESTA (Productividad)			
GENTE	No se cuenta con una buena planificación del montaje y los ingenieros involucrados en los diferentes proyectos.	Determinar hitos y puntos críticos, así como los fusibles dentro de la planificación del proyecto para un mejor seguimiento.	Instalación adecuada de la instrumentación para el monitoreo y control.
OBSERVACIONES:			
Cuándo Abrir:			
MANUTENIMIENTO 1. Cambios en procedimientos (tareas) 2. Equipos nuevos (puesta en marcha) 3. Fallas mayores (por tiempo o criticidad de equipo) Las lecciones aprendidas serán difundidas		CAMBIOS MAYORES EN EL SISTEMA 1. Levantamiento del "estado anterior" (problema) en reunión con involucrados 2. Análisis y llenado de lección aprendida de los involucrados en cada lección aprendida 3. Se archiva por el responsable 4. Antes de nuevo cambio se revisa las lecciones aprendidas y se traduce en planes de acción	

Algunas lecciones aprendidas que se deberían documentar son:

- Sistema de purga o despresurización del aceite térmico.

- Estudio de estructural del lugar donde se va colocar el sistema térmico.
- Instalar el seguidor solar antes de realizar pruebas del sistema.
- Involucrar a todos los responsables del proyecto en su etapa inicial.
- Considerar sistema eléctrico y protecciones para los motores del sistema.

Recomendación de repuestos

A continuación, se detalla la lista de los repuestos recomendados, de acuerdo a la experiencia se clasifica en críticos y de consumo. Se considera repuesto crítico aquel que en su ausencia completamente el sistema deja de funcionar, en cambio los de consumo son los que se requiere tener por un tema de desgaste en el tiempo (Cambio de banda y relleno de aceite).

Tabla 22

Repuestos recomendados

Repuesto	Marca	código	Cantidad	Unidad	Tipo de repuesto
Transmisor de presión	Turck	PT010	1	un	Critico
Termocupla Tipo J	Pyromation	1/2" x 5 cm	1	un	Critico
Tubo Absorbedor	Siemens		1	un	Critico
Sensor fin de carrera	Camsco		1	un	Critico
Aceite térmico	Shell	Shell Tranfer Oil S2	5	gls	Consumo
PLC Micrologix 1400	Allen Bradley	1762	1	un	Critico
Banda	Genérica	A49	1	un	Consumo
Encoder	Genérica	120 pulsos	1	un	Critico

Desarrollo y seguimiento de un control de cambios

Uno de los aspectos importantes para el buen funcionamiento del sistema en cuanto al control y monitoreo son las auditorias y control de cambios en los software y aplicaciones. Para lo cual

se ha determinado un procedimiento y su formato respectivo, lo que nos permitirá el registro de los cambios generados ya sean por una acción correctiva o mejora.

Control de cambios en PLC y HMI

1. Se designará personas que están autorizadas a realizar cambios en los programas tanto para mejoras como para forzamientos por fallas.
2. Las mismas personas designadas será las autorizadas para realizar upload/download de los programas.
3. Todo personal eléctrico será capacitado para realizar conexión en línea con el PLC para monitoreo de procesos.
4. Los cambios en la programación serán registrados en un formato detallando rung original, rung modificado y el motivo del cambio.
5. El programa del HMI será modificado únicamente por el Ing. Propietario de la aplicación, ya que es basado en un desarrollo único.

REGISTRO DE CAMBIOS PLC SISTEMA SOLAR

FECHA: 07/12/2015

PROGRAMADOR: Luis Poaquiza

LIDER PROYECTO: José Guasumba

PLC: Sistema Térmico

MOTIVO: Inclusión de rung para arranque de la bomba del aceite térmico cuando el seguidor solar inicia su operación.

Creación de Tags.

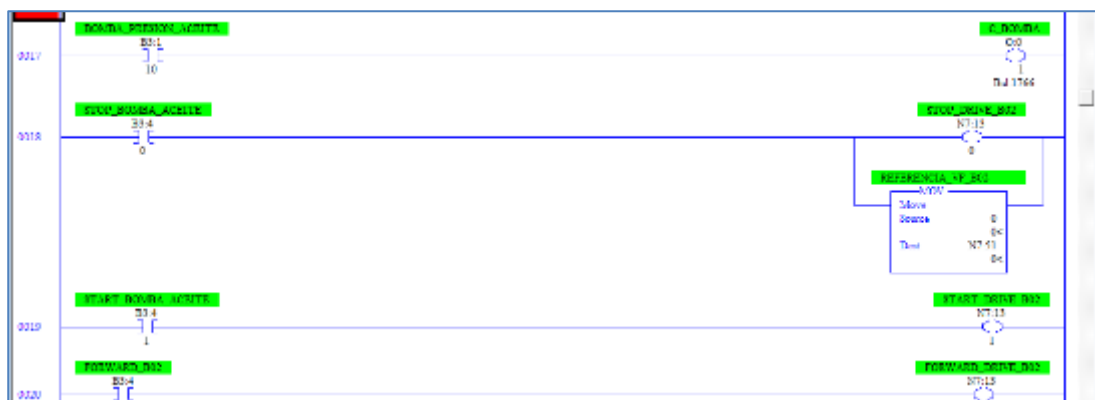
Tags: BOMBA_PRESION_ACEITE; STOP_BOMBA_ACEITE,
START_BOMBA_ACEITE; C_BOMBA; STOP_DRIVER_B02

Cambios rungs

A continuación se detalla el rung que se añade para el arranque y para de la bomba de aceite.

Figura 133

Rung control bomba de aceite sistema solar



6. Las personas autorizadas para realizar los Backups y bajo una orden de trabajo (OT) del plan de mantenimiento son las siguientes:
 1. Técnico electrónico en control
 2. Nombre del backup_fecha(ddmmaaaa)_Nombre(LP)
7. Los backups deben ser generados con la laptop y subidas al servidor de ser el caso.

Auditoría de software

1. Los softwares de aplicaciones de automatización serán auditados mensualmente bajo una OT en el plan de mantenimiento preventivo.
2. El encargado será el Ing. De confiabilidad y garantizará la integridad de las licencias, funcionamiento del software, así como eliminación de información que no corresponde.
2. La laptop será custodiada por los LGs, y ellos será los responsables de garantizar la correcta utilización del equipo.
3. Verificación mensual de dispositivos y equipos backups (repuestos): módulos de comunicación, PLCs, fuentes, sensores, variadores de frecuencia.
4. Tener actualizada la información de manuales y fichas técnicas de los dispositivos electrónicos del sistema solar térmico.

Mejora continua

En cuanto a mejora continua se debe considerar el ciclo simplificado de Deming: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar.

Los aspectos más relevantes de mejora continua son:

- Mantenibilidad (MTTR, MTBF, FMEAS, PMO y Planes de Mantenimiento).
- Gestión de la información (Reportes)
- Ajustes y Calibración.
- Mejoras es sistemas de concentración (tubos, fluido térmico, aislamiento térmico)
- Entrenamiento y capacitación.

Capítulo 5.

Ensayos del Sistema de Control y Monitoreo

Protocolo de pruebas

En esta sección se detalla el protocolo de pruebas del sistema general dividido en subsistemas (campo solar, seguidor solar y monitoreo y control). Determinaremos la funcionalidad y las características principales de operación.

Campo solar

Para proceder a la puesta en funcionamiento del sistema de concentración es conveniente aprobar o desaprobar el protocolo de pruebas, quiere decir que, si alguno de los puntos del protocolo de pruebas no está aprobado, no se podrá avanzar con la puesta en funcionamiento del sistema.

En el protocolo de pruebas deberán constar Datos del Proyecto como el nombre del cliente, nombre del instalador y nombre de la persona encargada de revisar el protocolo de pruebas.

A continuación, se detallará todo lo que se deba verificar, por secciones es decir componente del sistema, instalaciones eléctricas, prueba de rotación, prueba de hermeticidad y de cada una de estas detallar que subcomponentes se pueden verificar. Al frente de estas celdas se colocará si está aprobado o desaprobado y de ser necesario en observaciones se deberá poner las acciones a tomar, las tolerancias y los instrumentos. (Quintana & Yépez, 2015, p. 202)

Seguidor solar

Se efectuarán pruebas a los sistemas mecánicos, eléctricos y se ejecutan análisis de los equipos instalados. Esto le permite verificar la calidad de su instalación y verificar el funcionamiento de todo el sistema con la precisión requerida para el seguimiento solar. (Fabara, 2016, pp. 104-109).

Monitoreo y control

En todo sistema de control y monitoreo (SCADA) se debe realizar las pruebas respectivas, para el CCP_ESPE utilizaremos la metodología FAT (Factory Acceptance Test) y SAT (Site Acceptance Test). Respectivamente pruebas de aceptación de fábrica y pruebas de aceptación en campo.

Para las pruebas FAT y SAT se aplicarán las siguientes normas:

- **IEC/ PAS 62381** Actividades durante FAT, SAT y SIT para sistemas de automatización en la industria de procesos.
- **IEC 61499-1 /-2** *Bloques de función para sistemas y control de procesos industriales.*
- **IEC 61511** International standard for SB for the process control sector.
- **IEC 61508** Safety standards for safety instrumented systems.
- **IEEE** - Institute of Electrical and Electronic Engineers

El procedimiento de prueba FAT (pruebas de aceptación de fábrica): se toman como referencia de protocolos realizados en proyectos de automatización y control. (Azul, 2006, p. 2).

- Inventario de Hardware y Software
- Chequeo de equipos
- Chequeo de circuito conexión a tierra
- Chequeo de circuitos de alimentación

- Verificación de conexionado
- Test sin energía
- Inspección visual
- Test entradas analógicas
- Test entradas Termocupla
- Test entradas digitales
- Test salidas digitales
- Verificación funcionamiento del protocolo Modbus.
- Sistema de comunicación LAN/Wireless
- Test con energía
- Test de integración
- Certificado de protección térmica
- Software y Programación
- Test de Alarmas

El procedimiento de prueba SAT (pruebas de aceptación en campo): se toman como referencia de protocolos realizados en proyectos de automatización y control.

El procedimiento SAT "SITE ACCEPTANCE TEST" (pruebas de aceptación en campo) del SCADA; Incluye hardware de señal de entrada y salida, control, interfaz hombre-máquina, red, comunicación, software y base de datos, es un documento que implica al proveedor a realizar pruebas en campo certificando la funcionalidad después de la entrega e instalación del sistema. (Petroextract, 2008, p. 2).

- Aprobación del FAT
- Chequeo de inventario de hardware y software

- Inspección mecánica
- Arranque del sistema y diagnóstico.
- Carga de software

Análisis del funcionamiento del sistema térmico

El sistema completo tiene que encenderse para que se inicie el monitoreo y la adquisición de datos. El control tanto de seguidor solar y de las bombas serán ejecutadas de acuerdo al estado de la operación en tiempo real.

Funcionamiento del seguidor solar

Arranque.- El estado de arranque del sistema corresponde al encendido en el panel de control. Esto se debe a que anteriormente no fue alimentado por algún motivo o por la activación de su función de protección. En este caso, se describen los pasos que se realizan para el encendido.

- Para encender el sistema, verifique el estado del disyuntor principal en el estado encendido, luego aplique energía a la placa a través del interruptor de encendido en la parte frontal de la placa.
- Se comprueba que las luces de las tres fases de la fuente de alimentación estén encendidas.
- Ejecutar con la luz del PLC encendida y observar que se enciende el PLC.
- El controlador se enciende y se confirma que muestra una frecuencia de 0,0 Hz.
- Después de esperar 1 minuto, se observa que el conductor cambia la velocidad a 60 Hz y entra en modo de recuperación.

- Un CCP que ha perdido su posición horaria por estar apagado inicia el proceso de recuperación. Así, si el sistema se encuentra entre el sensor de HOME (12:00) y el sensor de mañana, el proceso de despertar comenzará después de la hora hasta que un sensor llega por la mañana e informa a SPS que el CCP está antes de las 12:00. Luego, el proceso de progreso comienza hasta que se detecta el sensor HOME y el reloj del sistema se restablece a las 12:00, desde donde el CCP vuelve a las 9:00. La ubicación en la que hay que esperar a que el TSV alcance este número e inicie el sistema al proceso de seguimiento solar. Mientras tanto, el controlador establece la salida en 0,0 Hz. Se ha verificado que este proceso funciona correctamente.

