REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# Universidad Católica de Santa María
# Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
# Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**DESARROLLO PROFESIONAL EN CENTRAL GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA, A PARTIR DE FUENTE FOTOVOLTAICA**

Trabajo de Suficiencia Profesional presentado por el Bachiller:

**Díaz Tapia, Jordan Nahúm**
para optar el Título Profesional de

**Ingeniero Electrónico**

**Asesor:**

**Ing. Málaga Chávez, César Eduardo**

**Arequipa- Perú**

**2021**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## INGENIERIA ELECTRONICA

## TITULACIÓN CON TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
## DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 18 de Noviembre del 2021

**Dictamen: 001728-C-EPIE-2021**

Visto el borrador del expediente 001728, presentado por:

**2007240011 - DIAZ TAPIA JORDAN NAHUM**

Titulado:

**DESARROLLO PROFESIONAL EN CENTRAL GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTE FOTOVOLTAICA**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1547 - RODRIGUEZ GONZALES PEDRO ALEXDICTAMINADOR**



**1692 - VALDIVIESO HERRERA DIANA ISABELDICTAMINADOR**



**1886 - COPA PINEDA JUAN CARLOSDICTAMINADOR**



REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*Dedicatorias*

*El presente Trabajo Informe quiero dedicárselo a Dios por darme las fuerzas para culminar una de las etapas más importantes en mi formación profesional, a mis padres, por su amor y confianza en mí, por ser parte de mi crecimiento académico y mi vida personal.*

*A todas las personas que me apoyaron en este proceso de aprendizaje y crecimiento, y por facilitarme el camino hacia lograr el ansiado grado.*

.

.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*Agradecimiento*

*Quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de culminar con éxito este periodo de preparación profesional.*

*A sí mismo, quiero agradecer a la Universidad Católica de Santa María, a mis maestros, a la Escuela Profesional, por las enseñanzas impartidas que son reflejadas en este trabajo.*

*De la misma manera, quiero agradecer a mi asesor, quien siempre me prestó su ayuda y conocimiento para culminar el proceso de obtención del grado académico, por su aliento y motivación.*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**RESUMEN**

El presente informe por experiencia profesional describe el desarrollo de las actividades del egresado en la empresa Solarpack Perú S.A.C. en el campo de producción energética a través de recursos naturales renovables, en la central solar Moquegua FV, en el área de Operación y Mantenimiento de dicha empresa; con la finalidad de mostrar los aportes técnicos y profesionales que se lograron en las labores de mantenimiento de equipos eléctricos y electrónicos de producción y las redes de comunicación industriales. Además, se describe las labores de análisis de información obtenidas desde el sistema SCADA de la central para la evaluación del comportamiento de la producción en diferentes periodos de tiempos, y los aportes de mejora para obtener datos más precisos del performance de la central solar.

**Palabras Claves:**

Relación calidad, Generador fotovoltaico, Preventivo, Correctivo, Seguimiento Solar, Inversor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**ABSTRAC**

This report from professional experience describes the development of the activities of the graduated person in the company Solarpack Peru S.A.C. in the field of energy production through renewable natural resources, in the Moquegua FV solar plant, in the operation and maintenance area of this company; in order to show the technical and professional contributions that were achieved in the maintenance of electrical and electronic production equipment and industrial communication networks. In addition, the information analysis tasks obtained from the plant's SCADA system are described for the evaluation of production behavior in different periods of time, and the improvement contributions to obtain more precise data on the performance of the solar plant.

**Key Words:**

Performance ratio, Photovoltaic generator, Preventive, Corrective, Solar tracking, Inverter.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DICTAMEN APROBATORIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRAC

INTRODUCCIÓN ..... I

CAPITULO I ..... 1

1. DATOS PREVIOS DE CENTRAL MOQUEGUA FV ..... 1

1.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA INSTALACIÓN ..... 1

1.2 NORMATIVIDADES DEL PROYECTO MOQUEGUA F.V. ..... 2

*1.2.1 Normativas Ambientales ..... 2*

*1.2.2 Concesión Definitiva de Generación ..... 3*

*1.2.3 Estudio de Pre Operatividad ..... 3*

*1.2.4 Concesión Definitiva de Actividad de Transmisión ..... 4*

*1.2.5 Operaciones Comerciales ..... 5*

CAPÍTULO II ..... 6

2. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL ..... 6

2.1 DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL PROBLEMA ..... 6

2.2 OBJETIVO GENERAL ..... 7

*2.2.1 Objetivos específicos ..... 7*

2.3 DIAGRAMA DE BLOQUES – CENTRAL SOLAR MOQUEGUA FV ..... 7

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4 GENERADOR FOTOVOLTAICO ..... 9

2.5 PROTECCIÓN DC ..... 18

2.6 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN INTEGRADO ..... 20

*2.6.1 Inversores Trifásicos ..... 20*

2.7 SUBESTACIÓN O PUNTO DE ACOPLE COMÚN ..... 25

2.8 TOPOLOGÍA DE RED ..... 26

*2.8.1 Anillos Principales ..... 26*

*2.8.2 Red de sector – Centros de Transformación ..... 28*

2.9 SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE DATOS (SCADA) ..... 30

*2.9.1 Pantalla de inversores: ..... 30*

*2.9.2 Pantalla de CTIN: ..... 31*

*2.9.3 Pantalla Estación METEO: ..... 31*

*2.9.4 Pantalla de Sub Estación: ..... 32*

CAPITULO III ..... 34

3. DESARROLLO DE EXPERIENCIA PROFESIONAL EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MOQUEGUA FV ..... 34

3.1 MÓDULOS SOLARES ..... 34

*3.1.1 Mantenimiento Preventivo: ..... 35*

*3.1.2 Mantenimiento Correctivo: ..... 44*

3.2 CUADROS DE CAMPO ..... 45

*3.2.1 Cuadros de 1er Nivel ..... 45*

*3.2.2 Cuadros Tracker ..... 48*

*3.2.3 Servicios Auxiliares ..... 54*

3.3 INVERSORES ..... 58

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*3.3.1 Mantenimiento Preventivo* ..... *60*

*3.3.2 Mantenimiento Correctivo* ..... *65*

3.4 TRANSFORMADORES Y CELDAS BT ..... 67

*3.4.1 Mantenimiento Preventivo* ..... *68*

*3.4.2 Mantenimiento Correctivo* ..... *69*

3.5 SERVIDORES Y SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA ..... 69

*3.5.1 Mantenimiento Preventivo* ..... *71*

*3.5.2 Correctivo* ..... *74*

3.6 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS ..... 75

*3.6.1 Informe Plan Anual de Mantenimiento - PAM* ..... *75*

*3.6.2 Informe de Evaluación Mensual - IEM* ..... *76*

CAPÍTULO IV ..... 78

4. APORTES PERSONALES A LA LABOR DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ..... 78

4.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA ..... 78

4.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA ..... 80

*4.2.1 Diagnóstico del Problema* ..... *80*

*4.2.2 Ejecución de la Solución* ..... *89*

CONCLUSIONES ..... 93

RECOMENDACIONES ..... 95

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 97

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1** Ubicación de Central Solar Tacna..... iii

**Figura 2** *Módulos Solares Montados Sobre Estructura de Seguimiento*.....iv

**Figura 3** *Motor Accionador para Estructura de Seguimiento* .....v

**Figura 4** *Diagrama de Flujo de Central Solar Moquegua FV* .....7

**Figura 5** *Descripción de Flujo de Energía Solar*.....9

**Figura 6** *Soporte Mecánico de Estructura de Seguimiento* .....11

**Figura 7** *Motor de Accionamiento de Seguidor Solar*.....12

**Figura 8** *Seguidor Solar Circular* .....13

**Figura 9** *Sistema de Rotación de viga de Torsión de Panamericana Solar* .....14

**Figura 10** *Sistema de Rotación de Viga de Torsión en Moquegua Fv*.....15

**Figura 11** *Tablero de Control del Sistema de Seguimiento Solar en Moquegua FV*.....16

**Figura 12** *Controlador PLC Utilizado para Sistema de Seguimiento Solar en Moquegua FV* .....17

**Figura 13** *Sistema HMI para control de Seguimiento Solar en Moquegua FV*.....18

**Figura 14** *Configuración de Conexiones de Módulos Solares en Cuadro 1 Nivel* .....19

**Figura 15** *Inversores Trifásicos en Moquegua FV*.....21

**Figura 16** *Acometidas de Campo Solar a Inversores*.....22

**Figura 17** *Acometidas de Red Eléctrica a Inversores* .....23

**Figura 18** *Transformador de 23KV de Centro de Transformación Integrado en Moquegua FV*.....23

**Figura 19** *Centro de Seccionamiento de Moquegua FV*.....24

**Figura 20** *Subestación Panamericana Solar* .....25

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 21** *Red de Anillos de Comunicación en Moquegua FV* ..... 27

**Figura 22** *Arquitectura de Comunicación de CTIN 1 en Moquegua FV* ..... 29

**Figura 23** *Pantalla de Inversores SCADA Moquegua FV* ..... 30

**Figura 24** *Pantalla de CTIN 1 SCADA Moquegua FV* ..... 31

**Figura 25** *Pantalla de Estación Meteorológica de Moquegua FV* ..... 32

**Figura 26** *Pantalla de Subestación Panamericana Solar* ..... 32

**Figura 27** *Módulo Solar Yingli de 305W en Moquegua FV* ..... 35

**Figura 28** *Defectos Encontrados Sobre Módulos Solares en Moquegua FV* ..... 36

**Figura 29** *Termografía de Módulos Solares Identificando Punto Caliente* ..... 37

**Figura 30** *Termografía de Módulos Solares Identificando Falla de Diodo* ..... 39

**Figura 31** *Gráfica de Potencia de un Módulo Solar* ..... 40

**Figura 32** *Termografia del Panel Solar 1.4.9.19* ..... 41

**Figura 33** *Curva de Potencia del Panle Solar 1.4.9.19* ..... 42

**Figura 34** *Sistema de Montaje de Módulos Solares en Moquegua FV* ..... 44

**Figura 35** *Cuadro de Campo de 1 Nivel en Moquegua FV* ..... 46

**Figura 36** *Termografía de Cuadro de 1 Nivel* ..... 47

**Figura 37** *Seguidor Solar STInorland de Tipo Circular* ..... 48

**Figura 38** *Vista General del Seguidor Solar Moquegu FV* ..... 49

**Figura 39** *Moto Reductora de Seguidor Solar* ..... 50

**Figura 40** *Rodamiento del Moto Reductora del Seguidor Solar* ..... 51

**Figura 41** *Cuadro de Control de Sistema de Seguimiento Solar en Moquegua FV* ..... 51

**Figura 42** *Cuadro de Control y HMI de Configuración para Sistema de Seguimiento Solar* ..... 52

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 43** *Sistema HMI para Configuración de Parámetros de Seguimiento Solar* ..... 53

**Figura 44** *Maqueta de Alimentación para Controladores PLC* ..... 54

**Figura 45** *Cuadro de Servicios Auxiliares de Centro de Transformación Intengrado en Moquegua FV* ..... 55

**Figura 46** *Cuadro de Servicios Auxiliares de Campo* ..... 56

**Figura 47** *Termografía de Cuadro de Servicios Auxiliares de Campo* ..... 57

**Figura 48** *Inversor Ingeteam Powermax 880x345 de Moquegua FV* ..... 59

**Figura 49** *Centro de Transformación Integrado en Moquegua FV* ..... 59

**Figura 50** *Pantalla de Datos de Contador de Inversor SCADA de Ingeteam* ..... 61

**Figura 51** *Descarga de Datos Contador de Inversor en Formato CVS* ..... 61

**Figura 52** *Mantenimiento Preventivo - Limpieza de Equipos* ..... 63

**Figura 53** *Mantenimiento Preventivo - Limpieza de Filtros de Polvo en Inversor* ..... 63

**Figura 54** *Mantenimiento Preventivo - Medición de Condensadores de Filtros en Inversor* ..... 64

**Figura 55** *Mantenimiento Preventivo - Medición de Señal de Red Eléctrica* ..... 65

**Figura 56** *Sistema de Alimentación Ininterrumpida de Centro de Transformación Intengrado* ..... 70

**Figura 57** *Servidores de Centro de Control Moquegua FV* ..... 70

**Figura 58** *Mantenimiento Preventivo - Apagado de SAI* ..... 71

**Figura 59** *Mantenimiento Preventivo - Retiro de CPU del SAI* ..... 72

**Figura 60** *Mantenimiento Preventivo - Limpieza Interior del CPU de SAI* ..... 72

**Figura 61** *Matenimiento Preventivo - Limpieza Interna de CPU de Servidores* ..... 73

**Figura 62** *Mantenimiento Preventivo - Medición de Baterías de SAI* ..... 73

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 63** *Mantenimiento Preventivo - Configuración de Comunicación de SAI* ..... 74

**Figura 64** *Estación Meteorológica en Moquegua FV* ..... 81

**Figura 65** *Ubicación Geográfica de Central Solar Moquegua FV* ..... 83

**Figura 66** *Ubicación Geográfica de la Central Solar Moquegua Fv con Clima Nublado* ..... 83

**Figura 67** *Cielo de Central Solar Moquegua FV Nublado* ..... 84

**Figura 68** *Cielo de Central Solar Moquegua FV Despejado* ..... 85

**Figura 69** *Producción de CTIN en kw y Radiación Diaria* ..... 88

**Figura 70** *Piranómetro Montado en la Agrupación CTIN 4 de Moquegua FV* ..... 89

**Figura 71** *Cuador de Control de Seguidor 4 en CTIN 4 de Moquegua FV* ..... 90

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1** *Características Principales de Bienes Indispensables para Operar la Concesión* ..... 4

**Tabla 2** Datos de Degradación de Paneles Solares ..... 43

**Tabla 3** *PR de las Agrupaciones CTIN 4 y 7 de los Primeros 15 Días de Junio 2021* .... 85

**Tabla 4** *Producción Diaria de Agrupaciones CTIN 1, 4 y 7 con Respecto a Radiación Diaria* ..... 87

**Tabla 5** *PR de las Agrupaciones CTIN 4 y 7 Bajo las Variables del Nuevo Piranómetro* ..... 91

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene como fin presentar el desarrollo de las actividades de la empresa Solarpack Perú S.A.C. de las cuales formo parte como profesional en el área técnica de Electrónica y Electricidad.

El egresado desarrolló sus actividades en el área de Operación y Mantenimiento de la Empresa SOLARPACK PERÚ S.A.C. Empresa constituida en el año 2013, actualmente activa con RUC 20555725346 y tiene su sede en la ciudad de Lima.

Esta Empresa generadora de Energía Eléctrica a partir de fuente renovable (Energía Solar) es la filial peruana de la compañía multinacional SOLARPACK CORPORACIÓN TECNOLÓGICA S.L. fundada en el año 2005 en España como una de las primeras compañías desarrolladoras y generadoras de energía solar fotovoltaica en Europa, Solarpack se ha caracterizado siempre por su agilidad en la toma de decisiones estratégicas, lo que le ha permitido ser pionera en varios de los mercados en los que está presente, tiene su sede en las ciudades de Bilbao y Sevilla. Especializada en el desarrollo, construcción y operación de proyectos solares fotovoltaicos a gran escala con presencia en mercados de rápido crecimiento en Europa, América del Norte, América Latina, Asia y África.

Actualmente cuenta con un contrato de concesión con el Estado Peruano de los siguientes proyectos de generación de energía eléctrica fotovoltaica por 25 años: Tres proyectos que abastecen 62MW de energía al sur del país; TACNA SOLAR de 23MW de potencia y PANAMERICANA SOLAR de 23MW de potencia ambas comenzaron su operación en 2012 y se ubican en la Ciudad de Tacna y Moquegua respectivamente. En tanto la planta MOQUEGUA FV de 16MW de potencia, operativa desde finales de 2014 se ubica en la provincia de Mariscal Nieto



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de la ciudad de Moquegua. La matriz española también cuenta con operaciones en Europa, Asia, América del Norte, América del Sur y África.

El egresado es parte del equipo de O&M de Solarpack Perú participando en el desarrollo de las actividades en las regiones de Tacna y Moquegua donde se encuentran ubicados los proyectos de la empresa. También a participado en algunas etapas del proceso de construcción en proyectos desarrollados en Chile y ha pasado etapa de reconocimiento del área de O&M en los proyectos de España por iniciativa de la empresa; pero su desempeño profesional se ha dado en gran parte en el área de Operación y Mantenimiento en la planta Moquegua FV ubicada en la provincia de Mariscal Nieto, ciudad Moquegua. Es de allí de donde se expondrá la experiencia adquirida.

El éxito que representó la inversión en la producción de energía fotovoltaica en el vecino país del sur, Chile, significó un impulso para la empresa a emprender nuevas oportunidades de desarrollar energía limpia en Sudamérica.

Como lo describe la página de Solarpack: “Solarpack cuenta con siete plantas solares fotovoltaicas en operación en Chile: Calama Solar 3, la primera planta industrial solar de Sudamérica con una potencia total instalada de 1,1 MWp; Pozo Almonte Solar 2 (8,1 MWp) y Pozo Almonte Solar 3 (17,3 MWp), que producen el 13 % de la energía que la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi consume; y Pozo Almonte Solar 1 que cuenta con 10,5 MWp y que está interconectada al SING. Además, Solarpack ha puesto en marcha dos plantas fotovoltaicas, Calama Solar I y Puerto Seco Solar, ubicadas en el desierto de Atacama en Chile, de 10,5 MWp cada una y Diego de Almagro de 9,4 MWp.”

Después de los resultados conseguidos con la puesta en marcha de las primeras plantas solares en Chile, Solarpack se aventuró a un nuevo reto en tierras peruanas. Desde el año 2010



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

comenzó la gestión para licitación de terrenos dedicados a la generación de energía renovable ubicados en la parte sur del Perú donde mayor índice de radiación solar se encuentra en la actualidad dentro de nuestro territorio nacional. Tras el paso de varias etapas previas y concursos Solarpack se adjudicó 2 terrenos de más de 120 Has de superficie para la generación de energía a través de recursos renovables.

El primero de ellos de 121 Has está ubicado en la zona sur del Perú en la ciudad de Tacna cerca del monumento histórico Alto de la Alianza, a 560 m.s.n.m. donde se construyó una de las primeras plantas que hoy mantiene en operación la empresa y que lleva por denominación "Central Tacna Solar".