- Cuando el CCP este entre el medio del sensor PM y el HOME, su procedimiento de regreso llegará a HOME reiniciando el tiempo del sistema a las 12:00, desde este dato el CCP regresa a la posición de las 9:00 y entra en TSV. Ingresar este valor hace que el sistema comience el proceso de seguimiento solar, durante el cual el controlador establece la salida en 0,0 Hz. Se ha verificado que este proceso funciona correctamente.
(Fabara, 2016, p. 106)

Funcionamiento normal. - Después de que el sistema se posiciona a las 9:00, el sistema espera a que TSV alcance también la posición de las 9:00. Como los dos tiempos son iguales, el sistema se despierta y aumenta su velocidad a 36Hz. Esta es la velocidad ajustada para seguimiento y solar. Este proceso llega a las 16:00 horas, donde el sistema se detiene y espera un minuto antes de iniciar el proceso de devolución. A través de HOME, reinicie el valor de posición del codificador y use el programa de PLC para posicionar a las 9:00 y esperar el nuevo día. Este proceso es validado en sus instalaciones. (Fabara, 2016, p. 107).

Falla del sistema. - Esta condición se ha observado y puede ser producida por varias causas, pero puede ser producida por dos circunstancias principales: funcionamiento erróneo o diferencia de 2 horas entre TSV y la hora del sistema.

La operación errónea ocurre dentro de la operación coherente y continua, como cuando el sistema está en su proceso de monitoreo normal y el sensor se enciende por la mañana, o ambos sensores se encienden al mismo tiempo y el sistema detecta un error. Deberse a una condición inesperada que ocurrió. , el sistema se reiniciará y entrará en el proceso de arranque.

Otra situación observada fue que al PCCh no se le permitió moverse dentro del proceso de monitoreo. Si la diferencia horaria entre el CCP y la hora del sistema era de 2 horas, se interpretaba como un error y se reiniciaba el sistema y se iniciaba el proceso.}

En el proceso de seguimiento o devolución, si el sistema está caído por más de 8 horas, indicando que no se alcanza ninguno de los sensores, esto también se interpreta como una falla y se produce una interrupción del sistema hasta que se produce un error. Condiciones de error corregidas y verificadas. (Fabara, 2016, p. 107).

Control y monitoreo proceso

Arranque. - Al encender el switch principal el PLC realiza el scan respectivo y se enciende los led de status tanto del PLC como de los módulos analógicos y termocuplas.

Se inicia con la ejecución de las subrutinas y como se indica en índice anterior el seguidor solar se posiciona e inicia su recorrido según la secuencia que da el controlador. Simultáneamente inicia el control de la bomba de aceite (se enciende para poder transferir la energía calorífica desde el concentrado hacia el aceite térmico).

El software de monitoreo se encuentra instalado en una PC, la cual debemos encender y ejecutar el programa Soft_CCP_v1, una vez ejecutado se podrá visualizar inmediatamente los valores de temperatura, presión y estatus de posición del seguidor solar. La red LAN es configurada de forma inalámbrica a través de un router que se enciende en conjunto con el PLC y permite que se comuniquen la aplicación Soft_CCP_v1 con el PLC.

Funcionamiento normal. - Una vez que se encuentra comunicando el PLC y el software soft_CCP_v1, se visualizará todos los parámetros en tiempo real y cada 5 min se almacenará en una base de datos para su posterior análisis.

La bomba de aceite se encontrará encendida durante todo el recorrido del seguidor solar y únicamente si existe una falla en el sistema se apagará.

Falla del sistema de control y monitoreo. - Las principales fallas se da cuando los sensores de presión y temperatura se deterioran (se abren los circuitos). Una vez que se muestra la falla en la pantalla de monitoreo se deberá cambiar el instrumento de medición. A continuación, se detalla las alarmas.

- Falla de sensor de presión entrada del campo solar
- Falla de sensor de presión salida del campo solar
- Temperatura elevada en concentración.
- Falla en arranque de la bomba de aceite.
- Falla de energización.
- Falla de comunicación entre plc y hmi.

- Falla del PLC (Baja batería, falla grave)
- Falla en módulo analógico
- Falla en módulo de termocuplas.

Transferencia de datos, procesamiento y almacenamiento de parámetros.

La transferencia de datos se da en diferentes niveles de la arquitectura SCADA, los mismos se detallan en esta sección.

Trasmisores de presión. El valor de 4-20 mA (0 a 145 psi) son llevados a un módulo analógico con la ayuda el PLC, le escalona y digitaliza para obtener en datos en unidades de ingeniería.

Termocuplas. El valor de voltaje de mV son llevados a un módulo exclusivo para este tipo de sensores (Se configura para tipo J), y con la ayuda el PLC se digitaliza para llevar a unidades de ingeniería.

Variador de frecuencia. Para el control y monitoreo del variador se realiza mediante el protocolo de red industrial Modbus RTU. EL PLC es configurado como master y el variador como esclavo. El PLC a través del este protocolo envía comandos de control para que actúe el motor del seguidor solar, así también se envía comando de lectura para tener el status del variador en el PLC.

Señales digitales de entrada y salida. Todas las señales de contactos de sensores o finales de carrera ingresan al PLC directamente para ser procesadas. Así como también las activaciones de las salidas son a relés internos y son ejecutadas por el PLC.

Controlador lógico programable (PLC). Este dispositivo tiene la capacidad de procesar todas las señales analógicas y digitales que estén conectadas. También el Micrologix 1400 tiene capacidades para comunicación con redes de campo (Modbus) y administrativas (LAN).

El PLC es programado para ejecutar secuencias de monitoreo y control, el cual llega a ser el cerebro del CCP_ESPE.

Rslinx gateway. Este software permite generar un alias para leer y escribir los datos en el PLC desde una aplicación externa. El Soft_CCP_v1 a través del protocolo DDE (Dynamic Data Exchange) accede al Rslinx para gestionar la lectura y escritura de datos hacia o desde el PLC.

Soft_CCP_v1. Es una aplicación exclusiva para el proyecto CCP_ESPE, el desarrollo se basa en la plataforma visual basic 6.0. Este software se comunica con el PLC a través del protocolo DDE hacia el Rslinx, y el medio de comunicación es por el protocolo TCP/IP (Red Lan configurada).

Una vez obtenido los datos en las variables internas, visualiza en el HMI y cada 5 minutos se ejecuta las sentencias para enviar almacenar los datos en Microsoft Access.

Desde la aplicación Soft_CCP_v1 se puede realizar consultas de datos de Microsoft Access y también el envío de esta información a Excel para su gestión y análisis estadístico.

Visualización de resultados a través del HMI

Los parámetros del sistema y los comandos de operación se pueden visualizar y controlar desde el HMI llamado Soft_CCP v1.0 desarrollado bajo la plataforma Visual Basic 6.0. Exclusivo para este sistema solar, pero flexible para extender a sistemas más complejos.

Figura 134

Pantalla Principal del sistema de monitoreo de Parámetros

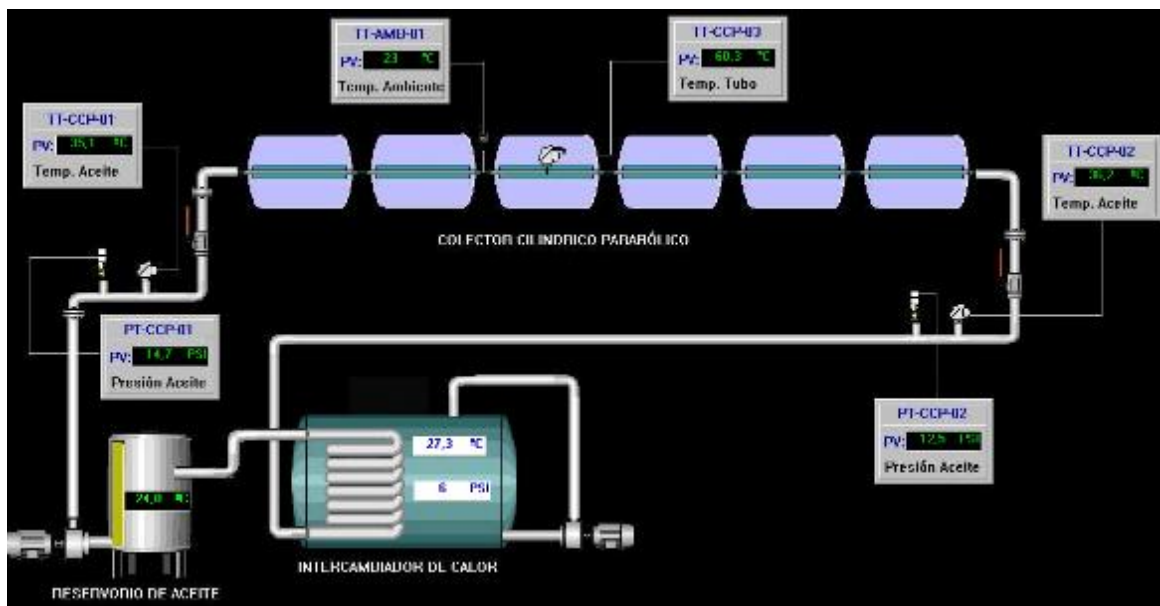


Figura 135

Pantalla principal del seguidor solar



Nota: (Fabara, 2016, p. 99)

Figura 136

Parámetros de temperatura y presión del ingreso del campo solar

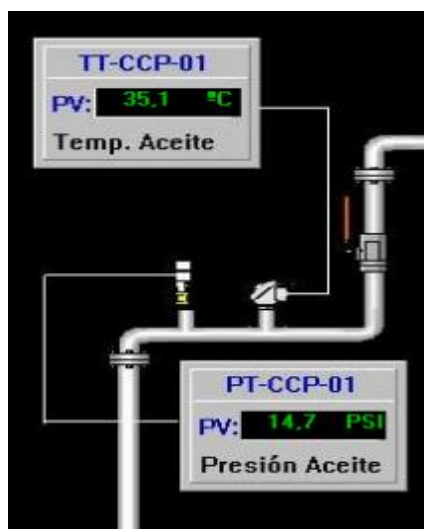


Tabla 23*Variables de proceso monitoreados*

Nº	NOMBRE	REFERENCIA
1	Presión de entrada fluido térmico del campo solar	"[Data]F8:10"
2	Presión de salida fluido térmico del campo solar	"[Data]F8:11"
3	Presión de recirculación del agua	"[Data]F8:12"
4	Temperatura de aceite entrada del campo solar	"[Data]F8:20"
5	Temperatura de aceite salida del campo solar	"[Data]F8:21"
6	Temperatura de aceite en el deposito	"[Data]F8:22"
7	Temperatura agua intercambiador de calor	"[Data]F8:23"
8	Temperatura Tubo absorbedor	"[Data]F8:24"
9	Temperatura ambiente	"[Data]F8:25"

Tabla 24*Variables utilizadas en el soft_CCP_v1z c y referenciadas a las variables del PLC*

Nombre	Referencia	Nombre	Referencia
ADELANTO	"[Data]B3:0.9"	POS_INI_READY	"[Data]F8:0.2"
ADELANTO_SEG	"[Data]F8:1"	PROCESO	"[Data]B3:0.7"
AJUSTE_SEG	"[Data]F8:3"	REFERENCIA_VF	"[Data]N7:1"
CONTADOR_DE_FAMILIA	"[Data]N9:0"	RESET_HMI	"[Data]B3:0.4"
DriveActivo	"[Data]B3:1.1"	RETORNO	"[Data]B3:0.8"
EMERGENCIA_HMI	"[Data]B3:0.12"	RETORNO_HOME	"[Data]B3:0.6"
ESTADO_DRIVE	"[Data]N7:7"	RETRASO	"[Data]B3:0.10"
ESTADO_FALLA	"[Data]N9:0"	RESTRASO_SEG	"[Data]F8:4"
ESTADO_PROG	"[Data]N9:1"	RESERVE	"[Data]B3:1.12"
FALLA-SIST	"[Data]B3:3.15"	SEGUNDOS_SISTEMA	"[Data]N7:21"
FORWARD	"[Data]B3:1.13"	SEGUNDOS_TSV	"[Data]T4:0.ACC"
GRADOS	"[Data]N7:22"	SPEED_FEEDBACK	"[Data]F8:0"
HOMED	"[Data]B3:0.0"	Sensor_12pm	"[Data]B3:2.1"
HOMING	"[Data]B3:0.5"	Sensor_5pm	"[Data]B3:2.2"
HORA_SISTEMA	"[Data]N7:19"	Sensor_9am	"[Data]B3:2.0"
HORA_TSV	"[Data]C5:1.ACC"	TIEMPO_SISTEMA	"[Data]F8:6"
MINUTOS_SISTEMA	"[Data]N7:20"	TIEMPO-SOLAR	"[Data]F8:8"
MINUTOS_TSV	"[Data]C5:0.ACC"	VEL_HOME_HZ	"[Data]N7:2"
MOV_HMI	"[Data]B3:0.15"	VEL_PROG_HZ	"[Data]N7:3"
PARO_HMI	"[Data]B3:0.14"	VEL_RET_HZ	"[Data]N7:4"
POS_ESCONDER	"[Data]F8:2"	start	"[Data]B3:1.15"

Nota: (Fabara, 2016, p. 100)

En cuanto al seguidor solar, los datos capturados se almacenan en SQL Server para crear una base y estos valores recopilados por Intouch se procesan y envían a la base de datos que se muestra en la figura 137 (Fabara, 2016, pp. 110-120).