**Figura 1**

*Ubicación de Central Solar Tacna*




*Nota:* La figura muestra la ubicación geográfica satelital de la central Tacna Solar.

*Fuente:* Adaptado de *Organismo de Supervisión de la Inversión en Energía y Minas. 2020.* https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/*PROYECTOS*%20GFE/Acordeón/Generación/1.6.3.pdf.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Esta cuenta con 74 988 módulos solares de 290W cada uno, montados sobre una estructura metálica en acero galvanizado, organizados por strings (cadenas) de 18 módulos cada una. Cada dos cadenas (se conoce como una "fila") son unidas por un brazo metálico de acero galvanizado hacia una viga de transmisión del mismo material que está conectada a un motor que mueve un brazo en forma lineal (conocido como actuador) para dar el seguimiento del ángulo solar. Esta viga de trasmisión puede mover hasta 14 filas de las descritas con anterioridad. Todo este sistema se denomina "Seguidor Solar".

**Figura 2**

*Módulos Solares Montados Sobre Estructura de Seguimiento*



*Fuente:* Adaptado de *Organismo de Supervisión de la Inversión en Energía y Minas. 2020.* https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acordeón/Generación/1.6.3.pdf.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 3**

*Motor Accionador para Estructura de Seguimiento*



*Nota:* La figura muestra el motor de accionamiento para el movimiento de la estructura de seguimiento solar.

*Fuente:*Adaptado de *Organismo de Supervisión de la Inversión en Energía y Minas. 2020.* https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acordeón/Generación/1.6.3.pdf.

Luego de la recolección de la energía solar por los paneles instalados, el procedimiento de conversión de energía DC/AC se desarrolla en los Centros de Transformación (CT) ubicados dentro del parque solar. Hay 16 Centros de transformación, cada uno de ellos cuenta con 2 inversores trifásicos internos que cada uno puede llegar a ofrecer hasta 800KW de energía transformada AC. Esta energía es amplificada por unos transformadores de potencia a 23KV para poder ser trasladada hasta la subestación que también está instalada dentro del parque solar. Luego en esa subestación la energía es transformada hasta los 66KV para así ser llevada por línea aérea



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

hasta la Subestación final que establece los términos del contrato para que pueda ser sumada al Sistema Interconectado Nacional.

El segundo terreno adjudicado es de 123 Has ubicado en el departamento de Moquegua en el kilómetro 1190 de la Panamericana Sur a 1410 m.s.n.m. donde se construyó la planta solar denominada “Panamericana Solar” casi al mismo tiempo que se construía la planta solar en Tacna. Esta cuenta con 72 000 módulos solares que suman una potencia instalada de 22MW similar a la de Tacna. Cabe recalcar que ambas plantas fueron construidas con los mismos requerimientos técnicos, así que son prácticamente iguales en toda su estructura física.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPITULO I

## 1. DATOS PREVIOS DE CENTRAL MOQUEGUA FV

### 1.1 Especificaciones Técnicas de la Instalación

Desde el año 2014, mes de diciembre, entró en Operación la central solar Moquegua FV como el tercer proyecto ejecutado, en el Perú, por la empresa Solarpack Perú S.A.C.

Moquegua FV es una central generadora de energía eléctrica a partir de fuente fotovoltaica. Los generadores de este tipo de energía son los que conocemos como paneles solares, en este caso de 305W de potencia pico cada uno, de la marca Yingli Solar, de fabricación china, que son los que se encargan de la transformación de potencial lumínico del sol en energía eléctrica DC limpia y renovable. Estos están montados sobre una estructura metálica en acero galvanizado que se encuentran anclados a la superficie y cuentan con un sistema de seguimiento solar automatizado. Existen mas de 62 mil paneles montados en planta que hace una potencia nominal de 19MW en corriente DC y bajo especificaciones de contrato la planta produce 16MW en corriente alterna que es lo que se entrega al Sistema Interconectado Nacional. Cuenta con 10 Centros de Transformación (CT) de 1,6MW de potencia cada uno de la marca Ingeteam, modelo Power Station, llegando a entregar un total de 46,8 GWh de producción anual promedio. Dentro de cada CT se encuentran instalados 2 inversores trifásicos de 800KW y un transformador de 0,3 /23KV de potencia en



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

relación, cada uno. La barra de conexión es de 23K ubicada en la subestación. Panamericana Solar que luego deriva su producción total al punto de oferta ubicado en la Subestación Ilo 3 con barra de conexión de 138KV.

## 1.2 Normatividades del Proyecto Moquegua F.V.

Las normativas son un conjunto de normas o reglamentos que rigen determinada materia o actividad. En este caso, podemos hablar de la actividad generadora de energía eléctrica. En el Perú existen una serie de normativas para la actividad energética que debe cumplir toda empresa que pretende desarrollarse en este rubro.

### *1.2.1 Normativas Ambientales*

Una de las razones por las cuales se opta por generar energía eléctrica a partir de fuentes fotovoltaicas es, sin duda, la calidad ambiental de la energía resultante. Dado que hoy en día se trabaja mucho por la sostenibilidad del medio ambiente, toda compañía que pretenda trabajar sobre suelo peruano debe presentar estudios acerca del impacto ambiental que genera la actividad que se va a realizar sobre el ecosistema del entorno que ha de sufrir estas consecuencias. Luego, son evaluados estos estudios por la autoridad competente para poder emitir un informe final que, de acuerdo a los estudios, indicarán la operatividad del proyecto.

En este caso, el Ministerio de Energía y Minas junto con la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos son quienes tienen la función de evaluar y aprobar los estudios ambientales referidos al rubro energético, así como, expedir resoluciones en el ámbito de su competencia. En el Decreto Supremo Nº 029-94-EM se aprueba el Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas que, bajo el concepto de desarrollo sostenible, busca normar la relación entre las actividades, en este caso, de generación de energía con el medio ambiente.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Luego de la presentación del estudio ambiental del proyecto Moquegua FV por parte de Solarpack Perú, el Ministerio de Energía y Minas, con Resolución Directoral Nº 348-2012MEM/AAE, aprobó la Clasificación para la Categorización del Estudio Ambiental del Proyecto "Planta Solar Moquegua FV – 16MW", tal como lo describe el artículo 2 de dicho documento.

### *1.2.2 Concesión Definitiva de Generación*

Luego de aprobado los Estudios Ambientales, el 31 de octubre del 2012 el Ministerio de energía y Minas emitió la Resolución Ministerial Nº 496-2012-MEM/DM donde se otorga la concesión definitiva de generación con recursos energéticos renovables a favor de Solarpack Perú en el proyecto de Moquegua FV aprobando el contrato de concesión entre ambas partes.

### *1.2.3 Estudio de Pre Operatividad*

Ya aprobada la concesión para la generación de energía, esto requiere de un punto de conexión común entre la central solar y el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN); tanto para la toma de los parámetros eléctricos del sistema, utilizados para la conversión DC/AC, como para la inyección de la potencia total generada. Esto requiere de un análisis previo de las instalaciones del Proyecto diseñadas para conectarse al SEIN, preservando los criterios de una adecuada operación y seguridad que permita garantizar la continuidad y calidad del suministro eléctrico. A esto se le conoce como Estudio de Pre Operatividad.

Bajo el Reglamento de Transmisión y la Ley de Concesiones se rigen los alcances para el desarrollo de este Estudio con el objetivo de aprobar el equipamiento principal de las Instalaciones diseñadas para la conexión con el SEIN.

El Estudio de Pre Operatividad para Líneas de Transmisión, que es el caso del Proyecto Moquegua FV, debe cumplir con 4 partes principales:



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Resumen Ejecutivo del Proyecto.
- Ingeniería del Proyecto. Aquí se ha de considerar el cálculo de parámetros eléctricos de la línea, coordinación del aislamiento, especificación del Optical Ground Wire (OGW), verificación del diseño del blindaje de las líneas para descargas atmosféricas, condiciones ambientales para 500kV y transposiciones.
- Estudios de Diseño.
- Estudios Eléctricos.

La empresa Solarpack Perú presentó el Estudio de Pre Operatividad del proyecto Moquegua FV que fue aprobado mediante carta COES/D/DP-761-2011 el 13 de diciembre del 2011, para la conexión al SEIN de la central solar fotovoltaica.

### *1.2.4 Concesión Definitiva de Actividad de Transmisión*

Dada la aprobación del Estudio de Pre Operatividad de Proyecto, el 03 de octubre del 2013 el Ministerio de Energía y Minas emitió la Resolución Ministerial Nº 062-2013-EM que otorgó la concesión definitiva para el desarrollo de la actividad de transmisión de energía eléctrica con las siguientes características principales para la operatividad:

**Tabla 1**

*Características Principales de Bienes Indispensables para Operar la Concesión*

| Salida/Llegada de la Línea de Transmisión | Tensión (kV) | Tipo de Línea | Longitud (km) | Ancho de Faja de Servidumbre que Corresponde (m) |
|---|---|---|---|---|
| SE MOQUEGUA FV-SE PANAMERICANA SOLAR | 22,9 | Subterránea | 0,46 | 3 |

*Fuente:* Adaptado de *Ministerio de Energía y Minas*. (2013)

http://www.minem.gob.pe/archivos/legislacion-t8zz90532x48f-RS_062-2013.pdf



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Cumpliendo estos requerimientos, se hace efectivo el permiso para la actividad de transmisión de energía eléctrica producida por la central solar.

### *1.2.5 Operaciones Comerciales*

Con todos los permisos aprobados y las resoluciones pertinentes emitidas, la etapa de obra del proyecto se inició en el segundo trimestre del año 2014 y duraron aproximadamente unos 8 meses. El área de Obras y Proyectos de Solarpack Perú se encargó del Estudio de ingeniería y ejecución de la misma.

Esta etapa terminó a fines del mes de noviembre, ultimando detalles para la conexión al SEIN durante todo el mes de diciembre y realizando pruebas de protecciones conforme a los Estudios de Pre Operatividad.

El 31 de diciembre del 2014 el COES certificó el inicio de operaciones comerciales de la central solar Moquegua FV con carta COES/d/DP-1754 que permitía la venta de energía al estado peruano por parte de la empresa concesionada.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO II

# 2. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL

## 2.1 Descripción Básica del Problema

A finales del año 2014, la empresa Solarpack Perú entregó la central solar Moquegua FV a producción, sumándola al Sistema Interconectado Nacional. Al ser una nueva central solar, con nueva tecnología, requería de un Plan Anual de Mantenimiento especial para que sus equipos se mantuvieran en operación por el mayor tiempo de vida especificado en sus hojas técnicas. El clima de la zona, los diferentes cambios de temperatura y la alta radiación solar que excedía en algunas temporadas a los 1000W/$m^2$ demandaban la elaboración de un plan de mantenimiento distinto a los que había aplicado antes la empresa en diversas centrales solares con las que contaba. Además, requería de la adaptación de los procedimientos antiguos que ejecutaba la empresa en sus experiencias pasadas, dado que, los equipos que ahora se usaban en esta nueva central correspondían a una nueva tecnología en el campo fotovoltaico. Para esto era necesario implementar el área de Operación y Mantenimiento dentro de la central, que se hiciera cargo de la elaboración del Plan Anual de Mantenimiento y de los distintos procedimientos para ejecutarlos.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 2.2 Objetivo General

Explicar, en este trabajo - informe, las labores realizadas por el egresado para mantener el correcto funcionamiento de las etapas de producción de toda la planta para no verse afectada técnica ni económicamente, además de buscar una predicción del comportamiento de los equipos en base al mantenimiento realizado.

### *2.2.1 Objetivos específicos*

- Conocer y desarrollar los procedimientos que se elaboraron para realizar el Plan Anual de Mantenimiento de cada una de las etapas de producción correspondientes a la planta solar Moquegua FV.
- Describir y explicar cada paso a realizar dentro del Plan Anual de Mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, de la planta solar.
- Dar a conocer los aportes profesionales del egresado en cuanto al análisis de datos para mejorar la toma de decisiones con respecto a la información derivada de la ejecución de las tareas del Plan Anual de Mantenimiento.

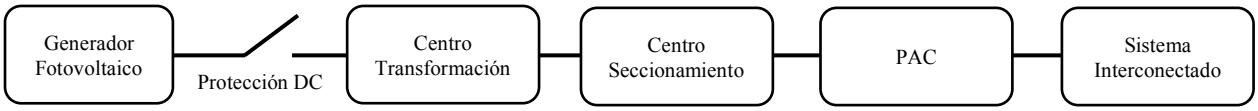
## 2.3 Diagrama de Bloques – Central Solar Moquegua FV

En la central solar Moquegua FV podemos observar distintas etapas en el proceso de producción, donde intervienen dispositivos eléctricos - electrónicos que permiten el desarrollo específico de cada una de ellas.

En esta parte del trabajo queremos mostrar el diagrama de bloques del funcionamiento general de la central y luego poder desarrollar cada una de las etapas.

**Figura 4**

*Diagrama de Flujo de Central Solar Moquegua FV*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*Fuente: Elaboración propia.*

Generador Fotovoltaico es la etapa de producción en donde se transforma la energía lumínica en energía eléctrica de tipo continua a través de los paneles solares. Aquí también podemos considerar los cuadros de primer nivel o tableros de recolección, donde se juntan los string de campo previo a llegar a los inversores.

Centro de transformación es la etapa en la cual encontramos los inversores que se encargaran de la transformación de energía continua a energía alterna para que sea inyectada a la red eléctrica. Los transformadores y celdas MT también están consideradas aquí.

El centro de seccionamiento es la sala donde se encuentran las celdas MT que seccionan los anillos de producción que se tienen en la central solar. Esta es una etapa previa donde se suman toda la producción de campo generada por los centros de transformación y es enviada hacia la Subestación.

El Punto de Acople Común (PAC) es el lugar donde se realiza la toma de los parámetros de la red eléctrica, y es el mismo lugar donde se realizará la inyección de la nueva potencia generada por el campo solar. A este lugar comúnmente lo conocemos como Subestación.

Finalmente, el sistema interconectado es el punto en el cual se vierte toda la potencia generada por la central solar y que será sumada al Sistema Interconectado Nacional. Esto se puede realizar en una subestación de distribución.

En este capítulo desarrollaremos cada bloque mencionado en el diagrama anterior, especificando los equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos que intervienen en cada una de ellas; además, enfatizaremos en sus especificaciones técnicas y cuál es la función que estos cumplen dentro de cada etapa.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 2.4 Generador Fotovoltaico

Consideremos la etapa de captación de energía lumínica proveniente del sol como materia prima para la transformación a energía eléctrica continua, y determinemos los principales elementos que la componen.

### *2.4.1 Paneles Solares*

Son aquellos que se encargan de recoger los fotones emitidos por la luz solar y convertirlos, en un proceso físico - químico, en electrones que luego será recogidos por mallas de aluminio distribuidas alrededor de las células de silicio que conforman el panel solar y llevadas a los terminales a través se las cajas de conexión acopladas a los paneles.

**Figura 5**

*Descripción de Flujo de Energía Solar*




*Nota: La figura muestra el proceso de transformación de energía solar a eléctrica.*

*Fuente: Adaptado de Departamento de Redacción de Contenidos Ingeoexpert. 2019. https://ingeoexpert.com/2019/03/29/que-es-la-energia-solar-fotovoltaica-y-como-se-genera/.*

*Copyright © 2019 Ingeoexper – Formación y cursos especializados en geología, minería e ingeniería civil.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En Moquegua FV los paneles solares son de 305W de la marca Yingli Solar de fabricación china. Se encuentran montados en la planta un total de 62 mil paneles solares con una superficie plana de $2m^2$ por cada panel.

Los paneles solares que se utilizan en planta son del modelo YL305PD-35b, de fabricación china, con las siguientes especificaciones dadas por el fabricante:

*Características eléctricas en STC*

- **Tensión MPP:** 36,1 V
- **Corriente MPP:** 8,45 A
- **Tensión $V_{OC}$:** 45,4 V
- **Corriente $I_{SC}$:** 8,93 A
- **Eficiencia:** 15,4%

*Características eléctricas en NOCT*

- **Potencia Máxima:** 222,5 Wp
- **Tensión MPP:** 32,9 V
- **Corriente MPP:** 6,76 A
- **Tensión $V_{OC}$:** 41,9 V
- **Corriente $I_{SC}$:** 7,22 A

*Características Térmicas*

- **Rango de Temp:** -40 a 85°C
- **Coeficiente Temp de Pmax:** -0,42%/°C
- **Coeficiente Temp de Voc:** -0,32%/°C
- **Coeficiente Temp de Isc:** 0,05%/°C



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Las características térmicas de los paneles solares son muy importantes porque ellas indicarán a qué temperatura máxima podemos trabajar y cuánto afecta a la eficiencia del panel solar.

### *2.4.2 Seguidores Solares*

La planta está equipada con un sistema de seguimiento solar diferente a las plantas mencionadas con anterioridad. Este cuenta con un eje horizontal que consta de varias vigas de torsión unidas entre sí orientadas en dirección Norte-Sur sobre las que se encuentran montados los módulos solares fotovoltaicos en filas de 40 paneles por cada fila, haciendo un número total aproximado de más de 62 mil paneles solares en todo el parque.

**Figura 6**

*Soporte Mecánico de Estructura de Seguimiento*



*Nota: La figura muestra el pilar de soporte sobre el que se asienta la virola que permite el giro de la viga de torsión.*

*Fuente: Elaboración propia.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La parte mecánica del seguimiento consta de un actuador montado en la zona central de todo el sistema que une 13 filas de 40 paneles montados sobre una viga denominada de torsión que realiza el movimiento Este-Oeste de los paneles. Todas estas vigas están unidas por una viga llamada viga de transmisión, que es la que sincroniza el movimiento de todas las filas de paneles al mismo tiempo y con precisión.

El actuador consta de un motor acoplado a un sistema de reducción para darle el torque necesario para que tenga la capacidad de mover toda la estructura unida mecánicamente.

**Figura 7**

*Motor de Accionamiento de Seguidor Solar*



*Fuente: Elaboración propia.*

El reductor está unido a una estructura circular que es la que realiza el movimiento en ambos sentidos (Este-Oeste).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 8**

*Seguidor Solar Circular*




*Nota: La figura muestra el sistema de seguimiento tipo circular que se utiliza en la central Moquegua FV.*

*Fuente: Elaboración propia.*

A comparación de otros proyectos montados en Perú, como los mencionados anteriormente, en cuanto al sistema de giro de paneles, ya no se cuenta con el típico rodamiento circular de boca donde descansaba la viga de soporte de paneles, que hacía una pesada fricción sobre el mismo ocasionando desniveles en la estructura cada cierto tiempo y además requería el engrase de los rodamientos cada 6 meses, lo que hacía que este sistema necesitara mucho trabajo de mantenimiento y la intervención de material que generaba residuos peligrosos y el control de procedimientos para el almacenaje de los mismos.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 9**

*Sistema de Rotación de viga de Torsión de Panamericana Solar*



*Nota: La figura muestra el sistema de rodamiento que se emplea en el movimiento de la viga de torsión en central Panamericana Solar.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Sin embargo, en esta planta se montó un nuevo sistema que consta de un recubrimiento media-lunar en la viga que se asentaba sobre un pilar que tenía un soporte circular. Este recubrimiento está forrado de una película de plástico que permite la rotación de la viga sobre el soporte circular reduciendo al máximo la fricción entre ellos. Por lo cual el movimiento se hace con mayor facilidad y no necesita engrase y ningún tipo de mantenimiento mayor que la revisión de los mismos cada cierto periodo para observar si la película ya se ha desgastado. Si esto sucede entonces se cambia el accesorio tipo media-lunar por uno que contenga la película en buen estado.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 10**

*Sistema de Rotación de Viga de Torsión en Moquegua Fv*



*Nota: La figura muestra el sistema de rodamiento que se emplea en el movimiento de la viga de torsión en central Moquegua FV.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Así además se evitaba el desnivel que se ocasionaba por el constante movimiento de la estructura y los daños mecánicos que esto conllevaba, además esto genera que el mantenimiento de estas estructuras sea mucho más limpio y menos contaminante para el medio ambiente ya que no se utiliza ningún tipo de grasa y por lo tanto no genera ningún tipo de residuos peligrosos.

En cuanto al aspecto electrónico, el sistema de seguimiento está conformado por un tablero de control donde el autómata es un PLC del modelo Modicom TM258LF42DT4L de la marca Schneider Electric, que integra todas las señales necesarias para el correcto funcionamiento de la lógica interna ya configurada por el fabricante. Y un motor de 0.25KW monofásico con caja reductora que permite la suficiente fuerza para mover más de 6 mil paneles que corresponden a un seguidor solar. Además, cuenta con una estructura mecánica circular que permite el movimiento en 110° de la viga de transmisión que une todas las líneas de paneles pertenecientes a este sistema seguidor.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 11**

*Tablero de Control del Sistema de Seguimiento Solar en Moquegua FV*



*Fuente: Elaboración propia.*

Las señales que se ingresan al controlador PLC para la ejecución de la lógica de control son tales como el inclinómetro dentro de la estructura mecánica que devuelve el valor en grados de la posición del seguidor, lo que nos ayuda a conocer la posición exacta en la que está actualmente el seguidor. Además, también se recibe una señal digital del final de carrera que indica el límite máximo de grados que puede alcanzar la inclinación del seguidor (55° a -55°). Esto sirve para que el motor no siga girando la estructura infinitamente porque esto afectaría el sistema. Además, recibe una señal digital enviada de forma automática por el SCADA para ponerse en posición de abanderamiento (0°), cuando la radiación horizontal es mayor que la radiación incidente. Esto nos ayuda a ganar mayor generación de energía sobre todo cuando el clima se presenta nublado por lago tiempo.



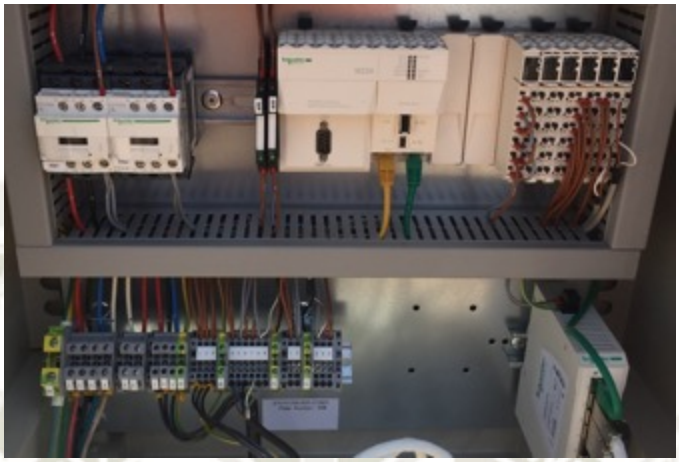
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 12**

*Controlador PLC Utilizado para Sistema de Seguimiento Solar en Moquegua FV*



*Fuente: Elaboración propia.*

El controlador PLC cuenta con dos puertos de comunicación útiles para la comunicación con el SCADA (Vía Ethernet) y la comunicación con el HIM (Vía Modbus TCP) que ayuda a la configuración de los parámetros principales que son necesarios para el desarrollo óptimo del algoritmo interno del PLC que es el que permite el seguimiento de toda la estructura al movimiento de desplazamiento solar. En los primeros proyectos, los sistemas de seguimiento se realizaban con un variador de velocidad haciendo más complejo su configuración para el operador. Sin embargo, con este nuevo sistema de seguimiento, la configuración es mucho más amigable y permite entender con mayor claridad los parámetros involucrados en el movimiento angular del sol y el comportamiento de la estructura.

El HMI es la interfaz que comunica al operador con el equipo para poder configurarlo de acuerdo a las necesidades del sistema. Este es de la marca Schneider Electric modelo Magelis.

Los principales parámetros a tener en cuenta son:

- Zona horaria.
- El punto geográfico de la Ubicación de la planta.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Longitudes de la Estructura.

**Figura 13**

*Sistema HMI para control de Seguimiento Solar en Moquegua FV*



*Fuente: Elaboración propia.*

Tener en cuenta la correcta información a la hora de configurar el PLC ya que de ella depende el cálculo del ángulo de movimiento solar para el desplazamiento de la estructura.

## 2.5 Protección DC

Entre el bloque de generación fotovoltaica y el de transformación de energía se encuentra el bloque de protecciones DC que representa todos aquellos elementos que sirven como aisladores entre la etapa de corriente continua en campo y la etapa de transformación a energía alterna. Estas protecciones están ubicadas físicamente dentro de tableros eléctricos donde se realiza el proceso de reunir toda la energía solar convertida en energía eléctrica por los paneles solares, para poder ser enviada a los Centros de Transformación. Existen más de 62 mil paneles montados en toda la planta, en una configuración de serie – paralelo que nos permite poder realizar la recolección de



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la energía. La configuración está formada por 20 paneles en serie llamadas STRING. A continuación, mostraremos las características eléctricas de un String:

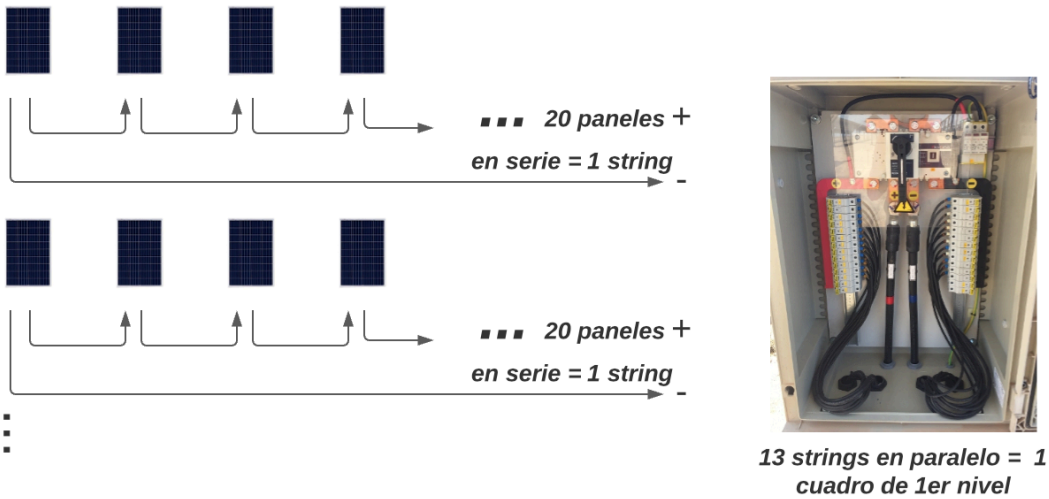
- **Voltaje String:** $20 \times (Vmpp\ de\ Panel) = 20 \times 36{,}1V = \mathbf{722\ Vmpp}$
- **Corriente String:** Al estar los 20 paneles en serie, la corriente será la misma = **8,45 Ampp**
- **Potencia Nominal:** Será la suma Pnom de los 20 paneles= $20 \times 305W = \mathbf{6{,}1KW}$

A su vez se recogen 13 STRING en paralelo, para de esta manera sumar toda la energía convertida, en un tablero eléctrico que cuenta con barras de recolección, llamado CUADROS DE 1er NIVEL. A continuación, presentamos las características eléctricas de un Cuadro de 1er Nivel:

- **Voltaje de Cuadro:** Al estar en paralelo los 13 string, el voltaje será el mismo = **722Vmpp**
- **Corriente de Cuadro:** Será la suma Imax de los 20 paneles= $20 \times 8A = \mathbf{160Amax}$
- **Potencia Nominal:** $13 \times 6{,}1KW = \mathbf{79{,}3KW}$

**Figura 14**

*Configuración de Conexiones de Paneles Solares en Cuadro 1 Nivel*




*Nota: La figura muestra las conexiones de paneles en serie (string) y paralelo de strings en cuadro de primer nivel.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*Fuente: Elaboración propia.*

Por cada agrupación conocida como Centro de Transformación Integral (CTIN) existen 24 cuadros de primer nivel en campo, que ingresan la energía a los inversores ubicados dentro de cada CTIN. Existen dos inversores en cada CTIN; por lo tanto 12 cuadros ingresan su energía a cada inversor. Dentro de los cuadros podemos encontrar algunos elementos básicos de protección DC; por ejemplo, encontramos un fusible ubicado en un portafusible, que protege la línea DC de entrada proveniente de un string (20 paneles en serie) de un valor de 15Adc, teniendo en cuenta que cada string da como máximo unos 9Adc. Además, también contamos con un seccionador DC de 160A de cuadro, con el cual podemos quitar de carga todos los string que entran en el mismo.

## 2.6 Centro de Transformación Integrado

Los Centros de Transformación Integrados (CTIN) son salas donde se realiza el proceso de conversión de energía DC a energía AC; a través de equipos electrónicos como los Inversores DC/AC. Además, cuentan con Transformadores de Potencia que permiten la subida y bajada de potencia para poder trasladar la energía producida hacia el Punto de Acople Común.

### *2.6.1 Inversores Trifásicos*

Los inversores de tipo DC/AC son equipos que se encargan de transformar la energía producida por fuentes de corriente DC o continua a energía AC o alterna con características de uso doméstico para la utilidad de la ciudadanía. Para ello utilizan algoritmos que transformen la señal de entrada DC a una salida de tipo AC. Existen diferentes algoritmos que pueden realizar estos cálculos tales como el PWM que es el más conocido en inversores monofásicos.

Los inversores utilizados en la planta Moquegua FV son de la marca Ingeteam modelo Ingecon Sun 880x345 fabricados exclusivamente para la inversión de energía fotovoltaica en energía AC. Estos inversores utilizan el algoritmo MPPT y son modelos indoor de fabricación



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

española. Están ubicados dentro de una estación de la misma marca, modelo Power Station que cuenta con 2 inversores del mismo tipo más un transformador de potencia de 23KV dentro de la misma estación denominada CTIN de sus siglas Centro de transformación Integrado.

**Figura 15**

*Inversores Trifásicos en Moquegua FV*




*Nota: La figura muestra los inversores trifásicos que llegan dentro de los centros de transformación integrados de la central Moquegua FV.*

*Fuente: Elaboración propia.*

La potencia del inversor es de 880KW y es de tipo modular lo que significa que cuenta con 4 pequeños inversores integrados, cada uno de 220KW, que producen de manera independiente con una entrada de potencia DC en común y que se suman en la salida para entregar su máxima potencia de 880KW. Esto genera una ventaja sobre otros inversores que trabajan la carga total en un solo inversor, ya que, si se hallara alguna falla en estos, sea en la parte de control o de potencia, perderíamos la potencia total producida por el inversor. Sin embargo, en los de tipo modular (4 módulos), al trabajar cada módulo de manera independiente, si se hallara alguna falla en la parte de control o de potencia, solo perderíamos la ¼ parte de producción total del inversor, generando ganancias en tiempos de respuesta a incidencias y disponibilidad del equipo.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La recolección de la potencia DC viene de campo de los paneles solares agrupados cada 13 filas de 40 paneles (Strings) en un tablero eléctrico denominado cuadro de 1° nivel. Luego la carga de 12 tableros eléctricos ingresa por las acometidas DC hacia el inversor acondicionado con fusibles DC de potencia para su aislamiento y protección.

**Figura 16**

*Acometidas de Campo Solar a Inversores*



*Fuente: Elaboración propia.*

Una vez que la carga DC ingresa al inversor se reparte a cada módulo de conversión a través de un contactor DC de potencia. Cuando los módulos han reconocido el mínimo requerido de carga para la transformación, empieza el proceso de inversión.

Este proceso requiere que el inversor se alimente de la red eléctrica industrial para poder copiar los parámetros de la misma y darle al algoritmo de inversión toda la información necesaria para que la conversión sea lo más exacta posible dado que la energía convertida será sumada a la red eléctrica industrial, y si los parámetros no fueran exactamente iguales de ambas señales, entonces se generaría el fenómeno negativo de los armónicos. Es por este motivo que el inversor no puede empezar la inversión si no está conectado a la red Eléctrica.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 17**

*Acometidas de Red Eléctrica a Inversores*



*Fuente: Elaboración propia.*

### *2.6.2 Transformadores de Potencia*

Este es el transformador hermético de llenado integral (éster) de 1,8MVA, de marca Ormazabal, que tiene la función de elevar la tensión de salida de los inversores 345Vac a la tensión de la red de evacuación en este caso 23Kvac. Además, sirve de aislador eléctrico entre la red y los inversores. Está localizado en el compartimento entre la zona de las celdas MT y el compartimento de los inversores.

El transformador de potencia está ubicado dentro del centro de transformación (CTIN), junto al cuarto de celdas. Dado que la temperatura de trabajo es alta se utiliza para la refrigeración, aparte del dieléctrico interno, dos extractores de aire para que el flujo del mismo sirva de refrigeración al ambiente que puede llegar a tener temperaturas por sobre los cincuenta grados si es que no se refrigera bien.

**Figura 18**

*Transformador de 23KV de Centro de Transformación Integrado en Moquegua FV*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



*Fuente: Elaboración propia.*

### *2.6.3 Centro de Seccionamiento*

El Centro de Seccionamiento es el cuarto de celdas MT donde se conectan todos los anillos de producción de Moquegua FV. Existen 3 anillos de producción en Moquegua FV los cuales suman su potencia en las celdas ubicadas en el Centro de Seccionamiento, previo a ser enviados a la subestación de Panamericana Solar para su posterior inyección a la Red eléctrica.

**Figura 19**

*Centro de Seccionamiento de Moquegua FV*



*Nota: La figura muestra las celdas MT que seccionan los diferentes anillos de conexión que existen en Moquegua FV.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*Fuente: Elaboración propia.*

**2.7 Subestación o Punto de Acople Común**

La subestación a la que se conecta el parque Moquegua FV es la misma que recolecta la energía de la planta Panamericana Solar. Se hizo la extensión de una nueva celda MT de la marca Siemens , que es la que se utiliza también en las celdas de los anillos de la planta Panamericana, para recibir la llegada de la línea de producción proveniente de Moquegua FV y para el envío hacia la subestación ILO 3, donde termina la intervención de Solarpack como empresa y comienza la del Estado (COES), se suma la potencia de ambas plantas y se envían en una sola línea trifásica aérea. La línea que lleva la potencia generada desde la subestación Panamericana hasta Ilo 3 es de 138KV, con un aproximado de 13 kilómetros de distancia entre ambas subestaciones.

**Figura 20**

*Subestación Panamericana Solar*



*Nota: La figura muestra las celdas MT de seccionamiento de la Subestación Panamericana Solar, a la que está conectado la central Moquegua FV.*

*Fuente: Elaboración propia.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 2.8 Topología de Red

La red de comunicaciones de la planta solar Moquegua FV, está distribuida en 3 anillos principales que unen los 10 Centros de Transformación (CTIN) más el Centro de Seccionamiento (CS), que a su vez cuenta con una red interna que comunica diferentes equipos de campo en cada CTIN. Estas redes de comunicación sirven para llevar información al SCADA de planta y al COES (entidad reguladora del Estado peruano). El protocolo de comunicación que se usa para conexión de ambos puntos es el de radio enlace. A continuación, describiremos las mencionadas.

### *2.8.1 Anillos Principales*

La red interna está dividida en 3 anillos que comunican las 10 agrupaciones de producción (CTIN), para poder obtener los datos necesarios, para realizar el análisis correspondiente. La unión de estos anillos está dada por fibra óptica enterrada que va recorriendo todo el campo uniendo cada CTIN de acuerdo a su agrupación a través de conductos subterráneos. El tipo de fibra que se usa en este caso es SM 50/125 OM2.

Los 10 CTIN están enumerados respectivamente en su ubicación geográfica. A continuación, explicaremos la distribución de los anillos de comunicación que se encuentran en planta.

ANILLO A1: Este anillo une los CTIN 1, 2, 5, 8, 10, CS y Oficinas de control.

ANILLO A2: Une los CTIN 5, 3, 4, 7, 6, 9, 8

ANILLO A3: Este anillo comunica Oficinas de control, CS y Subestación Panamericana.