Tabla 25

Valores de presión y temperatura del sistema para el 17 de septiembre del 2016

Id	Fecha	Hora	presion_oil_input	presion_oil_output	presion_recir_water	Temp_oil_input	Temp_oil_output	temp_oil_tank	temp_water_exchan	temp_tube_absorver	temp_ambiente
2	17/09/2016	9:00:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	17/09/2016	9:05:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	17/09/2016	9:10:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	17/09/2016	9:15:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	17/09/2016	9:20:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	17/09/2016	9:25:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	17/09/2016	9:30:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	17/09/2016	9:35:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	17/09/2016	9:40:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	17/09/2016	9:45:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	17/09/2016	9:50:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	17/09/2016	9:55:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	17/09/2016	10:00:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	17/09/2016	10:05:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	17/09/2016	10:10:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	17/09/2016	10:15:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	17/09/2016	10:20:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	17/09/2016	10:25:01	0.3	0.2	0.1	25.5	24.6	29.0	22.6	27.4	28.1
20	17/09/2016	10:30:00	0.3	0.2	0.1	24.9	24.1	28.4	26.3	27.2	27.6
21	17/09/2016	10:35:00	0.3	0.2	0.1	23.7	24.0	28.0	23.5	27.6	27.1
22	17/09/2016	10:40:00	0.3	0.2	0.1	24.4	24.0	27.8	24.6	27.2	27.4
23	17/09/2016	10:45:00	0.3	0.2	0.1	25.1	24.0	27.7	23.6	26.9	26.7
24	17/09/2016	10:50:00	0.3	0.2	0.1	24.6	24.0	27.4	25.7	26.0	26.5
25	17/09/2016	10:55:00	0.3	0.2	0.1	23.3	23.8	28.8	24.4	26.3	26.4
26	17/09/2016	11:00:00	0.3	0.2	0.1	24.9	23.9	28.6	25.1	27.1	26.4
27	17/09/2016	11:05:00	0.3	0.2	0.1	24.3	24.1	27.9	25.4	26.2	27.3
28	17/09/2016	11:10:00	0.3	0.2	0.1	24.0	24.0	27.6	26.2	27.7	26.7
29	17/09/2016	11:15:00	0.3	0.2	0.1	24.2	24.4	28.4	25.7	28.5	27.2
30	17/09/2016	11:20:00	0.3	0.2	0.1	24.9	24.4	27.8	25.0	30.3	27.1
31	17/09/2016	11:25:00	0.3	0.2	0.1	25.6	24.6	27.9	24.6	31.4	26.4
32	17/09/2016	11:30:00	0.3	0.2	0.1	25.6	25.0	27.9	25.3	31.0	26.6
33	17/09/2016	11:35:00	0.3	0.2	0.1	25.3	24.8	27.7	27.0	34.2	27.3
34	17/09/2016	11:40:00	0.3	0.2	0.1	25.4	25.0	26.3	27.9	35.4	27.2
35	17/09/2016	11:45:00	0.4	0.2	0.1	25.4	24.6	25.9	27.4	36.4	27.8
36	17/09/2016	11:50:00	0.4	0.2	0.1	27.2	24.8	25.8	27.9	38.2	26.2
37	17/09/2016	11:55:00	0.4	0.2	0.1	27.0	25.2	25.7	28.9	40.1	25.7
38	17/09/2016	12:00:00	0.4	0.3	0.1	28.0	25.6	26.3	28.9	42.4	25.8
39	17/09/2016	12:05:00	0.4	0.3	0.1	26.6	25.2	25.1	30.5	46.1	26.4
40	17/09/2016	12:10:00	0.4	0.3	0.1	26.2	25.1	25.1	29.0	47.7	24.6
41	17/09/2016	12:15:00	0.4	0.3	0.1	26.0	25.0	24.5	28.7	48.9	24.9
42	17/09/2016	12:20:00	0.4	0.3	0.1	25.0	24.9	24.7	30.2	49.7	26.1
43	17/09/2016	12:25:00	0.4	0.3	0.1	25.7	24.7	24.8	29.6	50.0	25.3
44	17/09/2016	12:30:00	0.4	0.3	0.1	26.4	25.0	24.3	29.0	51.1	23.6
45	17/09/2016	12:35:00	0.4	0.3	0.1	26.4	25.2	24.6	28.9	51.5	24.3
46	17/09/2016	12:40:00	0.4	0.2	0.1	27.4	24.9	25.3	29.9	50.2	23.8
47	17/09/2016	12:45:00	0.4	0.2	0.1	26.7	25.0	25.4	30.2	47.9	25.3
48	17/09/2016	12:50:00	0.3	0.2	0.1	26.3	25.1	26.3	29.7	45.1	25.5
49	17/09/2016	12:55:00	0.3	0.2	0.1	26.3	25.3	26.5	29.2	42.2	26.8

Los datos serán exportados a Excel para su respectivo análisis estadístico desde la opción reportes del Soft_ccp v1. El almacenamiento de datos se lo realizó por 3 días, en un horario de 9:00 am hasta las 16:00 aproximadamente. En la tabla 26 se muestran los datos obtenidos.

El 17 de septiembre del 2016 se inicia con las pruebas después de la instalación de la instrumentación como se puede observar en la tabla 26. A partir de las 10:25:00 am se almacena ya los datos del sistema en reposo hasta las 12:55:00. Para obtener datos de la temperatura del tubo absorbedor se orientó manualmente el cilindro-parabólico para obtener la temperatura más alta posible. A continuación, se detalla cada una de las columnas que se encuentran con datos.

Cada columna de la tabla representa:

Columna 1: Numeral del dato obtenido

Columna 2: Fecha del dato obtenido

Columna 3: Hora del dato obtenido

Columna 4: Presión de ingreso del aceite térmico del campo solar representado en PSI.

Columna 5: Presión de salida del aceite térmico del campo solar representado en PSI.

Columna 6: Presión de recirculación del agua del caldero.

Columna 7: Temperatura del aceite de ingreso al campo solar.

Columna 8: Temperatura del aceite de salida del campo solar.

Columna 9: Temperatura del tanque receptor de aceite térmico.

Columna 10: Temperatura del agua del caldero.

Columna 11: Temperatura del tubo absorbedor.

Columna 12: Temperatura ambiente (cercano al CCP).

Tabla 26

Valores de Presión y Temperatura del sistema para el 19 de septiembre del 2016

Id	Fecha	Hora	presion_oil_input	presion_oil_output	presion_recir_water	Temp_oil_input	Temp_oil_output	temp_oil_tank	temp_water_exchange	temp_tube_absorber	temp_ambiente
51	19/09/2016	09:00:00	8,0	1,0	0,1	22,5	23,4	23,1	22,7	26,4	20,2
52	19/09/2016	09:05:00	7,8	1,2	0,1	22,6	23,1	22,8	24,5	26,1	20,5
53	19/09/2016	09:10:00	8,1	1,1	0,1	22,5	22,2	21,7	25,7	25,9	20,5
54	19/09/2016	09:15:00	7,9	1,3	0,1	22,4	21,2	20,9	26,5	26,3	21,7
55	19/09/2016	09:20:00	8,2	1,4	0,1	22,5	20,6	20,3	25,9	26,0	20,5
56	19/09/2016	09:25:00	8,8	1,2	0,1	22,5	20,9	20,4	27,6	26,1	20,5
57	19/09/2016	09:30:00	8,6	1,2	0,1	22,6	21,3	20,9	26,9	25,5	22,3
58	19/09/2016	09:35:00	8,5	1,2	0,1	22,5	21,6	21,3	27,4	25,3	23,1
59	19/09/2016	09:40:00	8,1	1,1	0,1	22,5	22,0	21,5	28,9	26,5	24,3
60	19/09/2016	09:45:00	8,0	1,2	0,1	22,7	22,2	21,9	30,5	27,8	24,3
61	19/09/2016	09:50:00	8,2	1,2	0,1	23,0	23,5	23,0	29,0	30,2	25,2
62	19/09/2016	09:55:00	8,1	1,2	0,1	23,1	24,6	23,8	28,7	34,2	26,1
63	19/09/2016	10:00:00	8,5	1,2	0,1	23,5	26,9	25,4	30,2	36,3	25,3
64	19/09/2016	10:05:00	8,8	1,2	0,1	24,3	27,1	26,7	29,6	37,7	25,2
65	19/09/2016	10:10:00	9,1	1,2	0,1	25,4	27,4	27,1	29,0	38,4	25,7
66	19/09/2016	10:15:00	8,1	1,1	0,1	26,3	28,2	27,6	28,9	39,6	25,3
67	19/09/2016	10:20:00	8,7	1,2	0,1	27,6	30,3	29,5	29,9	40,2	27,4
68	19/09/2016	10:25:01	8,8	1,2	0,1	29,0	31,2	30,7	30,2	40,8	26,7
69	19/09/2016	10:30:00	9,0	1,3	0,1	30,0	32,1	31,4	29,7	41,2	26,5
70	19/09/2016	10:35:00	8,6	1,3	0,1	30,4	33,2	32,7	29,2	41,5	26,4
71	19/09/2016	10:40:00	8,0	1,2	0,1	31,7	33,6	33,0	24,6	42,1	26,4
72	19/09/2016	10:45:00	7,9	1,3	0,1	32,0	33,8	33,4	23,6	44,5	27,4
73	19/09/2016	10:50:00	7,8	1,2	0,1	32,7	34,7	34,3	25,7	44,7	28,6
74	19/09/2016	10:55:00	7,9	1,2	0,1	34,2	35,8	35,1	24,4	43,8	26,4
75	19/09/2016	11:00:00	8,1	1,2	0,1	34,9	36,7	36,0	25,1	44,8	26,4

Id	Fecha	Hora	presion_o il_input	presion_oil_o utput	presion_re cir_water	Temp_ oil_input	Temp_ oil_output	temp_oil_t ank	temp_wate r_exchange	temp_tube _absorber	temp_ ambien te
76	19/09/2016	11:05:00	9,3	1,2	0,1	35,2	36,8	36,3	25,4	45,1	27,3
77	19/09/2016	11:10:00	7,9	1,2	0,1	35,8	37,0	36,5	26,2	46,0	26,7
78	19/09/2016	11:15:00	8,9	1,2	0,1	36,4	37,3	37,0	25,7	46,6	27,2
79	19/09/2016	11:20:00	8,8	1,3	0,1	36,7	37,6	37,2	25,0	45,1	27,1
80	19/09/2016	11:25:00	8,1	1,2	0,1	37,0	37,8	37,2	24,6	44,3	28,1
81	19/09/2016	11:30:00	9,2	1,2	0,1	37,7	38,1	37,7	25,3	42,7	28,3
82	19/09/2016	11:35:00	7,9	1,2	0,1	38,0	38,2	38,0	27,0	41,5	27,3
83	19/09/2016	11:40:00	7,9	1,2	0,1	37,3	37,0	37,6	27,9	39,9	27,2
84	19/09/2016	11:45:00	8,1	1,2	0,1	35,6	36,5	36,1	27,4	37,2	27,8
85	19/09/2016	11:50:00	8,1	1,1	0,1	35,2	36,3	35,6	27,9	35,1	26,2
86	19/09/2016	11:55:00	8,5	1,2	0,1	35,0	35,8	35,4	28,9	33,7	24,7
87	19/09/2016	12:00:00	8,6	1,1	0,1	35,1	35,1	34,6	28,9	31,4	25,0
88	19/09/2016	12:05:00	7,9	1,1	0,1	35,0	34,5	34,1	30,5	30,3	24,0
89	19/09/2016	12:10:00	8,0	1,1	0,1	34,0	33,9	33,5	29,0	31,4	24,9
90	19/09/2016	12:15:00	8,1	1,1	0,1	33,5	33,3	32,8	28,9	31,3	24,9
91	19/09/2016	12:20:00	8,6	1,1	0,1	31,3	32,1	31,6	29,9	31,0	26,1
92	19/09/2016	12:25:00	9,2	1,1	0,1	31,0	31,7	31,0	30,2	32,5	24,9
93	19/09/2016	12:30:00	8,7	1,1	0,1	29,5	30,5	30,1	29,7	34,2	23,6
94	19/09/2016	12:35:00	8,1	1,1	0,1	29,0	30,3	29,0	29,2	28,6	24,3
95	19/09/2016	12:40:00	8,5	1,1	0,1	28,8	29,1	29,0	29,9	25,4	23,8
96	19/09/2016	12:45:00	8,5	1,1	0,1	28,0	28,7	28,1	30,2	26,4	25,3
97	19/09/2016	12:50:00	8,6	1,1	0,1	27,5	28,5	28,0	29,7	36,4	24,3
98	19/09/2016	12:55:00	9,2	1,1	0,1	27,7	28,8	28,3	29,2	37,3	24,5
99	19/09/2016	13:00:00	8,1	1,1	0,1	29,1	30,2	29,7	30,1	38,2	25,4
100	19/09/2016	13:05:00	9,3	1,2	0,1	30,7	33,4	32,0	30,2	39,5	25,3