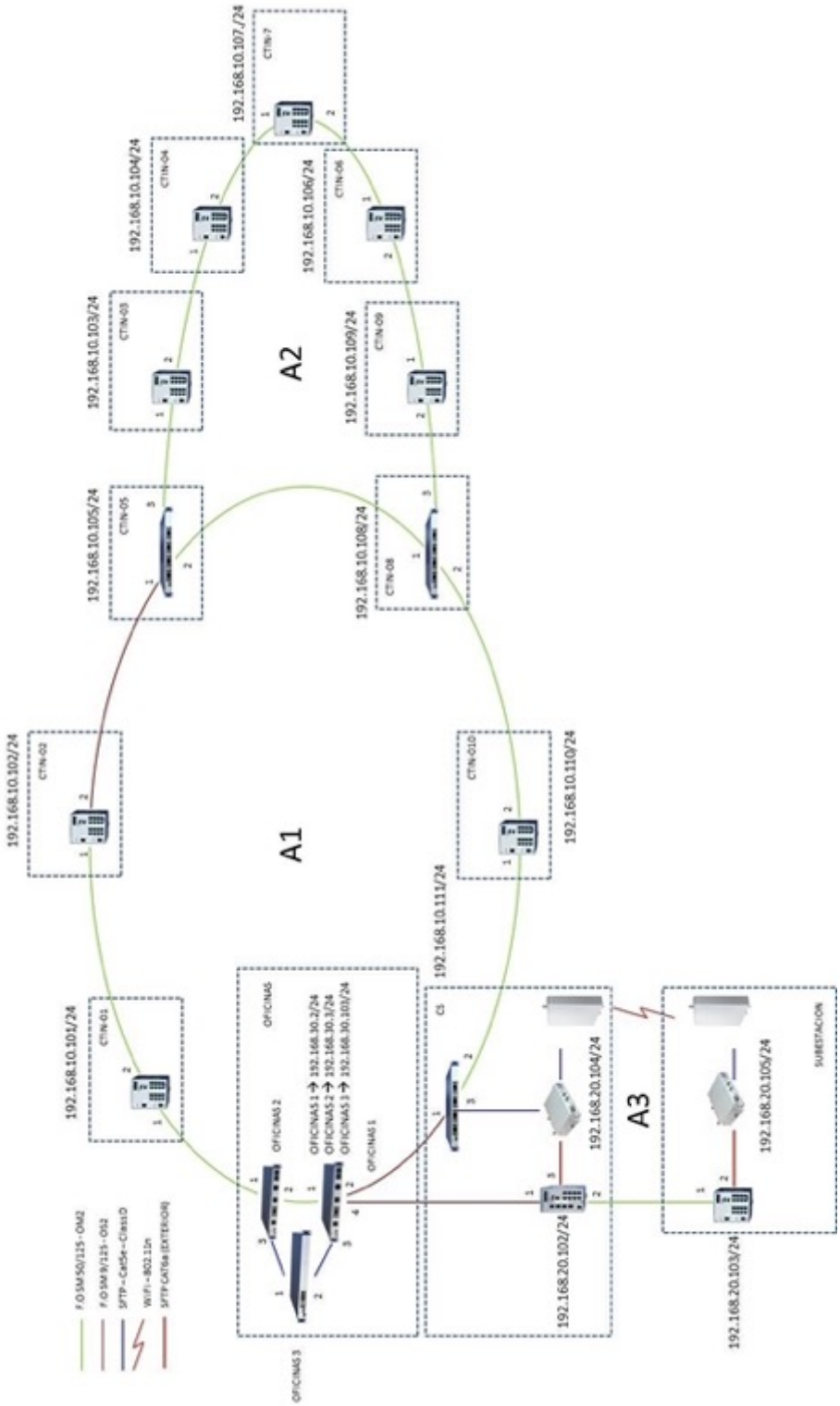
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 21**

*Red de Anillos de Comunicación en Moquegua FV*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Todos los equipos pertenecientes a la red interna llegan al SCADA para transmitir algún dato de relevancia para los análisis posteriores, y es allí donde podemos visualizar y realizar algún tipo de control sobre algunos equipos.

### *2.8.2 Red de sector – Centros de Transformación*

Dentro de cada CTIN también podemos encontrar una red VLAN que conecta todos los equipos pertenecientes a esa agrupación, encargados del proceso de producción, que enviará a través de los anillos de fibra óptica todos los datos obtenidos hacia el SCADA principal.

Esta comunicación se realiza en la parte física por cable Ethernet utilizando el protocolo del mismo nombre (TCP/IP). Dado que las distancias entre equipos dentro de un CTIN no superan los 100 metros, es posible utilizar este protocolo de comunicación.

Los equipos que se comunican dentro de la arquitectura de sector o CTIN son principalmente:

- LOS ACTUADORES: Motores que realizan el seguimiento solar.
- LOS INVERSORES: Equipos que se encargan de la conversión DC/AC.
- CÁMARAS DE VIGILANCIA: Son equipos de protocolo de seguridad en este tipo de estaciones.
- EQUIPOS DE COMUNICACIÓN: Tales como Switches gestionables, contadores de energía, Sistemas UPS y concentradores de señales.

Todas estas señales llegan a las oficinas de control a través de las comunicaciones de los anillos por fibra óptica.



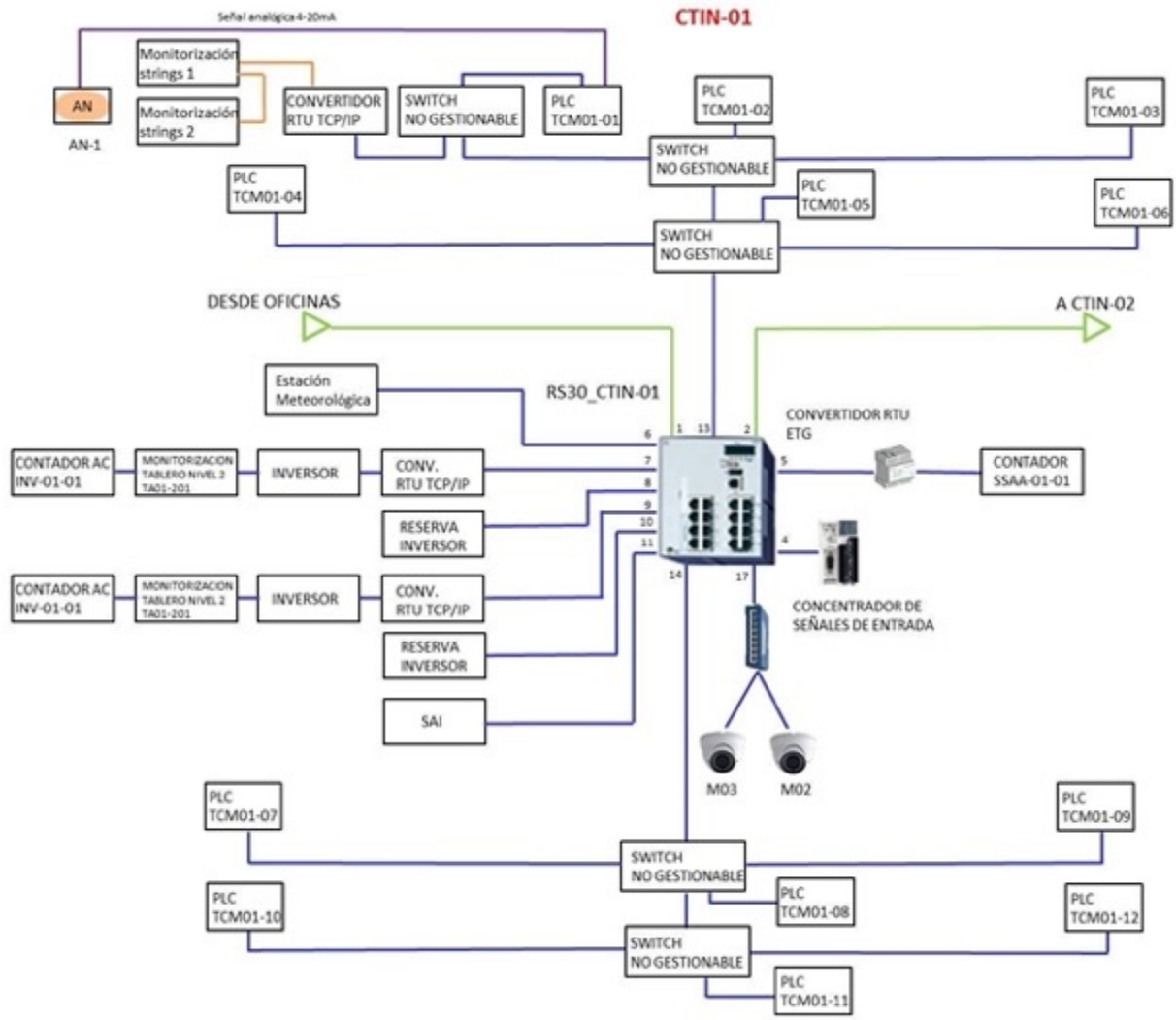
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 22**

*Arquitectura de Comunicación de CTIN 1 en Moquegua FV*




*Nota: La figura muestra la arquitectura de comunicación de los equipos dentro de un centro de transformación en la central Moquegua FV. En este caso, como ejemplo, el CTIN 1.*

Cada uno de los elementos que son parte de la topología de red de un Centro de Transformación, están conectados a la misma para realizar la respectiva supervisión de los datos; esto se realiza a través de un sistema de Supervisión y Control de datos (SCADA), que permite, no solamente la visualización de los mismos para su análisis, sino que también el control de alguno de ellos de acuerdo a necesidad evaluada de los resultados obtenidos.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A continuación, veremos el Software que se usa en la central Moquegua FV para realizar esta supervisión de datos y el posterior análisis de los mismos.

## 2.9 Sistema de Control y Supervisión de datos (SCADA)

El sistema de control y adquisición de datos que usamos en la planta es del proveedor de software PowerStudio que nos brinda una interface amigable con el operador y muy clara para su comprensión y usabilidad. Además, es muy sencillo su modo de configuración para poder agregar variables y a la vez poder usarlo de manera remota en cualquier ordenador desde cualquier parte del mundo.

A continuación, presentaremos el SCADA de la planta Moquegua FV y describiremos cada una de sus pantallas y el análisis que se hace de ellas:

### *2.9.1 Pantalla de inversores:*

En ella podemos observar los parámetros principales que se monitorean de los inversores en plena producción tales como Tensión y corriente de entrada, tensión y corriente de salida y la Potencia AC.

**Figura 23**

*Pantalla de Inversores SCADA Moquegua FV*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

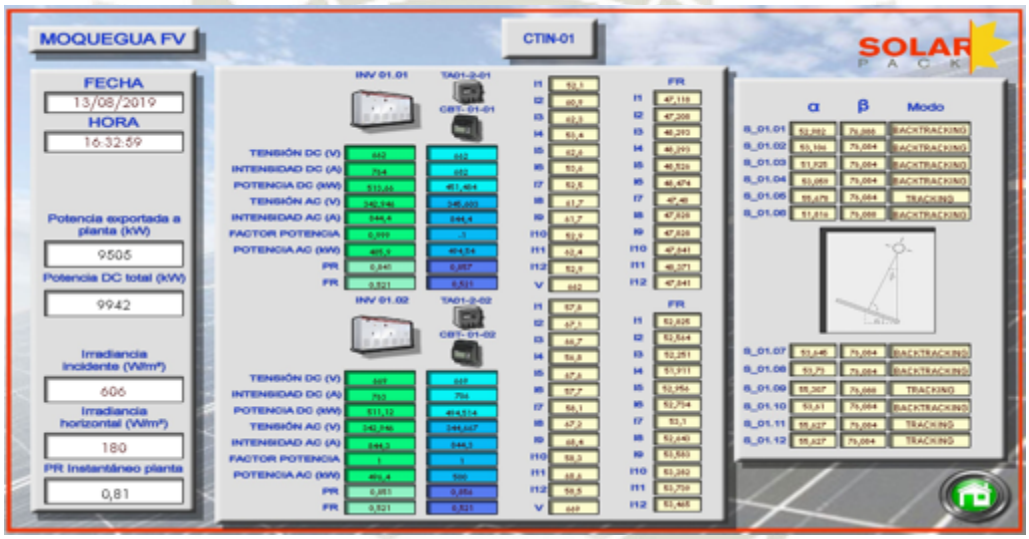
*Fuente: Elaboración propia.*

### *2.9.2 Pantalla de CTIN:*

En esta pantalla podemos ingresar a ver más parámetros del inversor tanto como del contador de cada inversor, además de la monitorización de corriente de los cuadros de 1 nivel y el ángulo de seguimiento de cada seguidor dentro del Ctin que seleccionemos.

**Figura 24**

*Pantalla de CTIN 1 SCADA Moquegua FV*




*Fuente: Elaboración propia.*

### *2.9.3 Pantalla Estación METEO:*

En esta pantalla podemos observar y monitorear los diversos valores de la meteorología de campo que nos devuelven datos como la velocidad del viento, la temperatura ambiente, temperatura de paneles y radiación solar.

Estos datos nos sirven para poder evaluar la performance de cada uno de los inversores con respecto a la climatología que tengamos cada día, ya que, influye directamente en la eficiencia de cada uno de los equipos. A este análisis le denominamos INDEX.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 25**

*Pantalla de Estación Meteorológica de Moquegua FV*



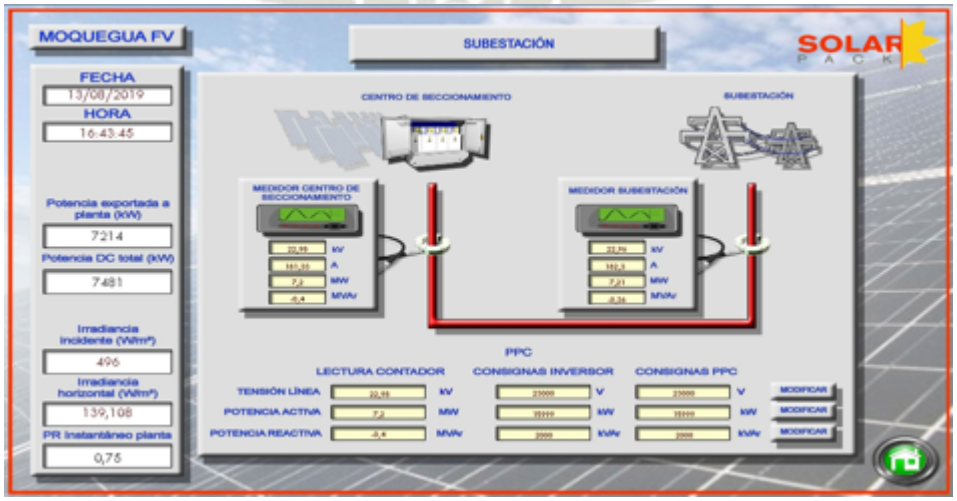

*Fuente: Elaboración propia.*

### *2.9.4 Pantalla de Sub Estación:*

Esta pantalla muestra datos de los medidores dentro de la sub estación que nos dan valores como los de Potencia activa o reactiva y tensión de línea principalmente.

**Figura 26**

*Pantalla de Subestación Panamericana Solar*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*Nota: La figura muestra los valores de los contadores a la salida del Centro de Seccionamiento en Moquegua FV y la entrada a Subestación Panamericana Solar, así como, valores generales de la Subestación.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Estas son las principales pantallas de navegación del SCADA Moquegua FV para la monitorización del correcto funcionamiento de los equipos dentro de la planta además de la evaluación de los valores que muestra para el informe de análisis de datos que serán mencionados más adelante en este mismo documento. Cabe recalcar que el SCADA es mayormente de monitoreo. Solo se puede controlar el seguimiento de los seguidores de planta desde el SCADA en usuario administrador y con algunas restricciones tales como el movimiento absoluto de este a oeste (de -55° a 55°) o el abanderamiento de los mismos (0° - horizontal) pero no cada ángulo de movimiento y además no cada seguidor de manera independiente sino todos los seguidores de un Ctin a la vez (todos los seguidores que conforma un Ctin son 12). El SCADA también presenta los eventos y alarmas que suceden en planta sobre los equipos monitoreados tales como seguidores e inversores. Sin embargo, hacía falta estar frente al computador para poder ver el detalle de cada uno.

La última herramienta usada del SCADA fue el envío de correos en caso de alarmas que afectaran la producción de planta. La configuración la realizó el egresado utilizando el mismo software y el servidor de correos de la compañía. Esta herramienta nos facilita el trabajo y además nos mantiene al tanto de lo que sucede en planta sin perder ningún detalle en todo momento.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPITULO III

# 3. DESARROLLO DE EXPERIENCIA PROFESIONAL EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MOQUEGUA FV

## 3.1 Módulos Solares

Los módulos solares o también llamados paneles solares son placas conformadas por las llamadas células solares que son las que captan los fotones de la luz solar y la convierten en electrones para generar la energía eléctrica. Luego estos son recolectados por pequeños electrodos internos colocados sobre cada célula y conducidos a través de cable eléctrico de cobre o aluminio hacia sus terminales. La marca utilizada en Moquegua FV es Yingli Solar que es el proveedor de los paneles solares con los que trabajamos. El material de la célula es de sicilio policristalino y la estructura es de aluminio. Mide cerca de los 2x1m y no pesan más de 20 kg. Son prácticos para el montaje dado que la estructura del panel ya viene acondicionada para ser montada sobre una estructura en U. La potencia pico del módulo es de 305W, la tensión en circuito abierto es de 45V y la corriente de ruptura es de 8.45A. Estos son datos importantes para los análisis de la performance de los mismos.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 27**

*Módulo Solar Yingli de 305W en Moquegua FV*



*Fuente: Elaboración propia.*

***3.1.1 Mantenimiento Preventivo:***

Consignaremos 3 tareas principales en el mantenimiento preventivo de módulos solares:

**Revisión Visual.** Esta tarea es ardua dado que hay que revisar visualmente los más de 62 mil paneles que están montados en planta. La revisión debe ser, forzosamente, uno por uno y con detalle para poder encontrar anomalías que pudieran perjudicar la eficiencia del módulo. Al estar los módulos a la intemperie, expuestos a diferentes climas adversos como el calor intenso o en las noches las bajas temperaturas y la humedad, presentan, al pasar del tiempo, algunos defectos físicos sobre las células, notorios al ojo humano que perjudican su performance adecuado.

Tenemos una clasificación de defectos físicos de módulos solares que hemos hallado con frecuencia como resultado de nuestra revisión, y son:



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 28**

*Defectos Encontrados Sobre Módulos Solares en Moquegua FV*




*Fuente: Elaboración propia.*

**Termografía.** Las células de los paneles solares, al estar expuestas gran parte del día a la intensa luz del sol, se van degenerando y perdiendo la propiedad de transformación equivalente de energía solar a energía eléctrica. Esto provoca que esa transformación no sea equitativa, por lo tanto, los niveles de corriente bajan considerablemente.