Id	Fecha	Hora	presion_oil_input	presion_oil_output	presion_recirculacion_water	Temp_oil_input	Temp_oil_output	temp_oil_tank	temp_water_exchange	temp_tube_absorber	temp_ambiente
101	19/09/2016	13:10:00	9,3	1,2	0,1	31,4	34,2	33,5	29,7	40,1	26,3
102	19/09/2016	13:15:00	8,9	1,2	0,1	31,8	34,9	34,3	29,7	41,2	27,2
103	19/09/2016	13:20:00	9,3	1,2	0,1	33,4	35,2	34,8	30,3	42,4	27,9
104	19/09/2016	13:25:00	8,1	1,2	0,1	34,3	37,1	36,4	31,8	44,9	28,1
105	19/09/2016	13:30:00	8,8	1,2	0,1	36,3	38,9	37,7	32,1	46,1	28,0
106	19/09/2016	13:35:00	7,9	1,2	0,1	38,9	40,2	39,1	33,3	46,3	27,7
107	19/09/2016	13:40:00	8,8	1,3	0,1	39,4	42,5	41,8	33,9	47,7	28,2
108	19/09/2016	13:45:00	9,0	1,2	0,1	41,7	43,6	43,0	34,7	48,1	28,3
109	19/09/2016	13:50:00	8,6	1,3	0,1	42,1	44,2	43,5	35,4	48,9	28,4
110	19/09/2016	13:55:00	8,1	1,3	0,1	43,3	45,5	44,3	35,9	49,5	29,1
111	19/09/2016	14:00:00	8,1	1,2	0,1	45,0	45,9	45,2	36,3	49,7	29,0
112	19/09/2016	14:05:00	8,8	1,2	0,1	45,6	46,3	46,0	37,1	51,2	29,4
113	19/09/2016	14:10:00	9,1	1,2	0,1	45,8	46,9	46,5	38,7	50,0	30,0
114	19/09/2016	14:15:00	9,2	1,3	0,1	46,2	47,2	46,7	38,4	50,6	31,2
115	19/09/2016	14:20:00	8,1	1,3	0,1	46,3	47,3	46,9	38,9	51,1	31,3
116	19/09/2016	14:25:00	8,0	1,2	0,1	46,3	47,1	47,0	39,1	51,0	31,0
117	19/09/2016	14:30:00	7,9	1,3	0,1	46,0	46,8	47,1	40,0	51,5	31,2
118	19/09/2016	14:35:00	8,0	1,3	0,1	46,5	47,4	46,8	40,4	51,1	30,8
119	19/09/2016	14:40:00	8,8	1,2	0,1	47,3	48,0	47,3	39,9	50,2	30,5
120	19/09/2016	14:45:00	8,6	1,2	0,1	47,2	48,3	47,4	38,2	48,9	29,8
121	19/09/2016	14:50:00	8,5	1,2	0,1	47,6	48,2	47,0	38,1	47,9	29,6
122	19/09/2016	14:55:00	8,8	1,2	0,1	47,2	47,7	47,5	37,5	46,7	28,4
123	19/09/2016	15:00:00	8,1	1,2	0,1	46,8	46,3	46,0	37,4	45,1	27,1
124	19/09/2016	15:05:00	8,5	1,2	0,1	45,0	45,5	45,0	37,1	44,0	26,2
125	19/09/2016	15:10:00	8,6	1,2	0,1	44,3	44,2	43,6	36,7	42,2	25,8
126	19/09/2016	15:15:00	9,0	1,2	0,1	42,0	42,9	43,3	36,5	41,8	25,2
127	19/09/2016	15:20:00	8,8	1,2	0,1	41,0	40,8	40,2	36,1	41,1	24,6
128	19/09/2016	15:25:00	7,9	1,1	0,1	39,5	40,1	39,6	36,0	40,9	25,0
129	19/09/2016	15:30:00	8,0	1,1	0,1	39,1	39,7	39,1	35,8	41,5	24,5
130	19/09/2016	15:35:00	8,1	1,2	0,1	38,2	39,6	39,0	35,6	41,3	23,3
131	19/09/2016	15:40:00	8,1	1,1	0,1	38,2	39,4	39,1	35,1	41,4	22,1
132	19/09/2016	15:45:00	8,0	1,1	0,1	38,0	39,0	38,2	35,0	40,7	22,2
133	19/09/2016	15:50:00	7,9	1,1	0,1	37,7	38,1	38,0	34,9	39,8	21,4
134	19/09/2016	15:55:00	8,8	1,1	0,1	35,6	37,7	37,9	34,6	39,6	20,1
135	19/09/2016	16:00:00	8,1	1,1	0,1	35,5	37,3	37,4	34,0	39,2	20,0

En la tabla 27. Se observa los datos almacenados del día 19 de septiembre del 2016 desde las 9:00 am hasta las 16:00 con un intervalo de 5 min que fue la configuración inicial para determinar la frecuencia de almacenamiento, y se determinó que no cambia más de 1 °C en 5 min por lo tanto cada 10 min no altera el muestreo para el análisis estadístico. Sin embargo, para estudios más a detalle se puede configurar con tiempos de muestreos hasta de 1 min. Además, estos datos corresponden al funcionamiento de sistema solar con el seguidor solar.

Tabla 27

Valores de presión y temperatura del sistema para el 20 de septiembre 2016

Id	Fecha	Hora	presion_oil_input	presion_oil_output	presion_re_circ_waterr	Temp_oil_input	Temp_oil_output	temp_oil_tank	temp_water_exchanger	temp_tube_absorber	temp_ambiente
155	20/09/2016	9:00:00	7.8	1.1	0.1	29.3	30.1	29.0	32.7	65.0	30.2
156	20/09/2016	9:10:00	8.1	1.1	0.1	35.1	34.7	35.0	35.7	59.3	30.7
157	20/09/2016	9:20:00	7.9	1.2	0.1	38.4	35.5	38.1	35.9	51.5	30.3
158	20/09/2016	9:30:00	7.7	1.2	0.1	42.1	38.4	42.0	36.9	52.9	31.0
159	20/09/2016	9:40:00	7.7	1.1	0.1	45.8	45.2	45.0	35.9	55.7	31.5
160	20/09/2016	9:50:00	7.6	1.4	0.1	46.2	46.9	46.5	35.9	56.5	31.6
161	20/09/2016	10:00:00	8.0	1.4	0.1	46.8	46.9	46.7	36.3	68.1	34.2
162	20/09/2016	10:10:00	8.1	1.5	0.1	47.2	47.5	46.5	36.8	69.1	33.6
163	20/09/2016	10:20:00	8.2	1.3	0.1	47.8	47.9	46.7	38.1	70.3	33.4
164	20/09/2016	10:30:00	7.9	1.3	0.1	48.6	48.4	48.0	39.5	71.6	33.1
165	20/09/2016	10:40:00	8.0	1.2	0.1	48.3	49.0	48.0	40.7	71.2	32.9
166	20/09/2016	10:50:00	7.8	1.2	0.1	50.2	50.5	50.2	40.6	72.2	34.6
167	20/09/2016	11:00:00	8.1	1.3	0.1	50.1	49.8	50.0	41.1	70.9	33.8
168	20/09/2016	11:10:00	7.9	1.2	0.1	49.1	49.3	49.2	40.7	60.9	30.3
169	20/09/2016	11:20:00	7.8	1.3	0.1	48.2	48.3	49.1	39.6	51.8	30.1
170	20/09/2016	11:30:00	7.7	1.2	0.1	47.2	46.3	48.9	38.8	46.6	29.4
171	20/09/2016	11:40:00	7.9	1.2	0.1	44.0	46.2	44.0	36.4	48.3	29.1
172	20/09/2016	11:50:00	8.1	1.1	0.1	42.1	43.8	43.1	36.0	47.8	28.7
173	20/09/2016	12:00:00	8.1	1.1	0.1	40.0	40.7	40.6	35.6	48.3	28.5
174	20/09/2016	12:10:00	8.0	1.1	0.1	41.1	41.1	41.4	35.4	49.0	28.0
175	20/09/2016	12:20:00	8.2	1.3	0.1	42.4	41.9	41.3	35.0	49.7	28.4
176	20/09/2016	12:30:00	8.4	1.3	0.1	43.0	42.5	42.7	36.1	47.3	28.0
177	20/09/2016	12:40:00	8.2	1.4	0.1	44.3	44.0	43.5	36.3	46.4	24.4
178	20/09/2016	12:50:00	8.4	1.5	0.1	44.9	45.1	44.4	36.1	49.0	25.4
179	20/09/2016	13:00:00	7.8	1.5	0.1	45.8	46.9	46.5	36.3	52.5	27.3
180	20/09/2016	13:10:00	8.2	1.3	0.1	46.2	47.2	46.7	37.0	53.4	31.1
181	20/09/2016	13:20:00	7.7	1.1	0.1	46.3	47.2	46.1	37.1	54.2	27.8
182	20/09/2016	13:30:00	7.7	1.3	0.1	46.8	47.0	46.4	37.4	55.3	28.7
183	20/09/2016	13:40:00	8.1	1.4	0.1	47.0	48.2	47.0	37.6	57.3	28.4
184	20/09/2016	13:50:00	7.7	1.4	0.1	48.0	48.0	47.6	37.5	58.1	29.0
185	20/09/2016	14:00:00	7.1	1.2	0.1	47.8	47.6	47.3	38.3	59.9	28.0
186	20/09/2016	14:10:00	7.4	1.3	0.1	48.4	48.1	48.0	38.7	60.0	29.5
187	20/09/2016	14:20:00	7.6	1.2	0.1	48.1	46.3	48.1	39.0	53.2	30.0
188	20/09/2016	14:30:00	7.2	1.2	0.1	47.8	45.8	46.2	38.6	56.2	30.1
189	20/09/2016	14:40:00	7.2	1.2	0.1	48.0	48.6	48.3	38.1	57.9	30.9
190	20/09/2016	14:50:00	7.2	1.3	0.1	47.9	48.5	48.1	37.5	60.5	33.4
191	20/09/2016	15:00:00	7.6	1.4	0.1	47.5	47.9	48.0	38.3	59.7	32.2
192	20/09/2016	15:10:00	7.7	1.4	0.1	48.7	49.0	47.2	39.0	61.4	32.1
193	20/09/2016	15:20:00	7.5	1.5	0.1	48.3	49.1	47.9	38.9	61.3	32.2
194	20/09/2016	15:30:00	7.3	1.2	0.1	48.2	48.7	47.7	38.6	62.9	33.5
195	20/09/2016	15:40:00	7.3	1.2	0.1	48.0	47.9	48.0	38.2	63.9	32.1
196	20/09/2016	15:50:00	7.3	1.2	0.1	47.9	48.3	48.1	38.4	62.7	32.7

En la tabla 28. Se observa los datos almacenados del día 20 de septiembre del 2016 por 6,5 horas desde las 9:00 am hasta las 15:30 con un intervalo de 10 min, alcanzando la potencia máxima a las 10:50 con una temperatura de 72,2 °C en el tubo absorbedor, con el funcionamiento del seguidor solar.

En la transferencia de calor el agua llega a una temperatura máxima de 40 °C y el aceite térmico a 50 °C, con un delta de temperatura de 10 °C.