Al estar todas las células, de un panel solar, en serie; si una de ellas sufriera el daño mencionado con anterioridad, se generaría en ese punto una obstrucción de la corriente que pasa por todas las células, provocando una elevación de la temperatura estándar que generaría disipación de la energía, teniendo como resultado que el panel solar baje su rendimiento considerablemente.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

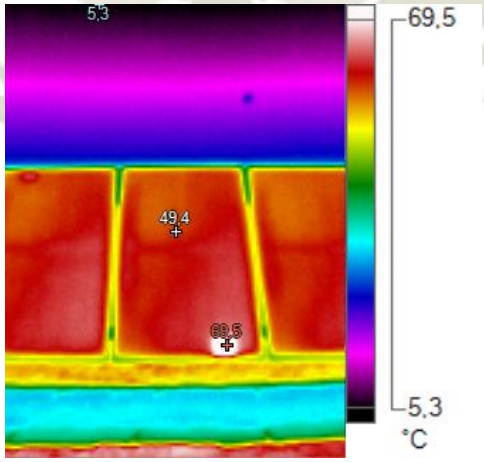
Esta falla, al ser imperceptible al ojo humano, necesitamos de un equipo que nos ayude a identificarla. Para eso utilizamos la cámara termográfica.

Una cámara termográfica contiene una lente especial que forma las imágenes a partir de los distintos niveles de temperaturas que presentan los objetos y de las emisiones de calor que se puedan captar de ellos. Esto nos permite identificar en un panel solar si alguna célula tiene mayor emisión de calor a comparación de la media registrada por la cámara y definir cuánto está afectando esta anomalía al comportamiento del módulo. A este trabajo preventivo le denominamos termografía de paneles.

Una de las fallas que podemos identificar en el proceso de termografiado es los Puntos Calientes, que es cuando notamos, a través de la cámara, un punto de temperatura más alto dentro del panel solar. Esto significa que esa célula está dañada y por eso presenta esa desviación de temperatura.

**Figura 29**

*Termografía de Módulos Solares Identificando Punto Caliente*




*Nota: La figura muestra una termografía de módulo solar donde se identifica un punto caliente en 20 grados centígrados mayor a la media del panel.*

*Fuente: Elaboración propia.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La temperatura de trabajo del panel solar es muy importante porque dependiendo de ella podremos determinar cuánto está afectándole a su eficiencia. Las características térmicas del panel nos ayudarán a calcular, mediante la fórmula del fabricante, la pérdida de la eficiencia. Por ejemplo: En el panel de la Figura 29 podemos observar que la temperatura de trabajo es de 49.4°C. para poder hallar la variación de temperatura con respecto de los valores STC (25°C) aplicamos la siguiente formula: $\boldsymbol{\Delta T = 49.4 - 25 = 24.4°C}$. Esa diferencia de temperatura afecta la eficiencia del panel y se puede calcular si tenemos el coeficiente temp. Voc, que en para este caso es -0,32%/°C y el Voc que sería 45,4V. Entonces tenemos: $\boldsymbol{-0,32\%/°C \times 45.4V = -0,15V}$. Esto significa que el panel pierde 0,15V por cada grado de diferencia de temperatura. Entonces la pérdida total de Voltaje, para el panel de la Figura 29 sería: $\boldsymbol{-0,15V \times 24.4°C = -3.66V}$, pero si hay un punto caliente, entonces este valor aumentará y la pérdida de Voltaje será mayor; por lo tanto, la potencia que genere ese panel será menor.

Otra de las fallas que podemos identificar gracias a este preventivo es lo que denominamos Diodos Quemados. Los paneles solares utilizan diodos como sistema de protección para evitar algunas fallas como corrientes contrarias, sobrecorrientes o sobretensiones. Se utilizan 3 diodos dentro de un panel, por lo cual cada uno de ellos administra la tercera parte de la energía de un panel y cuando un diodo se quema, la tira de células en serie conectadas a este diodo deja de producir por haber salido de carga cuando se abrió el diodo, por lo tanto, el panel pierde eficiencia. Esto lo podemos identificar en la termografía como una franja de células que tienen una temperatura mayor a la media.



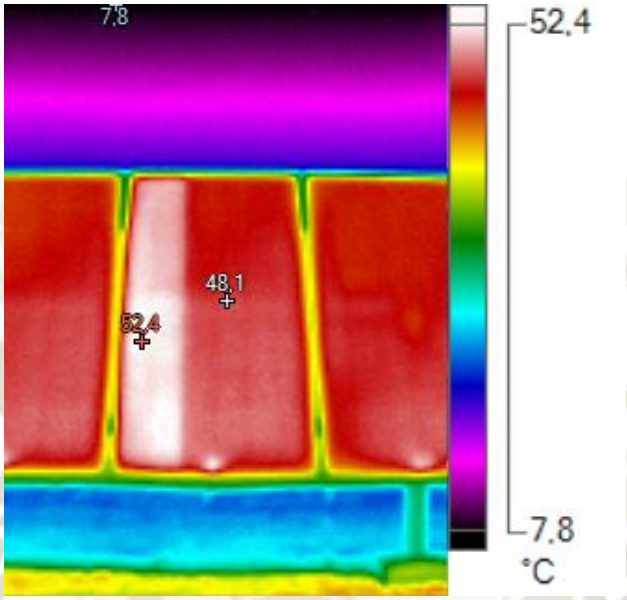
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 30**

*Termografía de Módulos Solares Identificando Falla de Diodo*




*Nota: La figura muestra la termografía de un módulo solar en el cual se a identificado la falla de un diodo que probablemente esté fundido.*

*Fuente: Elaboración propia.*

**Trazado de curva IV.** La materia prima utilizada para construcción de paneles solares, cuenta con ciertas características que le permiten un óptimo funcionamiento en cuanto al proceso de conversión de energía solar a eléctrica. Pero la rutina diaria del módulo, con el pasar del tiempo, hace que las características de este material vayan perdiendo sus niveles iniciales, provocando así deficiencias en su performance y una notable baja de eficiencia de trabajo del panel solar.

Este fenómeno se conoce en fotovoltaica como degradación de células solares o de paneles solares. En definitiva, todos los paneles que están montados en planta, con el pasar del tiempo, se irán degradando. Por ello es importante medir hasta qué niveles de degradación podemos permitirnos el lujo de conservarlos en carga, sin que esto afecte a la producción general de la planta. Para realizar esta tarea, tenemos un equipo que nos ayuda a medir el porcentaje de



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

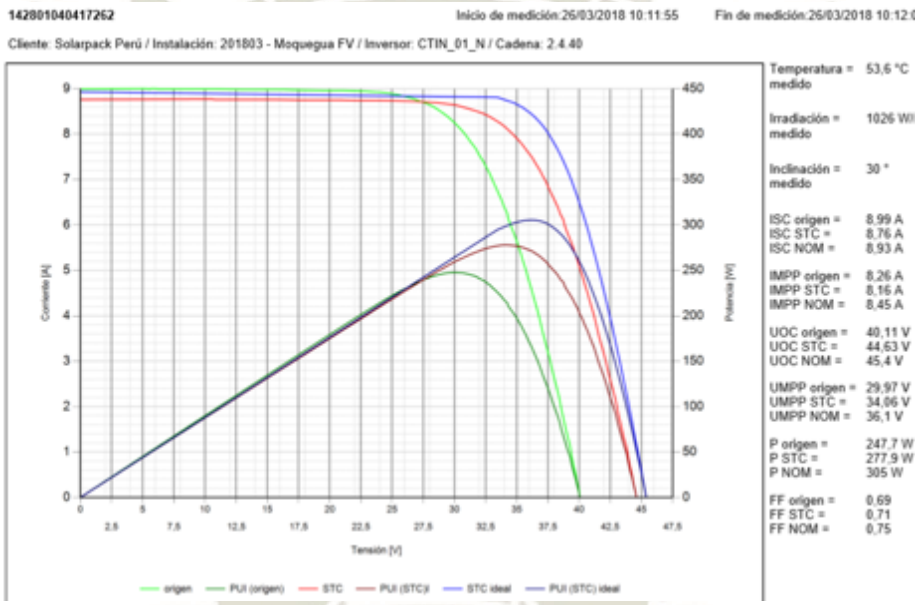
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

degradación de los paneles, utilizando un algoritmo que se vale de las variables básicas a considerar en un panel solar (curva IV) y de las variables medioambientales que se presenten, con respecto al STC. El equipo se conecta en paralelo con el panel solar para poder medir todos los valores de fábrica del mismo y luego nos mostrará una gráfica que, utilizando el software del equipo, podremos identificar el porcentaje de degradación.

**Figura 31**

*Gráfica de Potencia de un Módulo Solar*




*Nota: La figura muestra la gráfica de la potencia de un módulo solar, basado en la corriente de cortocircuito y el voltaje de apertura, proporcionados por el fabricante.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En esta imagen vemos contrastados los valores de potencia Nominales, STC y el valor real del panel solar, medidos en Watts. En el caso nuestro el valor nominal sería de 305W, sin embargo, el valor STC de potencia producido por el panel debería acercarse al valor nominal, pero es de 277,9W. Esa diferencia es el porcentaje de degradación que ha sufrido el panel en su tiempo de uso.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

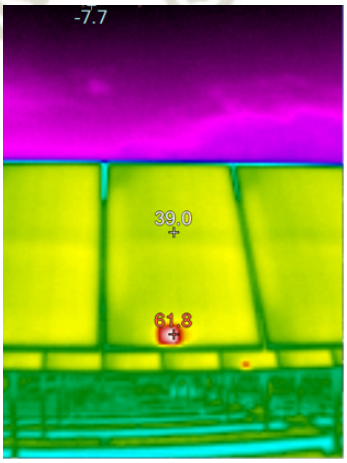
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Existen diferentes razones por las cuales un panel solar sufre degradación en sus células. Alguna de ellas pueden ser defectos como los mostrados en la Figura 28, pero la principal razón esta dada por los puntos calientes que se presentan en las células. A medida que la temperatura en estas células va creciendo, la eficiencia del panel se va reduciendo por el daño que se está ocasionando en la célula dada las altas temperaturas. Esto hará que al reflejar la curva de potencia del panel observemos una degradación notable que sugerirá el cambio inmediato por un panel solar nuevo. A continuación, mostraremos algunos estudios de cómo afecta los puntos calientes a la eficiencia del panel, degradando su material, y por qué razón el límite de temperatura permitida entre el punto caliente y la temperatura promedio del panel no debe superar los 20 grados de diferencia para no afectar en demasía la producción total del panel.

Veamos el siguiente ejemplo real: Tenemos el panel solar de código 1.4.9.19, que representa la ubicación en la que está montado en campo dentro de la central solar, de cuya termografía obtenemos un punto caliente de 61.8 grados centígrados en comparación con la temperatura promedio del panel que se ubica en 39 grados centígrados, lo que hace una diferencia de 22.8 grados centígrados.

**Figura 32**

*Termografia del Panel Solar 1.4.9.19*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

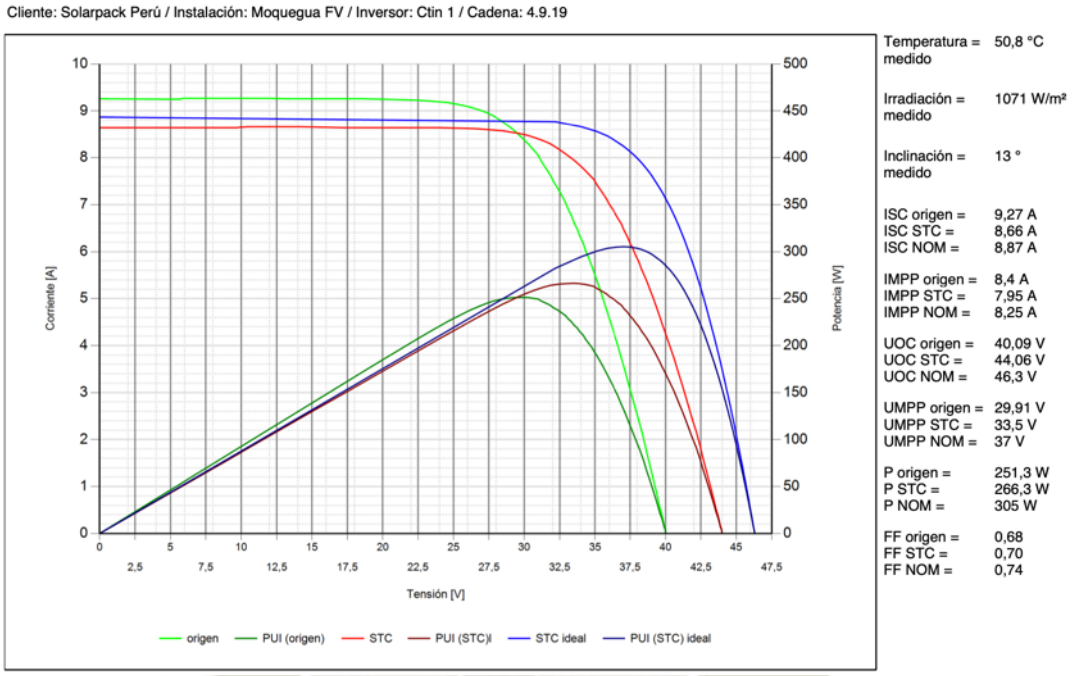
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*Fuente: Elaboración propia.*

De este panel trazamos la curva de potencia.

**Figura 33**

*Curva de Potencia del Panle Solar 1.4.9.19*




*Nota: La figura muestra la curva de potencia del panel solar 1.4.9.19 donde se aprecia la degradación que ha sufrido, ocasionando la pérdida de la eficiencia en producción.*

*Fuente: Elaboración propia.*

De esta gráfica, obtenida mediante instrumentación de campo (Trazador de curvas TRIKA), podemos ver que la potencia STC, que por teoría debería ser la misma que la potencia nominal, está por debajo de los 305W que corresponden a la potencia nominal. En la siguiente ecuación podemos observar el porcentaje de degradación que esto representa:

**Ecuación 1:** Cálculo del Porcentaje de Degradación de un Panel Solar.

$$\left(\frac{Pstc}{Pn} \times 100\right) - 100$$



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

Pstc: Potencia obtenida de Condiciones de Prueba Estándar en Watts

Pn: Potencia Nominal del Panel en Watts

Aplicando esta ecuación para el ejemplo anterior obtenemos que:

$$\left(\frac{266.3}{305} \times 100\%\right) - 100\% = -12.69\%$$

La degradación que ha sufrido el panel debido a la alta temperatura presente en el punto caliente es de 12.69% de eficiencia perdida. Según el fabricante, la degradación límite permitida de un panel solar para mantenerlo en actividad es de <10% de la potencia nominal. Cuando la temperatura del punto caliente excede en 20 grados de diferencia a la temperatura media del panel, la degradación supera el 10% permitido, como lo observamos en la Tabla 2, por esta razón se realiza el cambio de panel solar a esa temperatura. A continuación, se presenta una tabla con algunos estudios realizados de acuerdo a la temperatura de puntos calientes hallados en los paneles solares.

**Tabla 2**

*Datos de Degradación de Paneles Solares*

| Ubicación | Temperatura Media (°C) | Temperatura P.C. | P_STC (W) | P_NOM (W) | Degradación % |
|---|---|---|---|---|---|
| **1.5.37** | 50.1 | 55.3 | 290 | 305 | **-4.92** |
| **2.1.33** | 55.5 | 60.2 | 288.7 | 305 | **-5.34** |
| **3.8.38** | 51.9 | 56.9 | 287.9 | 305 | **-5.61** |
| **4.9.19** | 50.8 | 60.9 | 284.3 | 305 | **-6.79** |
| **5.11.40** | 52.8 | 63 | 285.1 | 305 | **-6.52** |
| **6.4.3** | 48.7 | 59.1 | 283.8 | 305 | **-6.95** |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **7.2.34** | 55.2 | 70 | 279.8 | 305 | **-8.26** |
| **8.13.39** | 49.7 | 65.3 | 275.8 | 305 | **-9.59** |
| **9.2.17** | 51.3 | 66.5 | 277.6 | 305 | **-8.98** |
| **10.3.32** | 50.3 | 70.5 | 270.4 | 305 | **-11.34** |
| **11.5.25** | 47.8 | 70.2 | 263 | 305 | **-13.77** |
| **12.12.14** | 43.1 | 71.7 | 254.6 | 305 | **-16.52** |

*Nota: La tabla muestra datos de la degradación de paneles con respecto de la temperatura de los puntos calientes hallados en los mismos. (2021)*

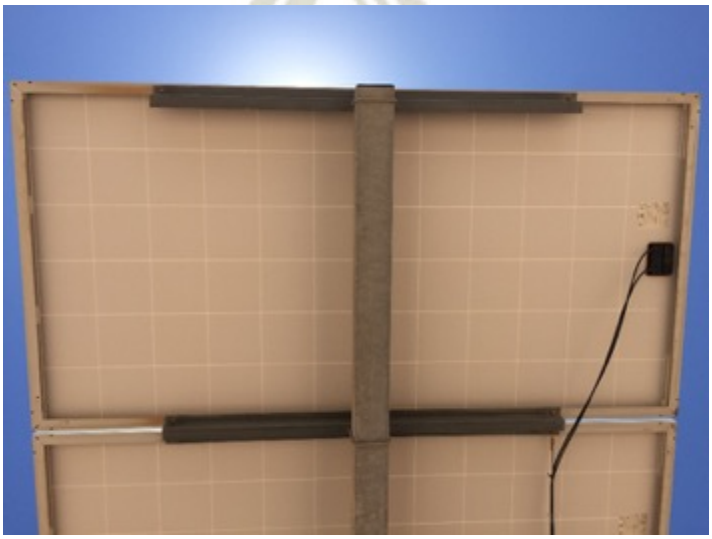
*Fuente: Elaboración propia.*

### *3.1.2 Mantenimiento Correctivo:*

Como mencionamos en los 3 preventivos que se realizan en planta Moquegua FV, si el resultado es negativo entonces se procederá a realizar el correctivo correspondiente. Para el caso de los módulos solares o paneles solares, en cualquier preventivo, siempre se presentará el cambio de panel como correctivo aplicado a la solución de la avería.

**Figura 34**

*Sistema de Montaje de Módulos Solares en Moquegua FV*





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*Fuente: Elaboración propia.*

La sujeción mecánica del módulo solar a la estructura, es como se mencionó con anterioridad, muy sencilla. Esta montado sobre dos rieles tipo U y sujetado a ellos por pernos con truecas y volandas de 10mm (4 por módulo).

El trabajo se ha de realizar de dos personas, para poder llevar el peso permitido de carga sin riesgo de lesión.

**3.2 Cuadros de campo**

En la nomenclatura utilizada por la empresa española que es dueña del proyecto Moquegua FV, encontraremos el nombre cuadros de campo para referirse a los distintos tableros eléctricos y de control que se encuentran situados dentro del parque fotovoltaico. Existen 3 tipos de cuadros Eléctricos que son los que pasaremos a describir a continuación.

***3.2.1 Cuadros de 1er Nivel***

Los cuadros o tableros eléctricos de primer nivel son los principales dentro de los cuadros de campo, ya que hay 240 en el parque fotovoltaico de Moquegua FV y son muy importantes para el proceso inicial de recolección de energía de campo hacia su proceso de transformación. Es importante mencionar que están distribuidos uniformemente en toda la planta (24 cuadros por CTIN y 10 Ctines por planta), lo que hace la suma total de cuadros mencionados.

Los cuadros de 1 nivel se comportan en campo como cuadros colectores de la energía que los paneles entregan a través de su conexión en serie denominada string (20 paneles en serie). Estos cuadros recolectan la energía de 12 a 14 string´s por cuadro. Por cada seguidor de planta existen 2 cuadros de primer nivel. Esto quiere decir que existen 12 cuadros de 1 nivel para cada inversor, cumpliendo así el máximo de entradas de campo permitidas por los inversores. Los string´s se cablean de campo hacia los cuadros con cables acerados de 4mm que van por bandeja



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

hasta llegar a las acometidas del cuadro y allí, previo fusible de protección, se conectan a unas barras colectoras (en positivo y negativo), que al accionar un seccionador de 160A es enviada esta energía hacia la entrada correspondiente dentro del inversor.

**Figura 35**

*Cuadro de Campo de 1 Nivel en Moquegua FV*



*Fuente: Elaboración propia.*

**Preventivo.** Consideraremos 2 tareas básicas como principales labores preventivas correspondientes a los cuadros de campo.

***Revisión preventiva.*** Los cuadros de primer nivel en su interior cuentan con pocos componentes eléctricos para su revisión. De los que podemos nombrar, se hallan: un seccionador de 160A on/off, fusibles de 15A a 1000Vdc con sus respectivos portafusibles, Barras de cobre colectoras con dimensiones adecuadas para la circulación de más de 100A, descargador de sobretensión conectado a tierra para cualquier tipo de descarga y cables de conexión provenientes de los string's.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

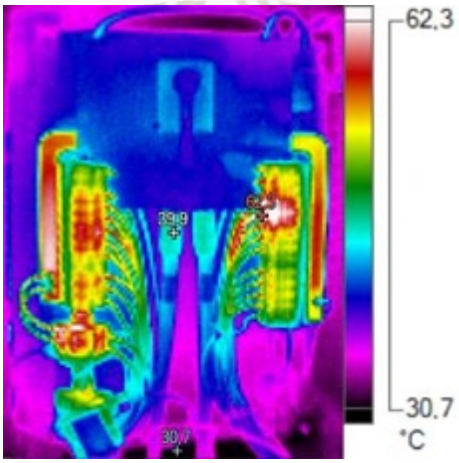
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ya que los componentes son pocos y cualquier avería que pudiera tener alguno de estos elementos es notorio a simple vista, la revisión se hará visual primeramente y luego se realizará un reajuste de sujeciones mecánicas como para prevenir cualquier falso contacto que pudiera presentarse. Además, al estar los cuadros a la intemperie, se ensucian con facilidad por los constantes remolinos de polvo que se levantan en la zona. Por esta razón también se realiza la limpieza de los mismos.

***Termografía.*** Las altas corrientes que circulan en el interior de cuadro, pueden alcanzar los 120A en corriente continua, lo que genera gran temperatura dentro del cuadro y al haber tantas sujeciones mecánicas en los conductores de corriente, es posible que se presenten puntos calientes que pongan en riesgo el funcionamiento adecuado del sistema y también al operador que trabaja en ellos. Para evitar daños mayores, se realiza, periódicamente, una inspección de temperatura dentro de los cuadros de 1 nivel llamada termografía interior de cuadros. Esto busca encontrar posibles sujeciones con ajuste deficiente que genera puntos calientes o alguna avería en los conductores que pueda generar los mismos.

**Figura 36**

*Termografía de Cuadro de 1 Nivel*




*Fuente: Elaboración propia.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Correctivo.** En el caso de los cuadros de 1er nivel, los correctivos más comunes que se realizan son: el cambio de fusibles quemados por altas temperaturas, el cambio de portafusibles quemados por altas temperaturas y la reposición de cableado dañado por altas temperaturas.

Estas altas temperaturas son provocadas por malas sujeciones mecánicas o probablemente portafusibles en deterioro. Cabe resaltar que la principal razón de fusibles quemados no es la sobretensión en los string, sino las altas temperaturas sobre los mismos.

### *3.2.2 Cuadros Tracker*

En los Tracker existen dos tipos de mantenimiento: el mecánico y el eléctrico o electrónico. En el mantenimiento mecánico se revisa toda la estructura mecánica que interviene en el movimiento del seguidor y todos los parámetros que se deben tomar en cuenta para el correcto funcionamiento del mismo.

**Figura 37**

*Seguidor Solar STInorland de Tipo Circular*



*Fuente: Elaboración propia.*



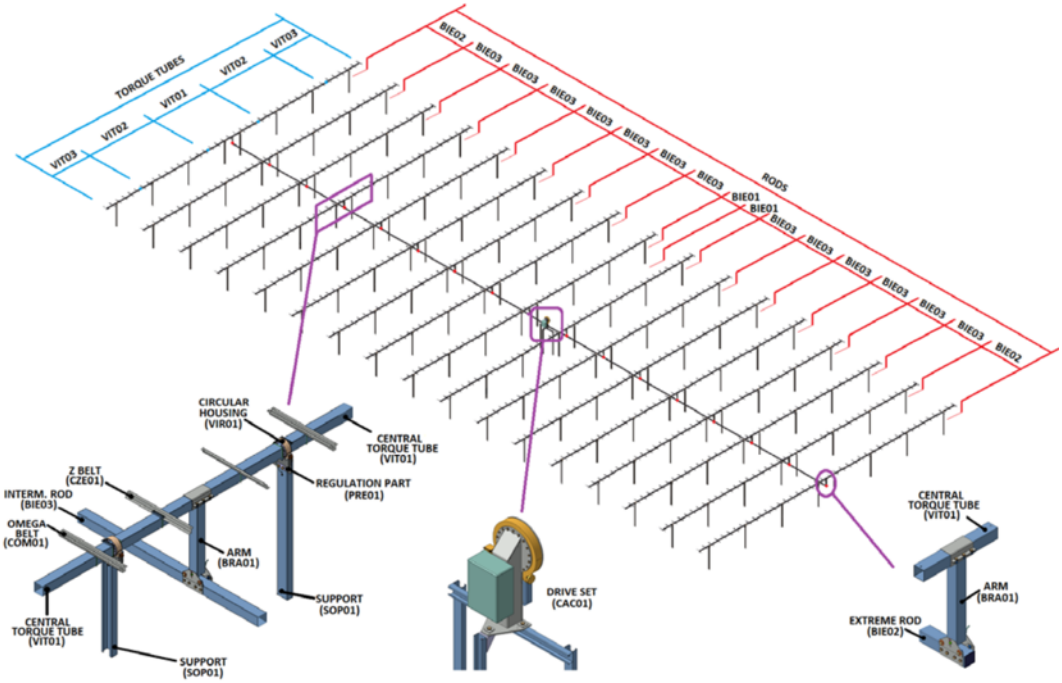
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 38**

*Vista General del Seguidor Solar Moquegu FV*




*Nota: Vista general de las partes mecánicas que conforman un Seguidor Solar.*

*Fuente: Imagen extraída del manual STI-H1250 MU.*

La moto reductora es la que ejecuta el movimiento que permite obtener el Punto de Máxima Potencia con respecto a la radiación solar que posee la planta durante las horas de producción del día.



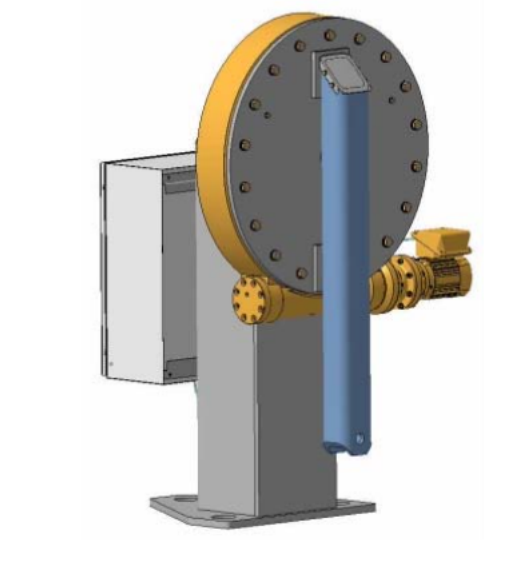
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 39**

*Moto Reductora de Seguidor Solar*



*Fuente: Imagen extraída del manual STI-H1250 MU.*

El mantenimiento mecánico de esta moto reductora está básicamente determinado a la lubricación que según el fabricante debe hacerse cada 5 años. El rodamiento circular dispone de dos bocas de engrase. Para realizar el cambio de aceite, es necesario acceder por la ventana de acceso del pie, retirando la tapa, como se muestra en la figura siguiente. Debemos retirar el resto de grasa para mantener la zona limpia de residuos. Procurar realizar este mantenimiento con delicadeza, evitando levantar polvo para no ensuciar los rodamientos internos.



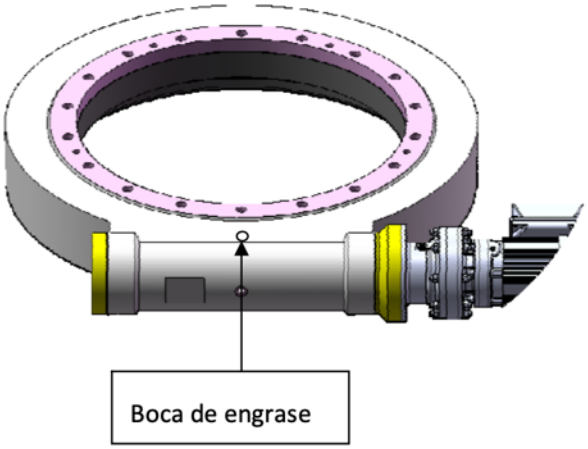
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 40**

*Rodamiento del Moto Reductora del Seguidor Solar*




*Fuente: Imagen extraída del manual STI-H1250 MU.*

**Figura 41**

*Cuadro de Control de Sistema de Seguimiento Solar en Moquegua FV*



*Fuente: Elaboración propia.*

En este apartado hablaremos del mantenimiento eléctrico que se realiza en los cuadros de control Tracker.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Preventivo.** En los cuadros de control tracker encontramos dos partes: la primera es la parte de control, que está gobernada por un PLC que se alimenta de una fuente de 24Vdc, donde ingresan todas las señales analógicas y digitales que se necesitan para realizar el algoritmo. De las salidas digitales del PLC, vamos a la parte de fuerza donde encontramos relés y contactores que nos servirán para ordenar el giro del motor en el sentido que sea necesario de acuerdo al seguimiento angular del sol durante el día. El primer preventivo que se realiza es la revisión del cableado en continua y alterna que hay dentro del cuadro, las sujeciones mecánicas también deben ser optimas y la limpieza dentro del cuadro dado que, al existir elementos electrónicos, el polvo es un gran enemigo. La termografía de los cuadros tracker también es importante, dado que hay elementos que generan cierto grado de calor, es vital monitorearlos para evitar daños irreparables en los equipos.

**Figura 42**

*Cuadro de Control y HMI de Configuración para Sistema de Seguimiento Solar*




*Fuente: Elaboración propia.*

Para realizar esta tarea contamos con un HMI que nos permite ingresar y poder ver los parámetros colocados en el algoritmo del PLC que se encarga de realizar el seguimiento.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 43**

*Sistema HMI para Configuración de Parámetros de Seguimiento Solar*




*Fuente: Elaboración propia.*

**Correctivo.** En el proceso del correctivo consta básicamente de cambiar cualquier pieza que pudiera estar dañada. El cambio pieza por pieza no es una tarea que merezca mayor explicación por no presentarse complicaciones para su realización.

El ajuste de los parámetros de seguimiento es otra de las tareas correctivas que se realiza en este mantenimiento. Para ello contamos con la ayuda del HMI que nos proporciona la posibilidad de poder interactuar sobre los parámetros cargados en el algoritmo y cambiarlos según sea a necesidad. El ajuste del horario es el parámetro más común a corregir dado que por algún tipo de corte de energía o problema similar, lo más afectado es el horario.

Sin embargo, hay una tarea especial que requiere de mayor tiempo y cuidado al momento de realizarla y es la Carga del programa del PLC cuando este se a desconfigurado totalmente. Cabe mencionar que nosotros no tenemos acceso al programa del PLC dado que el proveedor ha patentado su algoritmo y lo ha protegido, de manera que a pesar de poder entrar y comunicarnos con el PLC, no es posible ver el programa. Sin embargo, nos proporcionan el archivo en USB para poder cargarlo en caso se pierda y esta tarea consta de ciertos pasos a seguir para hacerlo de manera



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

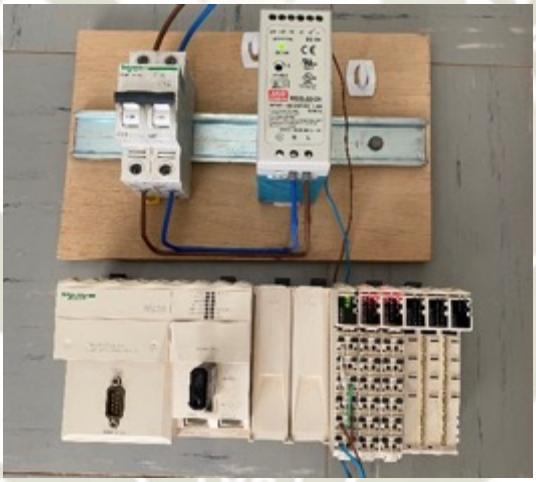
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

correcta. Lo primero, hemos armado una pequeña maqueta para poder realizar las conexiones del PLC de manera rápida y sencilla, sin tener que mover demasiados componentes. El PLC es retirado del seguidor y luego es conectado sobre la maqueta mencionada para poder darle energía. Luego de esto lo que realizaremos será la carga del programa. Según el manual que nos han entregado, hay un orden para cargar el programa. Primero se realizará la carga del FW y luego la del SW. Luego se realiza un reset y de esa manera queda cargado el programa y listo para su funcionamiento.

**Figura 44**

*Maqueta de Alimentación para Controladores PLC*



*Fuente: Elaboración propia.*

### *3.2.3 Servicios Auxiliares*

Los cuadros de Servicios auxiliares o SS.AA. son aquellos que se encargan de proporcionar alimentación a los circuitos AC dentro de los CTIN o en campo a los elementos como motores y equipos que necesiten de este tipo de alimentación. Podemos mencionar el cuadro principal de SS.AA. que se encuentra ubicado dentro del CTIN y de este derivarán los cuadros SS.AA. que están en campo que son 4 por cada CTIN.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 45**

*Cuadro de Servicios Auxiliares de Centro de Transformación Intengrado en Moquegua FV*



*Fuente: Elaboración propia.*

El cuadro principal alimenta todo lo que es inversores, equipos de comunicación, cámaras y SAI, además de la iluminación y tomacorrientes de 220Vac. Los cuadros de campo alimentan los cuadros tracker donde encontramos el motor y los equipos de control y fuerza dentro del cuadro.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 46**

*Cuadro de Servicios Auxiliares de Campo*



*Fuente: Elaboración propia.*

**Preventivo.** Los preventivos a realizar en este tipo de cuadros son como los ya mencionados en cuadros anteriores.

El primer preventivo siempre será la revisión visual que es el primer medio para poder detectar alguna falla en los componentes internos del cuadro. Tal vez alguna temperatura alta que haya dañado, visiblemente, algún equipo interior o algún daño físico notorio. Luego está el reajuste de borneras que evitará algún punto de sujeción flojo que cause una elevada temperatura.

La termografía de este cuadro nos ayudará a detectar lo que visiblemente no podemos ver; una falla de temperatura. Por lo genera las sujeciones sueltas provocan altas temperaturas en ese punto, pero es posible que a pesar de tener todas las sujeciones seguras se presente algún punto de alta temperatura. Además, si algún equipo estuviera dañado, también es posible que, como síntoma



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

del daño, presente alta temperatura, así que este preventivo nos ayudará a poder detectar todas estas anomalías.

**Figura 47**

*Termografía de Cuadro de Servicios Auxiliares de Campo*



*Fuente: Elaboración propia.*

El siguiente preventivo es la medición de los valores de corriente y voltaje de salida de las alimentaciones, porque es posible que alguno no esté dando los valores correctos de medida y ocasione fallas en el motor del seguidor. Para evitar estas deficiencias será necesario medir los valores y corroborar que sean los correctos y necesarios para la alimentación de los equipos correspondientes.

**Correctivo.** Los correctivos corresponden a las fallas detectadas del preventivo correspondiente. Básicamente, si se encontrara una falla de temperatura habría que descartar el



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

origen. Si fuera por mala sujeción mecánica entonces, se tendría que reajustar el punto dañado. Si fuera por equipo averiado entonces tendríamos que cambiar el equipo por uno nuevo de stock.

Si las medidas no fueran las correctas habría que averiguar si es la fuente principal de alimentación la que falla o es posible que se haya desconectado una fase del transformador de servicios auxiliares. Estas serían las principales fallas de alimentación posibles para ser solucionadas.

**3.3 Inversores**

Los inversores DC/AC son equipos eléctricos capaces de convertir corriente continua en corriente alterna que es el tipo de energía doméstica, a través de algún tipo de algoritmo que mide ciertos parámetros necesarios para la conversión de este tipo de energías.