Análisis estadístico de datos de temperatura y presión

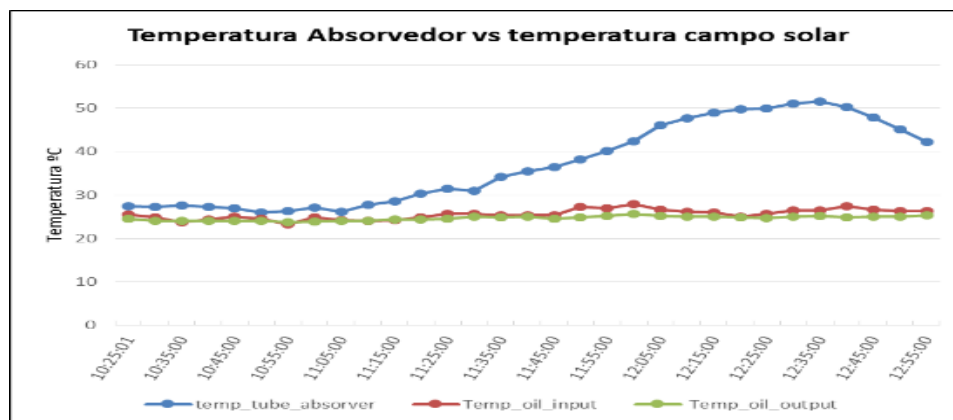
En esta sección se analizará el comportamiento de las variables de temperatura y presión en diferentes escenarios (en reposo, sin seguidor solar y con seguidor solar).

Sistema solar en reposo (sin funcionar)

El sistema se encuentra en reposo cuando no está encendido el seguidor solar ni el sistema de intercambio de calor (aceite y agua), pero si recolectando los valores de temperatura y presión.

Figura 138

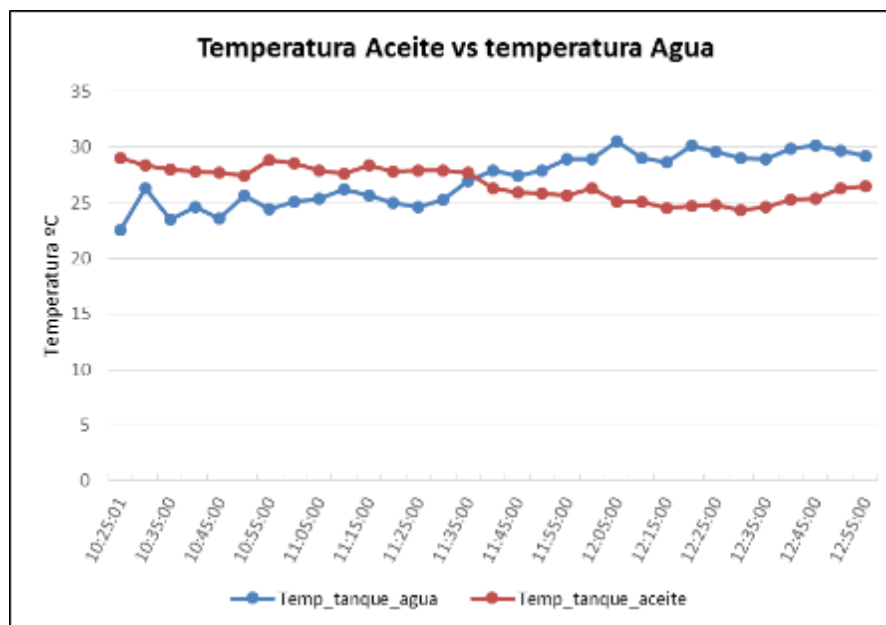
Temperatura Absorbedor vs Campo solar en reposo



En la figura 138. Se puede observar que en reposo la mayor concentración de Temperatura es en el tubo absorbedor, al no estar funcionando la bomba del aceite térmico la temperatura de entrada y salida del campo solar no sufre mayor incremento. El tubo absorbedor soporta una temperatura máxima de 340 °C por lo que este estaría trabajando sin ningún problema a una temperatura de 52 °C aproximadamente en reposo. Adicional en el análisis se tiene una temperatura mínima de 26 °C, y un rango de 25,5 °C para el tubo absorbedor.

Figura 139

Temperatura tanque de agua vs tanque de aceite en reposo



A continuación, se muestra una tabla resumen del análisis estadístico que aplica a los datos de temperatura. En estado de reposo el sistema en cuanto a las temperaturas campo solar y al almacenamiento de aceite térmico, el incremento de temperatura durante tiempo de 2,5 horas es de 4,7 °C. En cambio, en el agua es de 7,9 °C. La temperatura del tubo absorbedor se ha incrementado en 25,5 °C respecto a la temperatura inicial de la recolección de datos. Al no tener aceite recirculando en el sistema las temperaturas son moderadas y no alcanzan al nominal de operación tanto del tubo absorbedor como de la instrumentación instalada.

La temperatura del tubo absorbedor se incrementa considerablemente porque esa es función al momento de tener radiación directa, especialmente al medio día.

Tabla 28*Análisis estadístico temperatura campo solar en reposo*

Descripción Estadística	Aceite de entrada campo solar	Aceite de salida campo solar	Tanque de aceite	Tanque de agua	Tubo absorbedor	Ambiente
Media	25,6	24,7	26,7	27,1	37	26,3
Error típico	0,2	0,1	0,3	0,4	1,7	0,2
Moda	24,9	24,0	27,9	28,9	27,2	26,4
Desviación estándar	1,1	0,5	1,5	2,3	9,5	1,1
Rango	4,7	1,8	4,7	7,9	25,5	4,5
Mínimo	23,3	23,8	24,3	22,6	26,0	23,6
Máximo	28,0	25,6	29,0	30,5	51,5	28,1
Cuenta	31	31	31	31	31	31

En cuanto a la variable presión el valor es 0 ya que el sistema no está presurizado en el momento del reposo, tanto en el campo solar como en el tanque de agua (Caldero).

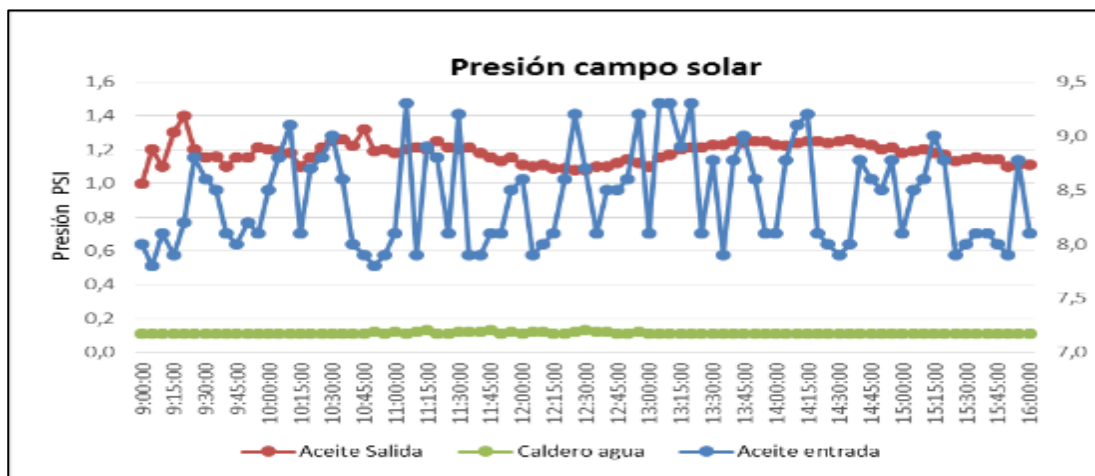
Sistema solar sin seguidor solar (Orientación manual)

En sistema una vez encendido se envía almacenar automáticamente los datos en la base, así podemos observar que la bomba de aceite es la que inicia su operación con una presión de 8 PSI aproximadamente. Al ser un circuito no presurizado se tiene únicamente la presión de entrada que viene hacer en cierta manera la presión de descarga de la bomba (La distancia entre la bomba y el ingreso del campo es de 4 metros.

El tanque de agua (Caldero) tampoco alcanza una presión considerable ya que debería estar el agua a temperatura de saturación para generar vapor y elevar la presión. Apenas el agua llega a una temperatura de 40 °C durante todo el ciclo de operación del sistema solar (9:00 am a 16:00).

Figura 140

Presión de entrada y salida campo solar



La presión de entrada tiene una variación entre 7 y 9 PSI por las mismas características del sistema y se puede observar en la figura 141. Que no depende de la temperatura del tubo absorbedor o del aceite en la entrada.

Figura 141

Temperatura y Presión ingreso campo solar

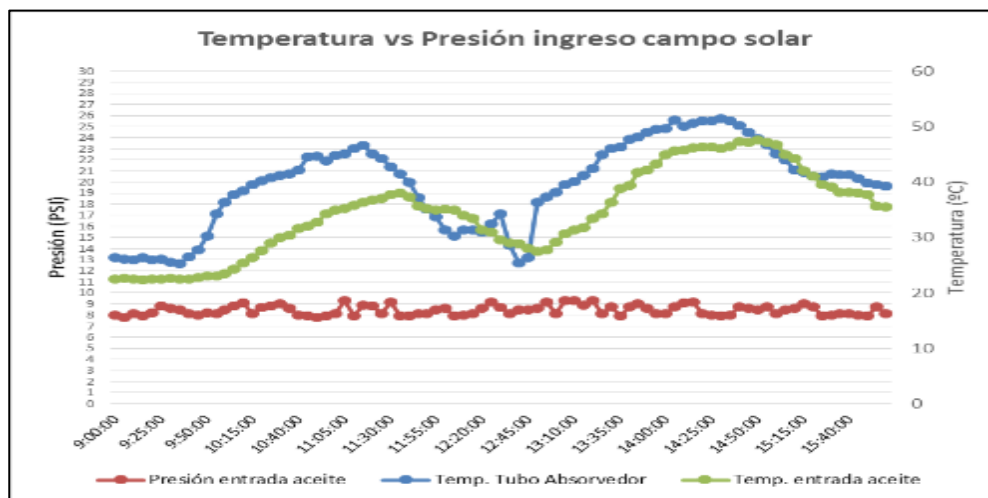


Tabla 29

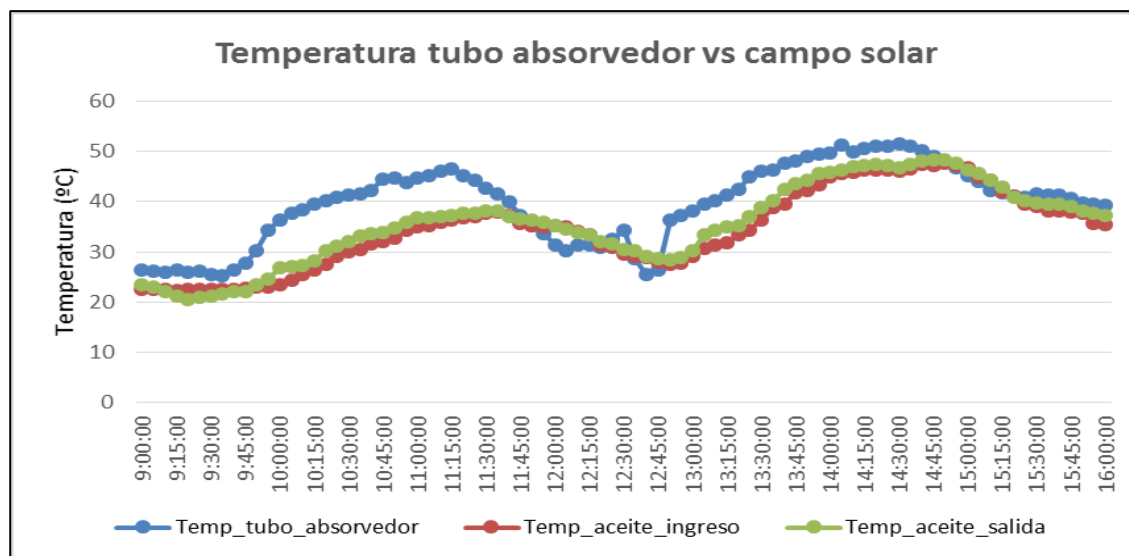
Análisis estadístico presión campo solar con orientación manual

Descripción Estadística	Presión entrada campo solar	Presión salida campo solar	Presión Caldera Agua
Media	8,4	1,2	0,1
Error típico	0	0	0,0
Moda	8,1	1,2	0,1
Desviación estándar	0,5	0,1	0,0
Rango	1,5	0,4	0,0
Mínimo	7,8	1,0	0,1
Máximo	9,3	1,4	0,1
Cuenta	85	85	85

Como se puede observar en la tabla 30. Que el mayor rango de variación que se tiene en la presión de entrada del campo solar es de 1.5 PSI, y teniendo como mínimo 7.8 PSI y alcanzando un máximo de 9.3 PSI. La presión de salida tiene una media de 1.2 PSI, al ser un circuito abierto tiene una mínima presión de salida. La presión de agua para este circuito se considera 0 PSI.