Para la transformación de la energía debemos tener una fuente que nos proporcione corriente continua constante. En el caso de las plantas fotovoltaicas, la fuente de corriente continua es el campo fotovoltaico conformado por los paneles solares, que en el caso de la planta tiene una potencia nominal de 19MW.

El inversor que tenemos en la planta de Moquegua FV es de la marca Ingeteam, modelo Ingecon Sun 880x345. Es de tipo modular y cuenta con 4 nodos inversores independientes de 220KW cada uno. La potencia máxima del inversor es de 880KW y recibe una alimentación de 345Vac para distribuirlos en todos sus sistemas auxiliares que necesiten ser alimentados. El algoritmo que utiliza para la inversión de la corriente es el conocido MPPT aprovechando al máximo los mayores niveles de potencia que puedan entregar los paneles solares.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 48**

*Inversor Ingeteam Powermax 880x345 de Moquegua FV*



*Fuente: Elaboración propia.*

Estos inversores llegan dentro de una estación de Ingeteam o Power Station, acondicionada con el transformador MT y celdas MT para la elevación de la carga hacia la subestación, y con un transformador de servicios auxiliares, así como un tablero de distribución del mismo. Cada Power Station tiene 2 inversores interiores, por lo cual la potencia de cada Estación es de 1600KW.

**Figura 49**

*Centro de Transformación Integrado en Moquegua FV*



*Fuente: Elaboración propia.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la planta Moquegua FV contamos con 10 Power Station que daría una sumatoria de 16MW, que vendría a ser la potencia máxima que produce la planta en energía AC.

Los inversores cuentan con un software que permite la supervisión de los datos del mismo, además de los datos de producción que cada uno genera. También podemos monitorizar las alarmas y posibles fallas que puedan presentarse.

### *3.3.1 Mantenimiento Preventivo*

El mantenimiento preventivo de los inversores se realiza 2 veces al año básicamente, y si fuera necesario se puede programar con mayor frecuencia. El trabajo de preventivos que se realiza con los inversores lo dividimos en 3 secciones:

**Sección A.** En esta primera parte lo que interesa que se realice es el análisis del comportamiento de los inversores durante su performance previo al mantenimiento preventivo. Dado que, al pasar a la etapa de mantenimiento, se apagarán los equipos, necesitamos antes analizar cómo se han ido comportando durante su tiempo de trabajo, si ha tenido fallas, cuáles ha sido, cuáles son los datos de su producción y los motivos de paro que ha presentado si es que se hubieran dado, etc. Información que solo encontraremos cuando se realice la descarga de datos del contador del inversor.

Para realiza esta tarea tenemos que utilizar el software del inversor llamado INGECON SUN MANAGER, que nos permitirá obtener todos los datos mencionados con anterioridad. El tiempo de descarga se hará de 3 días antes de apagar el equipo para su mantenimiento preventivo. En ese periodo analizaremos el comportamiento del inversor sacando una media de la información para analizar el resultado de la misma. Si hubiera alguna anomalía o algo destacado que mencionar, se informaría para tener en cuenta en el momento del mantenimiento.



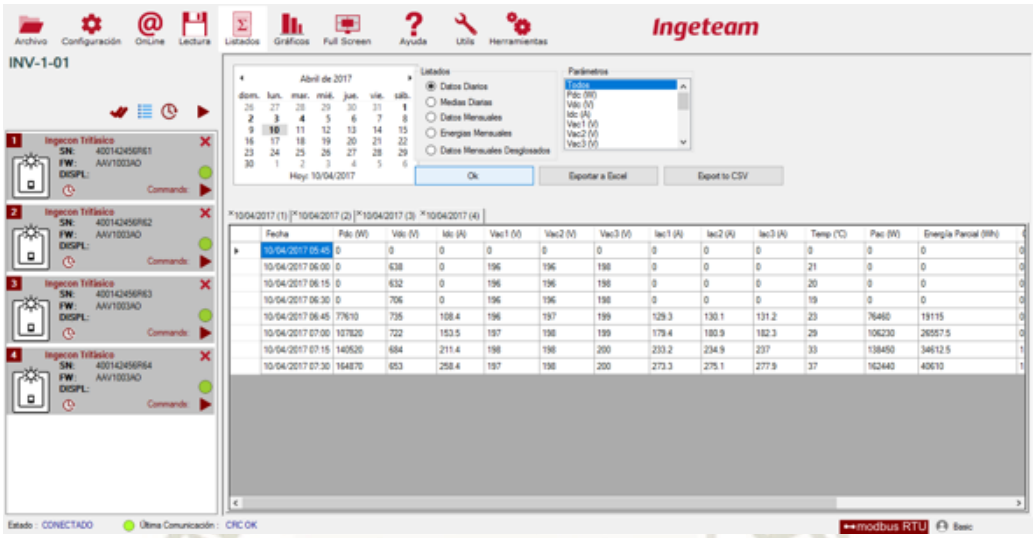
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 50**

*Pantalla de Datos de Contador de Inversor SCADA de Ingeteam*

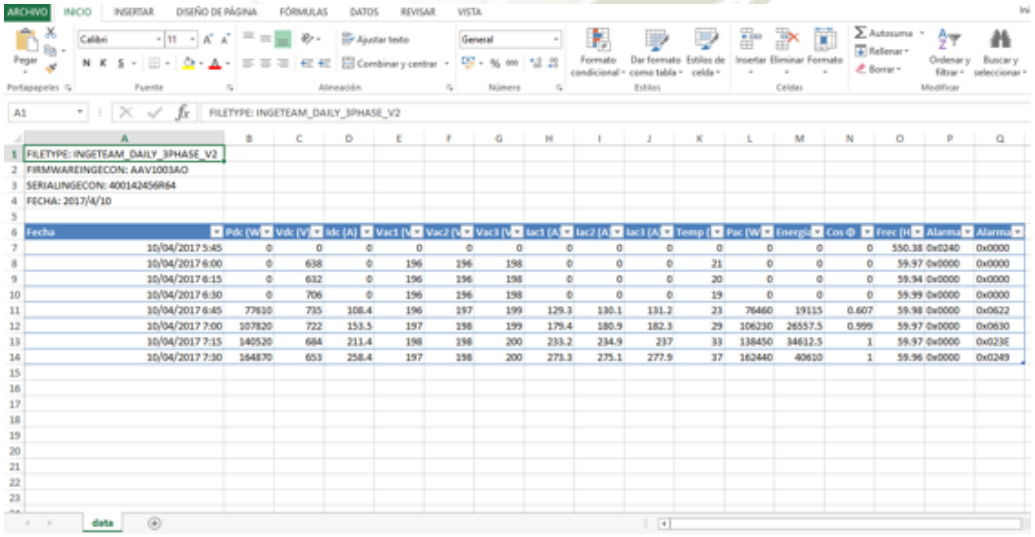



*Nota: La figura muestra la descarga de los datos del contador del inversor obtenidos desde el SCADA de Ingeteam.*

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 51**

*Descarga de Datos Contador de Inversor en Formato CVS*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*Nota: La figura muestra la exportación de los datos descargados del contador del inversor a formato en Excel.*

*Fuente: Elaboración propia.*

**Sección B.** En esta etapa, después de haber realizado el análisis del comportamiento del inversor, se pasa al mantenimiento técnico del mismo. Para esto necesitamos desconectar el equipo de toda fuente de energía dado que se intervendrá el interior mismo del inversor. Las fuentes a apagar son, primeramente, los servicios auxiliares menores del equipo, es decir todo lo que alimenta las tarjetas electrónicas. Luego procedemos a cortar la alimentación de línea que viene del transformador de MT seccionando la celda MT. Una vez que tenemos el equipo aislado de toda fuente, procedemos al mantenimiento. Cabe recalcar que la fuente de campo DC se aísla seccionando el contactor DC interno del Inversor, sin embargo, esto causa pérdida de producción. Para que esto no suceda es necesario realizar estos mantenimientos en horas nocturnas.

Aquí realizamos la limpieza general del interior hacia el exterior del inversor. Limpieza general de componentes y tarjetas electrónicas, teniendo en cuenta siempre todas las medidas de seguridad para no dañar al personal ni a los equipos. Eliminación de la humedad interior si se presentara, reajuste mecánico, cambio de filtros de aire dependiendo del grado de suciedad que presenten y reajuste de sujeciones eléctricas.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 52**

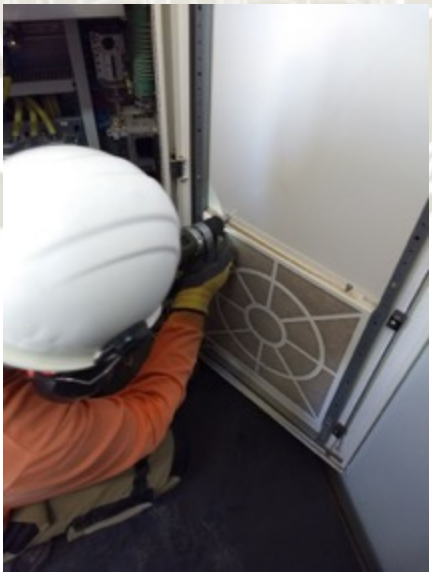
*Mantenimiento Preventivo - Limpieza de Equipos*



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 53**

*Mantenimiento Preventivo - Limpieza de Filtros de Polvo en Inversor*



*Fuente: Elaboración propia.*

**Sección C.** Esta etapa es conocida como el Post mantenimiento, comprobación del correcto funcionamiento de los componentes internos y de las fuentes de alimentación del inversor después



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de haber realizado el mantenimiento. Para esto tenemos que volver a encender el inversor, cerrando todas las fuentes de energía que son necesarias para alimentarlo. Primero cerraremos las celdas de línea que alimentan el transformador y luego pasaremos a conectar los servicios auxiliares menores.

Luego de esto, realizaremos las mediciones de puntos estratégicos dentro del equipo. Son componentes que nos proporcionan cierta información eléctrica que podría indicarnos si el comportamiento del inversor será correcto o no dependiendo de los valores que obtengamos. Si todo fuera correcto procedemos al arranque del equipo.

**Figura 54**

*Mantenimiento Preventivo - Medición de Condensadores de Filtros en Inversor*




*Fuente: Elaboración propia.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 55**

*Mantenimiento Preventivo - Medición de Señal de Red Eléctrica*



*Fuente: Elaboración propia.*

Luego de esto y como último trabajo, realizaremos la termografía de los componentes internos del inversor en caliente, para comprobar si las sujeciones mecánicamente son correctas y si no hay ningún equipo que presente alguna anomalía en cuanto a su temperatura de funcionamiento. Luego de las termografías, colocamos los metraquilatos en las zonas de exposición al peligro eléctrico y cerramos el mantenimiento con la limpieza interna del Centro de Transformación, suelos y falsos suelos para evitar el levantamiento de polvo nuevamente.

### *3.3.2 Mantenimiento Correctivo*

Los trabajos correctivos se realizan durante el mantenimiento o incluso después del mantenimiento, dependiendo donde se halla encontrado la falla. Los trabajos que se realizan previo al apagado de los inversores para la ejecución del mantenimiento interno nos ayudan a identificar



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

algunas anomalías que durante el mantenimiento podrían ser corregidas, como instrumentos de medida averiados o filtros en mal estado. Si fuera el caso, entonces se procede al correctivo que se ejecuta a través del cambio del componente en donde se halla encontrado la avería.

Durante el mismo mantenimiento, cuando el equipo ya ha sido apagado, se realiza las comprobaciones de las sujeciones mecánicas y si se hallara alguna que no cuenta con el torque adecuado, entonces se procede a ser corregido. También debemos mencionar que en esta etapa se realiza la limpieza interior y el secado de la humedad interna si es que se hallara. El cambio de los filtros de aire también es un correctivo a tener en cuenta si es que los filtros se hallaran muy desgastados, permitiendo así no filtrar el polvo. Se puede realizar dos correctivos con los filtros de aire. Lavado o cambio.

En el post mantenimiento, cuando el equipo se ha energizado otra vez, podemos realizar algunos correctivos dependiendo del análisis de las termografías tomadas a los equipos dentro del inversor. Si hubiera algún componente que presenta una temperatura anómala a su funcionamiento, entonces se procedería al cambio, dado que podría estar dañado y no estar trabajando adecuadamente. Esto también se realiza como una prevención a futuros daños o paradas inesperadas que pudieran presentarse.

Otras de las posibles fallas que presenta el equipo Post mantenimiento son las de comunicación, ya sea por avería de equipos que cumplan esta función o por desconfiguración en la pérdida de energía que sufre el inversor cuando se corta toda fuente de alimentación para su mantenimiento. Esto puede provocar, algunas veces, la perdida de las configuraciones internas de comunicación; y será necesario restaurarlas nuevamente siguiendo el procedimiento de configuración de comunicaciones en cada inversor. Los datos que normalmente se pierden pueden ser la IP del nodo o el número CAN del mismo.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Al estar todos los equipos bajo la garantía de Ingeteam, se debe presentar un informe de incidencias cada vez que se realiza el cambio de un equipo, explicando el porqué de la sustitución de la pieza para poder hacer efectivo la garantía del equipo. Pasada la garantía, el informe que se realiza es para control interno de las fallas que presenta el equipo.

**3.4 Transformadores y Celdas MT**

Luego de la producción de los inversores, para que la energía sea entregada se tiene la necesidad de elevarla, dado que el proceso de transmisión genera pérdidas, para que eso no suceda elevamos las dimensiones en su traslado.

Aquí es donde empiezan a trabajar los Transformadores y Celdas MT. Los transformadores son de 23KV / 345V a 1800KW de potencia esto permite reducir la tensión de llegada de línea para que pueda alimentar a los inversores (345Vac) y luego de realizar la inversión de energía del campo fotovoltaico, pueda elevarlo a nivel de línea otra vez (23KVac). Cabe mencionar que los transformadores son líquidos, eso indica que son refrigerados por aceite dieléctrico, lo que nos ayuda a tener baja temperatura en el funcionamiento del transformador. Están conservados dentro del mismo Centro de transformación de los inversores, pero en un cubículo aparte.

Las celdas MT nos sirven para energizar o aislar el transformador con la corriente de línea que llega, además nos permite mantener el anillo de alimentación de los demás centros de transformación distribuidos por toda la planta. Estas celdas están ubicadas en el mismo centro de transformación de los inversores, pero en un cubículo aparte para poder maniobrarlas según sea la necesidad.

La marca del proveedor de las celdas y los transformadores es Ormazabal, de fabricación española, que a su vez nos proporciona todos los elementos de seguridad con los que debe contar un sistema de MT.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *3.4.1 Mantenimiento Preventivo*

Los preventivos de estos equipos los explicaremos por separado a pesar que se realizan en una misma sesión de mantenimiento.

**Transformadores MT.** Estos transformadores están controlados por una centralita que monitoriza ciertos parámetros que le permiten el correcto funcionamiento y estos son: Temperatura, pureza de dieléctrico y presión de líquido. Además, podríamos observar la limpieza de los contactos internos de la centralita y el ajuste mecánico de las uniones de entrada y salida del transformador.

En el mantenimiento preventivo, lo primero que se realiza es el termografiado de los transformadores, para observar si existe algún punto de elevada temperatura que pueda indicar alguna anomalía y poder solucionarla durante el trabajo. Esta tarea va acompañada del reajuste mecánico a las uniones mecánicas de entradas y salidas del transformador, ya que, si presentaran puntos calientes, eso indicaría que no hay un buen ajuste y se procedería al correctivo.

Luego se procede al apagado de los equipos a través de seccionar la celda de alimentación MT. A partir de aquí se realiza la limpieza interior del equipo, la comprobación de los ajustes internos de la centralita, el funcionamiento de los extractores de aire para la circulación de la ventilación, el nivel de aceite y pureza del mismo, el reajuste mecánico de las uniones de entrada y salida del transformador del lado de BT y finalmente la limpieza del cubículo de transformadores.

En esta etapa se detecta las fallas y anomalías que se puedan presentar durante el proceso o que ya existieran durante el funcionamiento continuo, para poder ser corregidas en la ejecución de los correctivos.

**Celdas MT.** El mantenimiento preventivo de celdas va acompañado del preventivo de transformadores, dado que se secciona para aislar la energía del transformador, tenemos la



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

posibilidad de intervenir la celda de MT. Previo al seccionamiento de la celda se realiza la termografía de la misma y luego se procede al análisis para detectar alguna anomalía presente que se pudiera solucionar durante el preventivo. Una vez seccionada la celda, se abren sus compartimentos para poder revisar los fusibles MT, los captadores de voltaje y corriente, algunas uniones mecánicas que puedan requerir reajuste y polvo o humedad que pueda afectar el correcto funcionamiento de la celda. Una vez terminado con eso, se realiza la limpieza del cubículo de celdas para que quede todo limpio.

### *3.4.2 Mantenimiento Correctivo*

En el correctivo de transformadores podemos considerar el reajuste con torque adecuado de las entradas y salidas en BT, además podemos considerar también la purga del dieléctrico si es que éste se encontrara con demasiada suciedad o incluso con bajo nivel. Además, consideramos cualquier solución eléctrica que se pueda realizar tales como el cambio de turbinas de aire, sensores de temperatura o la regulación de la presión del dieléctrico, además de la limpieza de los mismos.

En el correctivo de celdas MT podemos considerar el cambio de fusibles MT si se encontrara alguno dañado, el reajuste de las uniones mecánicas, las mediciones y cambios de captadores si fuera necesario y cualquier solución eléctrica que se pueda realizar, además de la limpieza de los componentes.

Para mayores correctivos deberá intervenir una empresa homologada para ese tipo de trabajos, tales como el cambio de un transformador o de celdas.

## 3.5 Servidores y Sistema de Alimentación Ininterrumpida

El preventivo de SAI y servidores se realiza en todo el campo. Cada Centro de transformación cuenta con un SAI para emergencias, así como en el centro de control y en el centro de seccionamiento de la planta.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los equipos SAI sirven para dar soporte de energía cuando falla la de la red. Dependiendo de la capacidad del banco de baterías que maneje, será el tiempo que podrá dar soporte.

**Figura 56**

*Sistema de Alimentación Ininterrumpida de Centro de Transformación Intengrado*



*Fuente: Elaboración propia.*

Los servidores son equipos que solo están en la sala de control. Contamos con 2 servidores, uno para las cámaras de seguridad y otro para la información que se descarga sobre el SCADA en tiempo real. Este último, a su vez, guarda información de los datos supervisados.