Figura 142

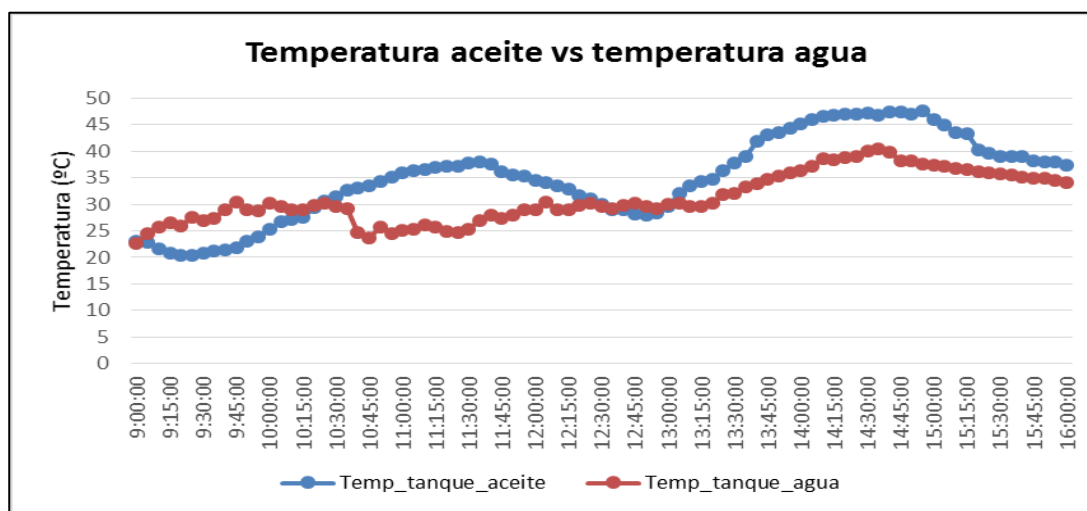
Temperatura absorbedor vs campo solar con orientación manual



En la figura 142. Se puede observar el comportamiento de la temperatura del campo solar (entrada y salida) con respecto a la temperatura del tubo absorbedor que concentra la radiación directa. La mayor concentración y transferencia de energía calorífica es las 11:00 am y a las 14:00 el 19 de septiembre del 2016. Al medio día se tiene una caída de potencia por sombra generada por las nubes y un fuerte viento. Gráficamente se puede observar que la temperatura de salida del campo solar es relativamente superior a la entrada lo que garantiza que el sistema solar tenga eficiencia positiva.

Figura 143

Temperatura tanque de agua vs tanque de aceite con orientación manual



En la figura 143. La temperatura del agua (Caldero) es proporcional a la temperatura del aceite térmico a partir de las 10:30 am. Alcanza una temperatura máxima a las 14:30 que coincide con la mayor potencia que concentra el sistema térmico. Así como también la temperatura del aceite térmico en el tanque se relaciona al comportamiento de la temperatura del tubo absorbedor.

Tabla 30*Análisis estadístico Temperatura campo solar con orientación manual*

Descripción Estadística	Aceite entrado campo solar (°C)	Aceite salida campo solar (°C)	Tanque de aceite (°C)	Tanque de agua (°C)	Tubo Absorbedor (°C)	Ambiente (°C)
Media	34,5	35,5	35	31,1	39,6	26,0
Error típico	0,8	0,9	0,9	0,5	0,8	0,3
Moda	22,5	22,2	39,1	28,9	41,5	20,5
Desviación estándar	7,8	7,9	7,9	4,6	7,8	2,8
Rango	25,2	27,7	27,2	17,7	26,2	11,3
Mínimo	22,4	20,6	20,3	22,7	25,3	20,0
Máximo	47,6	48,3	47,5	40,4	51,5	31,3
Cuenta	85	85	85	85	85	85

En la tabla 31. Tenemos el resumen del análisis estadístico de la variable temperatura en los diferentes subsistemas, donde nos indica que el incremento de temperatura de la salida con respecto a la entrada es de 1 °C, garantizando que el sistema tenga una eficiencia positiva.

La temperatura en el tubo absorbedor llega máximo a 51,5 °C con la orientación manual del sistema solar, así como también podemos observar que la temperatura del aceite térmico llega a 48,3 °C en la salida del campo solar, que son los valores de máxima potencia del día 19 de septiembre del 2016.

Sistema solar con seguidor solar (Orientación Automática)

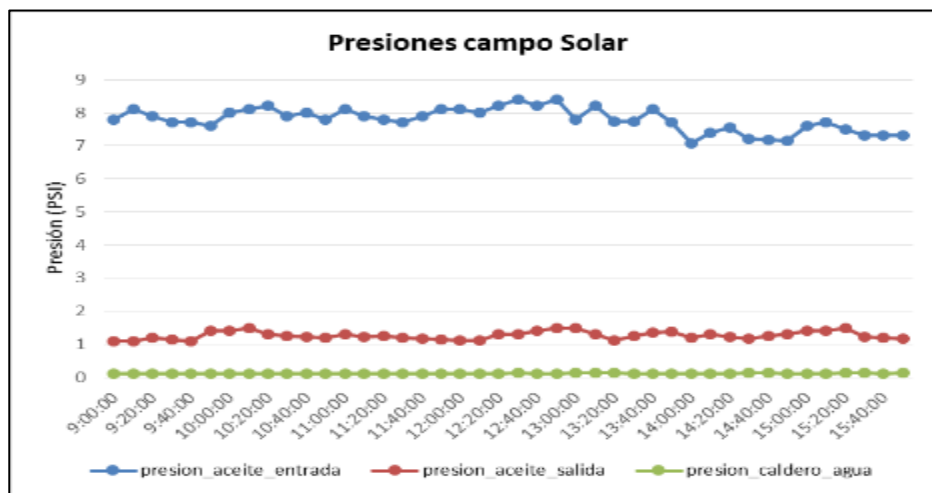
El análisis se basa al día 20 de septiembre del 2016. Al encender el sistema instantáneamente empieza almacenar la información en la base de datos y el seguidor solar se inicia para posicionarse y seguir al sol durante su trayectoria. La bomba de aceite permite la recirculación

del aceite térmico a través del campo solar para captar la energía térmica que es consumida por el agua que se encuentra en el caldero.

En la figura 144. La presión de ingreso del aceite térmico al campo solar está en un promedio de 8 PSI, que para este caso es similar a la presión de descarga de la bomba de aceite. Al ser un circuito abierto no se tiene una presión considerable en la salida del campo solar. Al igual que la presión que tiende a 0 PSI de la Caldera ya que el agua no alcanza el punto de generación de vapor.

Figura 144

Presión de entrada y salida campo solar con seguidor solar



En la figura 145. Se aprecia que la presión de ingreso de aceite al campo solar permanece casi constante y hasta el momento con una temperatura de 50°C del aceite térmico no ha cambiado considerablemente la viscosidad del aceite por ende la presión que debe ejercer la bomba para transportar.

Figura 145

Temperatura vs presión ingreso campo solar con seguidor solar

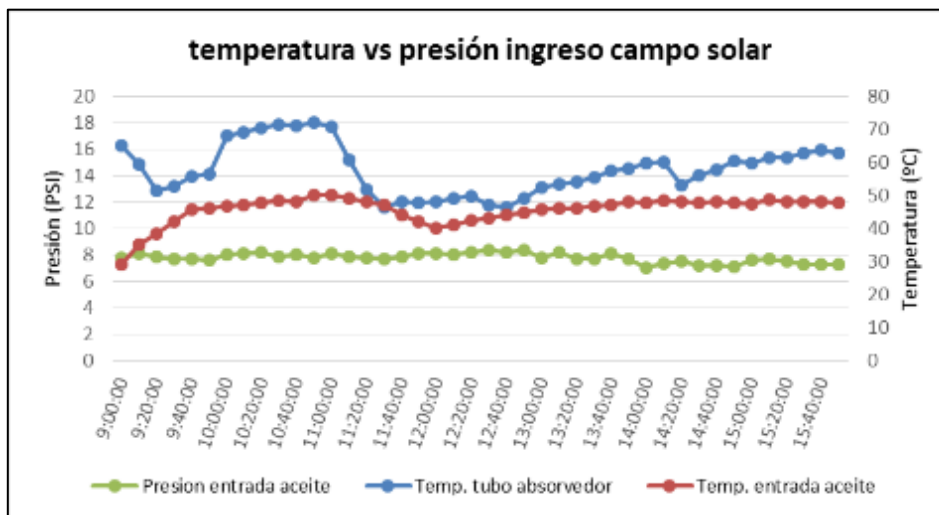


Tabla 31

Análisis estadístico presión campo solar con seguidor solar

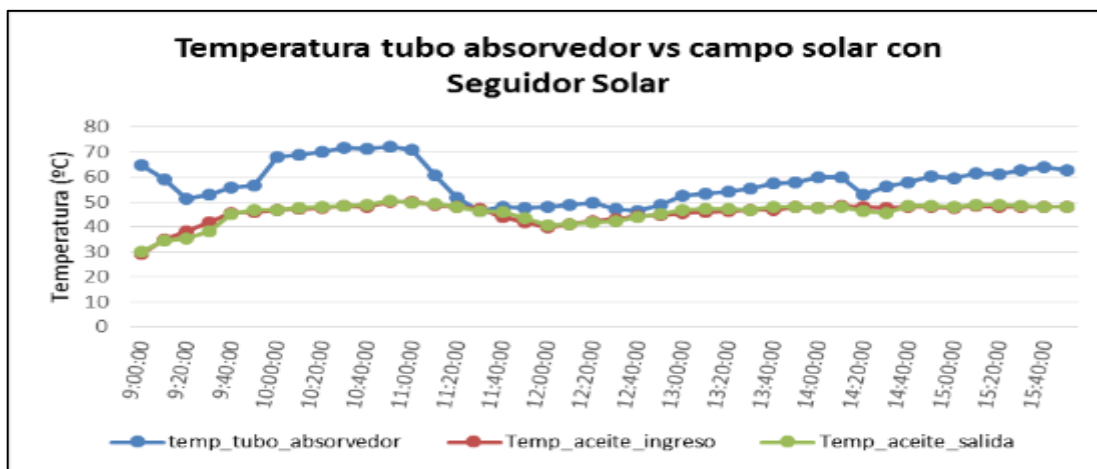
Descripción Estadística	Presión entrada aceite	Presión salida aceite	Presión caldero agua
Media	7,8	1,3	0,1
Error típico	0,1	0	0
Moda	8,1	1,3	0,1
Desviación estándar	0,3	0,1	0,0
Rango	1,3	0,4	0,0
Mínimo	7,1	1,1	0,1
Máximo	8,4	1,5	0,1
Cuenta	42	42	42

En la tabla 32. Se puede observar que el mayor rango de variación que se tiene en la presión de entrada del campo solar es de 1.3 PSI, y teniendo como mínimo 7.1 PSI y alcanzando un

máximo de 8.4 PSI. La presión de salida tiene una media de 1.3 PSI, al ser un circuito abierto tiene una mínima presión de salida. La presión de agua para este circuito se considera 0 PSI.

Figura 146

Temperatura vs presión ingreso campo solar con seguidor solar



En la figura 146. Se puede observar el comportamiento de la temperatura del tubo absorbedor que supera los 70°C y como mínimo cerca de 50 °C con la ayuda del seguidor solar se ha logrado incrementar la temperatura en comparación de la orientación manual.

Adicional la temperatura del aceite en el campo solar permanece constante cerca de los 47 °C lo que indica que es un día bastante estable en radiación directa, únicamente con un pico entre las 10:00 am y 11:00 am.

En la figura 147. Se puede analizar que la temperatura del agua y del aceite tiene una variación mínima durante el ciclo de recorrido y control del seguidor solar. Alcanzando la mayor potencia entre las 10:00 am y 11:30 am, a partir del mediodía tiene una baja de potencia, pero se recupera nuevamente a las 13:00. La tendencia hasta el final del recorrido es incremental, llegando a una temperatura de 62,7 °C en el aceite y en el agua 38,4 °C a las 16:00.

Figura 147

Temperatura vs presión ingreso campo solar con seguidor solar

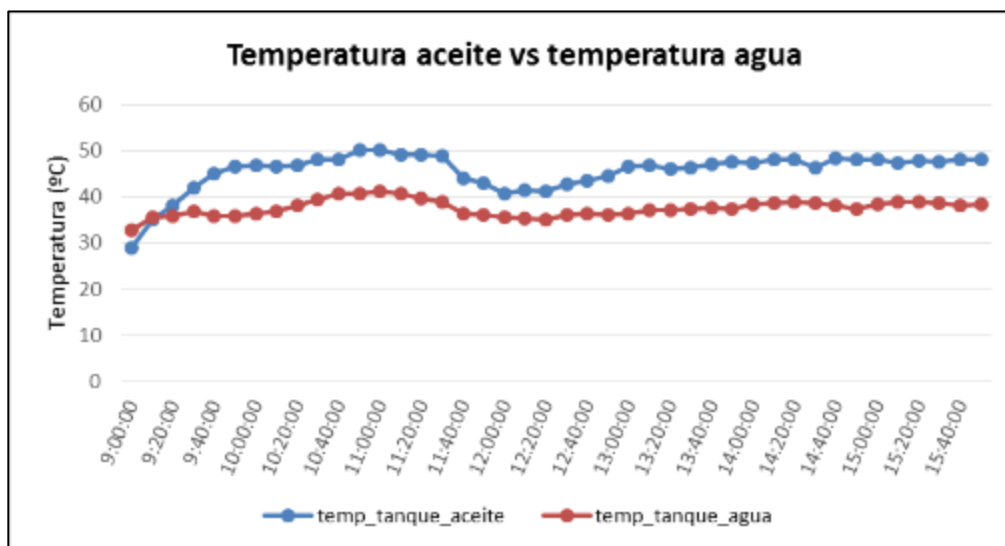


Tabla 32

Análisis estadístico temperatura campo solar con seguidor solar

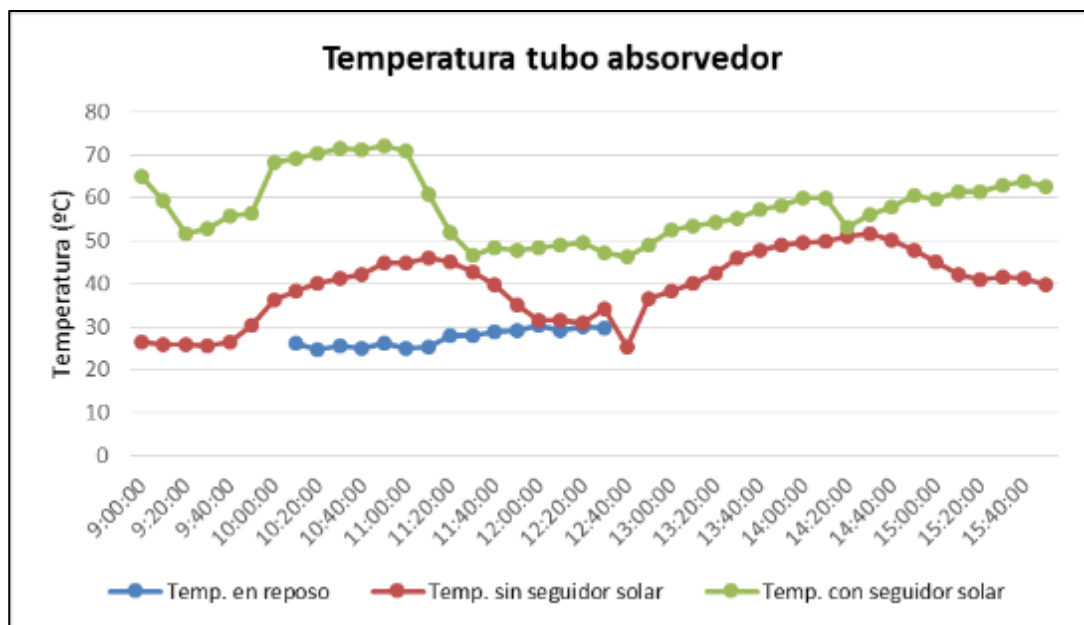
Descripción Estadística	Aceite entrada campo solar (°C)	Aceite salida campo solar (°C)	Tanque de aceite (°C)	Tanque de agua (°C)	Tubo Absorbedor (°C)	Ambiente (°C)
Media	45,7	45,7	45,5	37,5	57,9	30,5
Error típico	0,6	0,7	0,6	0,3	1,2	0,4
Moda	47,8	46,9	48,0	35,9	48,3	28,0
Desviación estándar	4,1	4,4	4,1	1,8	7,6	2,4
Rango	20,9	20,4	21,2	8,4	25,8	10,2
Mínimo	29,3	30,1	29	32,7	46,4	24,4
Máximo	50,2	50,5	50,2	41,1	72,2	34,6
Cuenta	42	42	42	42	42	42

En la tabla 33. Se observa que la temperatura del tubo absorbedor con el seguidor solar alcanzó el valor de 72.2 °C como máximo, y su mínimo está en 46.4 °C, lo que indica que el rango de incremento de temperatura es de 25.8 °C, similar cuando el sistema fue orientado manualmente. El rango nos indica que la capacidad del sistema térmico CCP para elevar la temperatura desde un punto inicial a su máximo esta alrededor de 26 °C.

También se puede determinar que la temperatura ambiente en este día fue elevada llegando hasta los 34 °C. La temperatura del aceite térmico estuvo en un promedio de 45 °C, con un máximo de 50 °C. El agua del caldero alcanzo los 41 °C con un promedio de 37.5 °C.

Figura 148

Análisis temperatura tubo absorbedor



En la figura 148. Se analiza la temperatura del tubo absorbedor en los diferentes escenarios que se realizaron los ensayos; en reposo cuando el sistema no se encuentra trabajando; sin

seguidor solar cuando la orientación se la realiza de forma manual; y finalmente con el seguidor solar el cual actúa automáticamente para alcanzar la mayor concentración de radiación solar. Claramente se observa en la figura 148. El sistema con el seguidor solar es más eficiente para alcanzar temperaturas sobre los 70 °C.

Análisis de costos

En esta sección se analiza los costos del proyecto en su totalidad, sin embargo, se detalla lo referente al control y monitoreo del CCP_ESPE. El análisis se ha clasificado en 3 costos: Costo directo de materiales, costo directo de mano de obra y costo indirectos.

Todos los costos se basan en el mercado nacional incluida sus tasas e impuestos, especialmente en los equipos electrónicos. Tomando en cuanto los costos del proyecto inicial y el seguidor solar, a continuación, se detalla sus costos.

- Sistema solar térmico: \$ 17.135,00 (Quintana & Yépez, 2015)
- Seguidor Solar: \$ 10.815,00 (Fabara, 2016)
- Monitoreo y Control: \$9.344,68 (Poaquiza Yumbolema, 2016)

Por lo tanto, tenemos un costo total de proyecto: \$ 37.294,68

Tabla 33*Costos indirectos y administrativos*

COSTOS INDIRECTOS				
DESCRIPCIÓN	CANT.	UN.	P. UNIT (USD)	P. TOTAL (USD)
Útiles de Oficina	1	u	\$50,00	\$50,00
Transporte	1	u	\$200,00	\$200,00
Servicios Básicos	1	u	\$45,00	\$45,00
Impresiones	1	u	\$100,00	\$100,00
Copiado de textos	1	u	\$50,00	\$50,00
Varios	1	u	\$50,00	\$50,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				\$495

Tabla 34*Costo directo de materiales*

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	CANT.	UN.	P. UNIT (USD)	P. TOTAL (USD)
PLC Micrologix 1400 Allen Bradley	1	u	\$1.050,00	\$1.050,00
Módulo de termocuplas IT4	2	u	\$435,00	\$870,00
Módulo de entradas analógicas IF4	1	u	\$475,00	\$475,00
Router inalámbrico DLINK	1	u	\$35,00	\$35,00
Fuente de Poder 2.5 Amp	1	u	\$95,00	\$95,00
Transmisores de presión 0-10 bar (4-20 mA)	3	u	\$270,00	\$810,00
Termocuplas	6	u	\$72,00	\$432,00
Cable apantallado 3x16 AWG	75	m	\$3,00	\$188,00
Borneras 16-22 AWG	30	u	\$1,00	\$15,00
Manguera eléctrica 3/4"	50	m	\$1,00	\$25,00
Accesorios de montaje (codos, neplos, bushing, entre otros)	1	un	\$50,00	\$50,00
TOTAL MATERIALES				\$4.045,00

Tabla 35*Costo directo de mano de obra*

DESCRIPCIÓN	MANO DE OBRA			P. TOTAL (USD)
	CANT.	HORAS	COSTO HORA (USD)	
Montaje mecánico	1	16	\$3,66	\$59,00
Instalador Electrónico	1	40	\$3,66	\$146,00
Ingeniería de programación PLC	1	400	\$3,67	\$1.468,00
Ingeniería de programación HMI	1	200	\$3,67	\$734,00
Asesoría de Ingeniería	1	60	\$3,67	\$220,00
Director de Tesis	1	18	\$50,00	\$900,00
TOTAL MANO DE OBRA				\$3.527,00

El costo de hora de la mano de obra es tomado de la tabla de la Contraloría General del Estado.

Tabla 36*Resumen de Costos*

COSTOS INDIRECTOS (CI):	\$495,00
Gastos de oficina y transporte	\$495,00
COSTOS DIRECTOS (CD)	\$8.577,50
COSTO MATERIALES	\$4.045
COSTO MANO DE OBRA	\$3.527
IMPREVISTOS: 3% (CD + CI)	\$272,18
TOTAL COSTO PROYECTO	\$9.344,68

El presupuesto para el desarrollo e implementación del proyecto de investigación, “DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE LOS PARÁMETROS ENERGÉTICOS DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA DE MEDIA TEMPERATURA” es de **USD 9.344,68** (Nueve mil trescientos cuarenta y cuatro, 68/100).

Capítulo 7.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

1. Una metodología es importante en el ciclo de vida de un proyecto lo cual lo hace ordenado y evitando omitir pasos que conlleve a generar altos costos en la revalorización del proyecto.
2. La propuesta metodología para los sistemas solares térmicos basados en metodologías reconocidas PMBOK y CAP han dado como resultado una ejecución completa del proyecto teniendo en cuenta la parte de gestión, ejecución técnica y soporte.
3. Se evidencia que la metodología aplicada a la implementación del prototipo fue la AGILE que se basa en objetivos parciales y obtención de producto funcional. Lo que cual no es aconsejable ya que se utiliza en proyectos de IT (tecnologías de la información).
4. La investigación actual nos permitió recopilar y referenciar todas las etapas desde del diseño hasta la implementación del prototipo de sistema solar térmico de 16kw instalado en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

5. Como parte de la metodología propuesta se determina que no se realizó un buen estudio de costo y beneficio lo cual es importante para la finalización del proyecto. Hasta la fecha se tiene un costo de instalación de \$ 2.331 / kw.
6. Actualmente el sistema instalado en la ESPE está trabajando al 33% de su capacidad por falta de seguidores solares en dos lazos restantes y provoca pérdidas considerables en la transferencia térmica del aceite en su recorrido por el sistema, que actualmente el gradiente de entrada vs salida es de 1,5 °C aproximadamente.
7. El mantenimiento del CCP_ESPE requiere aproximadamente un total de 10 h/h semanas o 2 h/h diarias para el correcto funcionamiento del sistema y su mantenibilidad en el tiempo
8. El sistema de transferencia de calor se encuentra sobredimensionado con los parámetros de funcionamiento actuales, ya que con los niveles de radiación no se ha superado los 70 °C. y normalmente estos sistemas son diseñados para 300 °C.
9. El sistema de control y monitoreo es diseñado con una arquitectura abierta para la posterior integración de equipos o sistemas vía red Modbus o Ethernet IP, pudiendo se estaciones Meteorológicas, sensores de medición de radiación, entre otros.

Recomendaciones

1. Realizar el mantenimiento sugerido para la óptima operación del sistema en el tiempo.

2. Para evitar pérdidas térmicas se debe aislar la tubería de transporte de aceite, así como el tanque de almacenamiento.
3. Instalación de un variador de frecuencia en la bomba de aceite para permitir variar el caudal del aceite térmico en su recorrido por el sistema y así mejorar el gradiente de temperatura. Adicional un medidor de flujo para determinar la velocidad del fluido.
4. Colocar universales para el mantenimiento o cambio de instrumentación.
5. Colocar bajo techo el tanque de almacenamiento de aceite para evitar la degradación temporal y la evaporación.

Bibliografía

- Agencia Estatal Meteorológica. (2014). *Radiación Solar*. Obtenido de http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf
- Allen Bradley. (2017). *Rockwell Automation*. Obtenido de <http://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/MicroLogix-1400>
- Almeria, P. S. (2017). Obtenido de <http://www.psa.es/es/index.php>
- Associaton, E. E. (1976). *Aislamiento Térmico de Tuberías y depósitos*. Londres: Labor.
- Automatas. (marzo de 2006). *Automatas*. Obtenido de <http://www.automatas.org/redes/scadas.htm>
- Azul. (Febrero de 2006). PROCEDIMIENTO SAT DEL SCADA ELECTRICO PROYECTO PALO AZUL. Quito, Ecuador.
- Balado Leal, E. (Marzo de 2011). Prototipo de campo de colectores solares cilindro-parabólicos para generación de calor a alta temperatura. Madrid.
- Balper. (2016). *Ingeniería conceptual, básica y de detalle*. Obtenido de <http://www.balperin.com.mx/ingenieria-conceptual-en-mexico.shtml>
- Balseca Acosta, J. F. (2007). Monitoreo de la Central Hidroeléctrica Pucará. Quito, Ecuador.
- Camacho, G. (2016). *GUÍA DE LABORATORIO –SISTEMAS SCADA Y COMUNICACIÓN CON BASE DE DATOS*. Obtenido de https://www.academia.edu/5671918/SISTEMAS_SCADA_Y_COMUNICACION_CON_BASES_DE_DATOS
- CEPEDA MORENO, S. R., & ERAZO HIDALGO, F. O. (2010). "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA REPRESENTACIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS CON PLC Y SCADA IN TOUCH, CASO PRÁCTICO HORNO DE ACTIVACIÓN DE PEGAMENTO". Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
- Charalampos, M. (Mayo de 2011). ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL EMPLEO DE ACEITE Y LA GENERACIÓN DIRECTA DE VAPOR, EN UNA PLANTA TERMOSOLAR DE CANALES PARABÓLICOS. Sevilla, España.
- Ciemat. (2017). *LAZO DE ENSAYOS HTF*. Obtenido de <http://www.psa.es/es/instalaciones/parabolicos/htf.php>
- Cuenca Ruiz, H. (2016). *PSA*. Obtenido de <http://docplayer.es/10040453-Proyecto-de-automatizacion-control-y-supervision-de-la-planta-de-gas-cooled-por-concentradores-solares-del-ciemat-en-la-psa-de-almeria.html>
- Educa, C. (2015). *Cuba Educa*. Obtenido de <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2450.pdf>
- ESPÍN REYES, D. (Mayo de 2013). ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE NIVEL Y DE PRESIÓN MEDIANTE UN SISTEMA DE LÓGICA DIFUSA, EN LA CPU EDUTRAINER COMPACT S7-313C, REALIZANDO UN SISTEMA HMI/SCADA PARA EL MÓDULO MPS PA COMPACT WORSTATION, VÍA COMUNICACIÓN MPI. Quito, Ecuador.
- Esquivel Baduy, J. D., & Tixe Enriquez, J. C. (2014). Diseño de una guía metodológica para implementación de centrales termo solares con fines de generación eléctrica en el Ecuador. Quito, Ecuador.
- ETM. (2017). *Simatic WINCC Open Architecture*. Obtenido de <http://www.etm.at/index.asp?id=2&sb1=61&sb2=140>
- Fabara, J. (2016). Salgolqui, Pichincha, Ecuador.
- Fernández Salgado, J. (2010). *COMPENDIO DE ENERGIA SOLAR*. Madrid: Mundiprensa.

- Ferreira, F. (Abril de 2016). <http://reliability-maintenance.blogspot.com/search/label/Projects>. Buenos Aires, Argentina.
- Fundación Unida. (2016). *Energía/Clase 4/Concentradores Solares*. Obtenido de <http://www.unida.org.ar/Virtuales/Energias/Clase%204/CONCENTRADORES%20SOLARES.pdf>
- García Garrido, S. (2013). *RENOVETEC*. Obtenido de <http://www.santiagogarciagarrido.com/index.php/actividades-de-idi/54-simulador-de-centrales-termosolares>
- García, J. M. (2010). *Energía Solar Termica 3ra Edicion*. Madrid: Bureau Veritas Business School.
- García, J. M. (2012). *Energía Solar fotovoltaica*. Madrid: Bureau Veritas Business School.
- Garriga, A. (2017). *Recursos de Manejo de Proyectos*. Obtenido de <http://www.recursosenprojectmanagement.com/metodologia-de-gestion-de-proyectos/>
- González Cuesta, A. M. (2015). ORIENTACIÓN Y CONTROL DE LOS CILINDROS PARÁBOLICOS EN PLANTAS TERMOSOLARES. Madrid, España.
- Guillamón López, M. Á. (Junio de 2012). Central Termosolar de 50 MW en Murcia con Colectores Cilíndricos Parabólicos. Murcia, España.
- <http://sistemasdeinformacionjuvera.blogspot.com/>. (2017). Obtenido de <http://sistemasdeinformacionjuvera.blogspot.com/p/la-solucion-de-software-completa-scada.html>
- Jutglar, L. (2004). *Energía Solar*. Barcelona: CEAC.
- LOBOS OPITZ, S. A. (2015). EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE TECNOLOGÍAS PARA DESALINIZAR AGUA, POR MEDIO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA, EN EL NORTE DE CHILE. Santiago de Chile, Chile.
- Maloney, T. J. (1997). *Electrónica Industrial Moderna*. Prentice Hall.
- MARTINEZ J, & ASITIMBAY J. (2015). *Caracterización y analisis estadistico de la Radiación Solar Directa para Aplicaciones de Media y Alta Temperatura en Áreas Circundantes al OCP*. Sangolquí.
- Matrikon. (2017). *Servidor OPC*. Obtenido de <http://matrikonopc.es/opc-servidor/index.aspx>
- Maza Cabello, A. C. (9 de Enero de 2009). Diseño de un sistema experto para el enderezado de chasis en frío. Puebla, Mexico.
- Medieta Cruz, T. (Diciembre de 2007). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE UN CONCENTRADOR CILÍNDRICO PARABÓLICO. Mexico: Jones and Bartlett Publishers.
- MENDOZA RODRÍGUEZ, C. (Febrero de 2011). "VIABILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DE UNA CENTRAL SOLAR TERMOELÉCTRICA DE COLECTORES CILINDRICOS PARABÓLICOS PARA SU IMPLEMENETACIÓN EN MEXICO. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/277/A6.pdf?sequence=6>
- Microsoft. (2017). *Microsoft Access*. Obtenido de <https://products.office.com/es/access>
- Ministerio de Electricidad y Energías Renovables. (2007). *Matriz Energética del Ecuador*. Quito.
- Moliner Vázquez, E. (Septiembre de 2009). ANÁLISIS, DISEÑO Y CONTROL DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA BASADA EN COLECTORES SOLARES. Michoacan, Mexico.
- MORALES CARO, R. A. (2013). DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL PREDICTIVO SUPERVISOR PARA CENTRALES SOLARES TERMOELÉCTRICAS DE COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS. Santiago de Chile, Chile.

- Moreno Gomez , C. J. (2016). *¿Que diferencias hay entre Ingeniería conceptual, básica y de detalle?* Obtenido de <http://reliability-maintenance.blogspot.com/2009/06/que-diferencias-hay-entre-ingenieria.html>
- Moreno, R. P. (2001). *Ingeniería de la Automatización Industrial*. Mexico D.F.: AlfaOmega Grupo Editor S.A.
- NASA. (2016).
- Orbea Samaniego, E. G., & Silva Bravo, J. L. (2014). INGENIERÍA INVERSA Y REPOTENCIACION PARA LA OPTIMIZACIÓN, TOMA DE DATOS Y CONTROL DEL COLECTOR CILINDRICO PARABÓLICO DE 7.2 M2. Sangolquí, Ecuador.
- Orttenburger, F. F. (1986). *Introducción al Control Electrónico*. Barcelona: Siemens.
- Petroextract. (Julio de 2008). Procedimiento SAT del sistema SCADA. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Poaquiza Yumbolema, L. A. (Diciembre de 2016). Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- Polo Bravo, C. A., Sacari Sacari, E. J., & Choque Chacoll, J. A. (Octubre de 2011). Resultados Preliminares con Sistemas de Concentración Solar para la Generación de Vapor de Agua.
- Poma Deza, J. (Septiembre de 2011). *Gestión de base de datos con SCADA para el control automatizado de una válvula de control*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81622585004>
- Portero, M. T. (1988). *Microprocesadores y microcontroladores aplicados a la industria*. Madrid: Paraninfo.
- Pourrut P. (1983). *Los Climas del Ecuador Fundamentos Explicativos*. Quito: Ministerio de Agricultura del Ecuador.
- Quintana, C., & Yépez, D. (2015). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONCENTRACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR DE MEDIA TEMPERATURA CON CCP PARA GENERACIÓN DE UNA POTENCIA INSTALADA DE 16000 KCAL/HR. Sangolqui, Mejia, Ecuador.
- Ramírez Moreno, C. (25 de Febrero de 2013). *Sistemas Electrónicos*. Obtenido de http://crmsistemaselectronicoscetis71.blogspot.com/2013_02_01_archive.html
- RENOVETEC INGENIERIA. (2013). *PLANTAS CCP, TECNOLOGÍA CILÍNDRICO-PARABÓLICO*. Obtenido de <http://renovetecingenieria.com/termosolar/plantascpp.html>
- ROCA TEK. (Octubre de 2010). *AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL*. Obtenido de http://www.rocatek.com/forum_plc1.php
- Rockwell Automation. (2017). *Rockwell Automation*. Obtenido de <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/2416247/9071972/9072277/print.html>
- Rodriguez, J. (Abril de 2004). *Seminario Internacional Energía Solar*. Obtenido de http://guzlop-editoras.com/web_des/ener01/enersolar/pld0524.pdf
- Romagosa Cabús, J., Gallego Navarrete, D., & Pacheco Porras, R. (Mayo de 2004). *Sistema SCADA*. Obtenido de <http://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=14589/2011/1/54326/40201-3452.pdf>
- Ruiz Canales, A. (2013). *Departamento de Ingeniería. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández (Alicante)*. Obtenido de http://www.infoagro.com/riegos/control_riego_y_fertilizacion.htm
- Salgado Conrado, L. (Noviembre de 2010). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA ORIENTACIÓN DE UN CONCENTRADOR SOLAR CILINDRO - PARABÓLICO ESTE-OESTE. Mexico.
- Salgado, J. M. (2010). *Compendio de Energía Solar*. Madrid: Mundi Prensa.

- Sanchez Toril, D. (30 de Abril de 2013). *Los Pilares de la energía - Sol*. Obtenido de <http://losporquesdelanaturaleza.com/los-pilares-de-la-energia-el-sol>
- SATEC. (2016). Obtenido de <http://solar.satecgroup.com/>
- SATEC. (2016). Obtenido de <http://www.satec.es/es-ES/Sectores/Paginas/Energia.aspx>
- SCADA. (10 de Octubre de 2012). *Seguridad Informática*. Obtenido de <http://antisecc-security.blogspot.com/2012/10/sistemas-scada-parte-i-bueno-antes-de.html>
- Scribd. (2009). *MEDICIÓN DE LA VARIABLE TEMPERATURA*. Obtenido de <https://www.scribd.com/doc/23494756/MEDICION-DE-LA-VARIABLE-TEMPERATURA-1ra-Parte#scribd>
- Siemens. (2010). www.siemens.com/energy. Obtenido de <http://www.energy.siemens.com/nl/pool/hq/power-generation/renewables/solar-power-solutions/concentrated-solar-power/downloads/Siemens-UVAC-2010.pdf>
- Silva, M. (2009). *Apuntes de Clase - Sistemas de Concentracion de Alta Temperatura*. Sangolqui: ESPE.
- Velasco, J. G. (2009). *Energías Renovables*. Barcelona: Reverté.
- Vicente, A. M. (2009). *Curso de Energía Solar*. Madrid: AMV Ediciones.
- Vildósola C. , E. (2013). *Soltex Chile S.A*. Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>
- Wiegand, A. (2015). *Manómetros con elementos elásticos*. Obtenido de http://de-de.wika.de/upload/DS_IN0001_ES_1365.pdf
- Wikipedia. (2013). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Access
- Wonderware. (2017). *WONDERWARE SPAIN*. Obtenido de <http://www.wonderware.es/intouch-hmi-solutions/>
- www.planespecifico.blogspot.com. (Noviembre de 2008). <http://planespecifico.blogspot.com>. Obtenido de <http://planespecifico.blogspot.com/2011/07/instrumentos-de-medicion-y-control.html>

Apéndice