**Figura 57**

*Servidores de Centro de Control Moquegua FV*



*Fuente: Elaboración propia.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

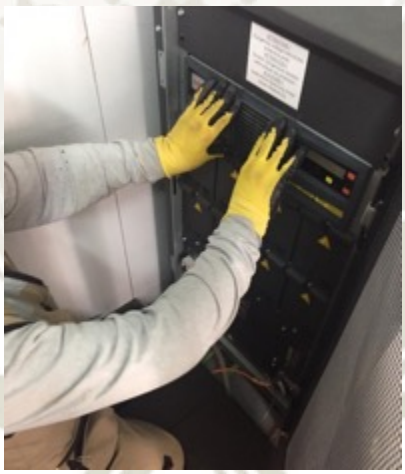
### *3.5.1 Mantenimiento Preventivo*

Al realizar el preventivo de los SAI y Servidores, consideraremos limpieza externa, limpieza interna, mediciones y configuraciones correspondientes.

Lo más crítico del mantenimiento preventivo de los SAI y Servidores es la limpieza interna de los CPU de ambos equipos, dado que podríamos dañar alguno de los componentes de la tarjeta de control, además al desconectar los equipos estos podrían perder su configuración inicial y es por eso que debemos tener en cuenta un backup para luego no vernos perjudicados por una desconfiguración.

**Figura 58**

*Mantenimiento Preventivo - Apagado de SAI*



*Fuente: Elaboración propia.*

Para realizar la limpieza interna de los CPU de los SAI, debemos de colocar el equipo en modo bypass de manera que la línea sea quien alimente directamente los servicios auxiliares del lugar donde se encuentre ubicado. Se siguen los pasos según el manual de usuario, para poder colocar el equipo en bypass y luego se apaga para ser retirado. Una vez afuera se realiza a limpieza del CPU.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 59**

*Mantenimiento Preventivo - Retiro de CPU del SAI*



*Fuente: Elaboración propia.*

Debemos tener cuidado con cualquier elemento que pudiera causar el efecto de estática, dado que cuando destapemos el CPU nos encontraremos con la tarjetería expuesta y componentes electrónico delicados.

**Figura 60**

*Mantenimiento Preventivo - Limpieza Interior del CPU de SAI*



*Fuente: Elaboración propia.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los servidores también son destapados y se realiza la limpieza interna de ellos, teniendo en cuenta el cuidado de la tarjetería.

**Figura 61**

*Matenimiento Preventivo - Limpieza Interna de CPU de Servidores*



*Fuente: Elaboración propia.*

Para los SAI debemos realizar la limpieza de baterías y sobre todo la medición de las mismas para poder corroborar su correcto funcionamiento.

**Figura 62**

*Mantenimiento Preventivo - Medición de Baterías de SAI*



*Fuente: Elaboración propia.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

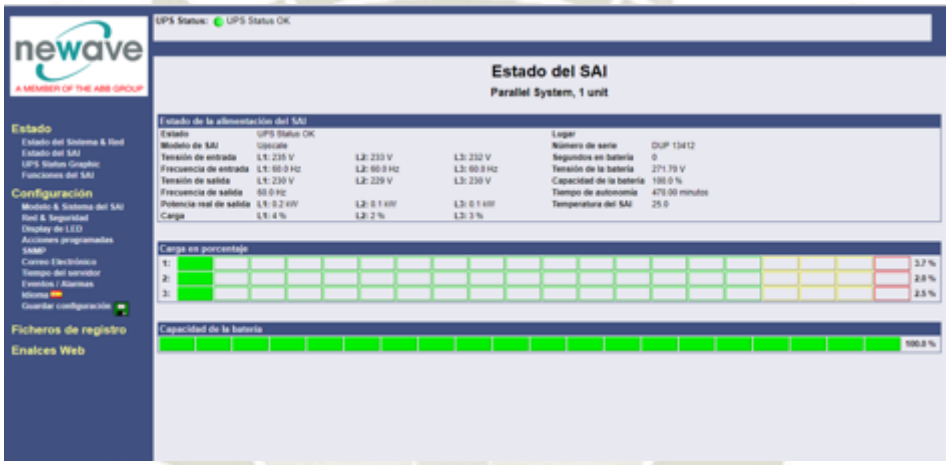
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Al tener todos estos pasos realizados, lo último que se necesita es comprobar las comunicaciones y configuración del SAI. En el caso de los servidores no suele haber problema de pérdida de configuración sin embargo se trata de realizar el preventivo en el menor tiempo posible. Para comprobar el correcto funcionamiento debemos entrar vía web a la IP del SAI y nos dará espacio a las opciones de configuraciones.

**Figura 63**

*Mantenimiento Preventivo - Configuración de Comunicación de SAI*




*Nota: La figura muestra el software web que permite realizar configuraciones al sistema de alimentación ininterrumpida.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### *3.5.2 Correctivo*

Los correctivos dependen de las fallas que se puedan presentar. Los más comunes en estos equipos están direccionados a las baterías, que por tiempo de vida podrían dañarse. Esto podemos detectarlo en las mediciones que realizamos, donde podemos hallar valores inadecuados que nos indicarían que las baterías están perdiendo su eficiencia, o incluso visualmente podríamos notar alguna anomalía como la "hinchazón" de las mismas, que pueden darnos referencia de la presencia de alguna falla. Si las baterías fueran el problema, el correctivo adecuado sería el cambio de las



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

mismas por nuevas. Otra de las posibles fallas a presentarse podría ser en el CPU del SAI y podrían presentarse de dos tipos: Hardware o Software.

Si la falla fuera en hardware, necesitaríamos cambiar todo el CPU dado que es muy complicado poder hallar componentes para sustituirlos dentro de la tarjeta de control. Y si la falla fuera de software, solo necesitaríamos volver a configurar los parámetros del SAI para poder continuar con el funcionamiento adecuado.

## 3.6 Análisis y Evaluación de Datos

La producción diaria de la planta requiere el análisis del comportamiento de los equipos que intervienen en el proceso para poder prevenir eventos indeseados o para poder mejorar el performance de los mismos con intención de obtener mayores beneficios para el cliente y para la empresa generadora de energía. Para que esto suceda se debe aplicar ciertos formatos que permitirán la evaluación de todos los agentes que intervienen en este proceso en diferentes niveles.

Para esto contamos con 2 formatos de análisis y evaluación del primer nivel del proceso que es Operación y Mantenimiento. Estos formatos son los que se manejan en esta área y tienen que ver directamente con el performance de los equipos, en campo, que intervienen en la producción. Estos formatos son:

### *3.6.1 Informe Plan Anual de Mantenimiento - PAM*

El PAM tiene la programación de las tareas preventivas que se han de realizar a lo largo de todo el año y están divididas por categorías y por meses. Cabe resaltar que el informe del PAM se entrega mensualmente e incluye: el informe de cada tarea preventiva realizada en el mes, además de mencionar el tiempo de ejecución del correctivo que fuera necesario realizarse.

El informe PAM recoge el tiempo de ejecución de la tarea preventiva y programa un tiempo de ejecución para la tarea correctiva derivada de las observaciones que se hayan encontrado en el



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

preventivo, que podría estar llevándose a cabo en paralelo. El informe también recoge las observaciones más resaltantes que el preventivo haya dado como resultado para tomar las medidas necesarias para corregirlas o para tenerlas en cuenta en otros procesos.

Además, este informe, permite evaluar la eficiencia del área de Operación y Mantenimiento que ejecuta la tarea, para cumplir los plazos programados y mantener los equipos en su mejor estado; a su vez prever cualquier evento indeseado.

El informe se acompaña de fotos y procedimientos que van ligados a las tareas realizadas, además del informe a mano alzada del técnico que las ejecutó para tener en cuenta mayores detalles de la tarea.

### *3.6.2 Informe de Evaluación Mensual - IEM*

El informe IEM es el Informe de Evaluación Mensual que recoge todo el comportamiento de los diferentes agentes que intervienen en la producción de la planta, tales como: equipos del proceso de transformación (paneles solares, inversores y transformadores), climatología e informe de incidencias y eventos realizados por Operación y Mantenimiento de la planta. Tiene diferentes apartados que nos permiten el llenado de los datos que corresponden a cada uno, danto como resultado final una vista general del performance de toda la planta y la producción que ha alcanzado, haciendo una comparación con los pronósticos que han sido ya realizados por la empresa a lo largo de toda la vida útil de la planta.

El informe IEM se realiza mensualmente y luego se incluye una evaluación anual de los mismos datos. Para realizar el informe IEM se cuenta con los siguientes pasos:

*La descarga de los contadores de los inversores* de la producción mensual de cada equipo. Esto nos ayudará a poder identificar que equipos han estado produciendo lo esperado y cuales han



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

producido en menor porcentaje o presentado fallas durante la producción que ha impedido su correcto performance.

*La descarga del contador de la subestación,* en donde detectamos la contabilidad total de toda la planta como suma final de todo lo producido durante el mes.

*El análisis meteorológico.* Para poder realizar este paso tenemos que descargar los datos de los datalogger que contienen la información meteorológica adquirida durante todo el mes. Tenemos 1 estación meteorológica que estudia el clima medio ambiental que tenemos en la planta y 4 estaciones repartidas por todo el campo que estudian la climatología de los paneles solares (temperatura). Una vez hecha la descarga podremos analizar, con los datos de cada día, si la producción de los inversores es la correcta según la climatología observada, o si alguno a presentado deficiencias en su performance.

*Informe de incidencias.* En esta parte se adjunta, en resumen, todas las incidencias detectadas en el mes, que hayan ocasionado perdidas en la producción o no. Esto nos servirá para tener en cuenta la eficiencia en el funcionamiento de los equipos. Si algún equipo presenta baja eficiencia, probablemente podría ser porque estuvo parado por falla en horas de producción y eso le afectó a su evaluación. Además, nos ayudará a tomar medidas preventivas para cualquier evento inesperado. Con toda esta información podemos realizar un análisis preciso y general del comportamiento de la planta y de su producción mensual, haciendo una comparación con lo pronosticado y concluir si fue un buen mes o si tuvimos deficiencias en el trabajo realizado.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO IV

# 4. APORTES PERSONALES A LA LABOR DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

## 4.1 Situación Problemática

Uno de los factores importantes dentro de la operación de centrales solares es la constante evaluación de la performance y eficiencia de los equipos que intervienen en el proceso de producción, tales como: Paneles Solares, Cuadros de 1 nivel e Inversores. Si alguno de estos se viera afectado en su rendimiento, esto alteraría negativamente la producción total de la central solar.

Para poder realizar este análisis existe un concepto que manejamos en O&M denominado Performance Ratio (PR), que representa la medición del rendimiento de cada agrupación (o Centro de Transformación Integral) con respecto a la climatología del lugar; teniendo en cuenta que el clima es el factor primordial para el resultado de la producción final. El PR se mide como porcentaje de rendimiento con respecto al clima.

El PR se calcula con una fórmula matemática donde las variables a considerar son meteorológicas como también, técnicas de producción. A continuación, mostramos la fórmula:



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Ecuación 2:** Cálculo del Performance Ratio

$$PR = \frac{KW_{(n)}}{(R_d)(PN_t)}$$

Donde tenemos:

PR: Performance Ratio (%).

$KW_{(n)}$: Producción diaria por Inversor, en kilovatios.

$R_{(d)}$: Radiación diaria de central solar medida en vatios/metros cuadrados.

$PN_{(t)}$: Potencia Nominal Total, de toda la central solar, medida en kilovatios.

El PR es un valor de medida que sirve para evaluar la disponibilidad de un Centro de Trasformación Integrado. La central Moquegua FV tiene un límite de PR que debe alcanzar anualmente. Éste está normalizado en 80%. Si se reportaran valores inferiores, la empresa esta sometida a ciertas penalizaciones. La lectura del PR se hace de la siguiente manera:

**Ecuación 3:** Evaluación del Resultado PR

$$PR \leq 80\% \longrightarrow Tiempo\ de\ Disponibilidad = Muy\ bajo$$

$$PR > 80\% \longrightarrow Tiempo\ de\ Disponibilidad = Alto$$

La poca disponibilidad de los equipos de producción son los que provocan la caída del PR. Ésta depende directamente del trabajo del área de Operación y Mantenimiento de la empresa para sostener el PR en valores aceptables.

En la evaluación diaria que se realiza de cada agrupación o CTIN, se detectó que los CTIN 4 y 7 presentaban PR muy bajos, cercanos al umbral del 80% e incluso, algunos días se presentaban bajo el 80%. Esto resultó preocupante para el área de O&M, dado que, significa que existe alguno de los equipos pertenecientes a estas agrupaciones con baja disponibilidad; lo que indica que es muy probable que estén perdiendo eficiencia en su rendimiento y requieran de algún tipo de intervención correctiva. Al ser constante el reporte de bajo PR, se procedió a la revisión de cada



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

equipo dentro de estas agrupaciones, sin hallar ninguna falla física que pudiera advertir este resultado. Esto aumentó la preocupación con respecto al análisis entonces, por iniciativa del egresado, se procedió a realizar una revisión de los datos obtenidos y de las variables consideradas dentro de los reportes para una mejor investigación del problema.

## 4.2 Solución del Problema

Teniendo en cuenta la ecuación 1 del PR, consideraremos las tres variables para evaluar su desempeño y poder así descartar alguna anomalía. Este proceso se realizó en las agrupaciones que presentaban problemas y se comparó con otras que tenían buenos resultados de PR.

### *4.2.1 Diagnóstico del Problema*

Primeramente, evaluaremos la variable de producción diaria $KW_{(n)}$ de los inversores en cuestión. Este dato depende directamente de los equipos que intervienen en el proceso de producción, tales como; paneles solares, cuadros de 1 nivel e inversores. La evaluación consiste en analizar el comportamiento y la eficiencia de cada equipo. Para los paneles solares se realizó el proceso de análisis de degradación que, como explicamos con anterioridad, consiste en evaluar, a través del trazado de curva de potencia del panel, la eficiencia del mismo que nos devolverá un valor en porcentaje de la pérdida de la misma. El resultado devolvió que los paneles estaban, en promedio, degradados en un valor de 12% de su potencia nominal; buscando en el datasheet de los paneles solares, por el tiempo de uso de los mismos, la degradación era mayor a la esperada (10%). Sin embargo, al comparar otras agrupaciones que no tenían problemas en el PR se observó que la degradación era la misma o incluso mayor en algunos casos (13%); por lo tanto, quedó descartado que esta fuera la razón del problema.

Para la evaluación de cuadros de 1 nivel, se toma en cuenta si existe algún punto de disipación de energía que podría ser por puntos calientes o fusibles de llegada de string fundidos



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

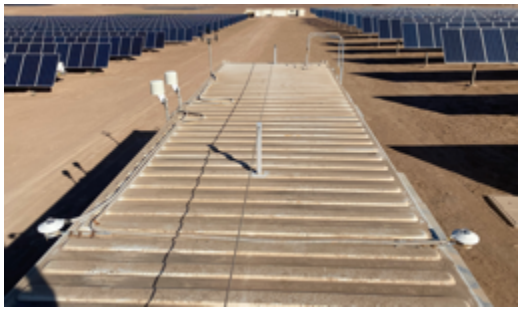
por temperatura alta o sobre corriente. El resultado fue negativo. En cuanto a la evaluación de los inversores, se realizo varias pruebas; termografías para encontrar disipación de energía, mediciones de señales para la calibración adecuada de los sensores y captadores, y el análisis de los datos de contadores. Todos ellos dieron como resultado valores adecuados, dentro del margen aceptable. En conclusión, no se encontraron fallas en los equipos de producción.

En segundo lugar, se debe evaluar la variable de potencia total nominal de la planta $PN_{(t)}$. este es un valor constante así que la única prueba que se puede realizar es que todos los paneles de campo estén entregando potencia al inversor y esto se hace con termografía de paneles solares, termografía de cuadros de 1 nivel y comprobación de fusibles de string. El resultado fue óptimo.

En tercer lugar, evaluamos la variable de la radiación solar diaria $R_{(d)}$. Aquí fue donde se detectó el problema. Cada central solar depende de la climatología del lugar para lograr la mayor eficiencia posible en términos de producción y alcanzar los objetivos trazados en generación de energía, anualmente. Para la evaluación del clima, cada central solar cuenta con una estación meteorológica que mide algunas variables como la humedad, temperatura, velocidad del viento y sobre todo radiación solar, que es la materia prima de la industria fotovoltaica. Esta estación, en la planta Moquegua FV, está ubicada sobre el CTIN 1, al lado Oeste del vasto terreno de la central solar; mientras que las agrupaciones que presentaban problemas están ubicadas al extremo Este.

**Figura 64**

*Estación Meteorológica en Moquegua FV*





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*Nota: La figura muestra los sensores que miden las variables meteorológicas del lugar donde se encuentra ubicada la central Moquegua FV.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Esto presenta el problema, dado que, el estudio de la meteorología del lugar devolvía el resultado de un clima seccionado en la zona; esto quiere decir, que había cambios de clima, dentro de la ubicación de la planta, claramente marcados. Esto fue posible observarlo en el tiempo de operación que tiene la planta; en épocas de invierno, algunas agrupaciones presentaban llovizna y en otras el clima estaba seco. Algunas veces se observaba neblina en algunas zonas de la panta, mientras que, en otras, el clima se presentaba soleado. Esto hizo notar que la ubicación de la estación meteorológica, de la cual luego se extraen los datos del clima para el calculo del PR, estaba muy alejado de la zona del problema y era posible que estuviera presentando una medición del clima distinto al de las agrupaciones en cuestión. En la tabla 3 se muestran los datos del PR correspondientes a los primeros días del mes de junio, donde podemos observar el bajo porcentaje que muestran las agrupaciones mencionadas (CTIN 4 y 7).

En las figuras siguientes podemos observar una imagen satelital obtenida del Google Maps de la central solar Moquegua FV que muestra su ubicación en la zona geográfica, y hemos dibujado sobre ella la representación del proceso de nublado que tiene la zona. La figura 59 muestra el proceso de nublado total de la planta, mientras que la figura 60 muestra cómo se va despejando la zona geográfica donde esta ubicada la central, en dirección Oeste a Este progresivamente, afectando por más tiempo bajo la sombra de las nubes a las agrupaciones ubicadas en la zona Noreste, que son los CTIN 4 y 7. Después de aproximadamente una hora estas agrupaciones aún permanecen con neblina a comparación del resto de la planta. Cabe recordar que la estación



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

meteorológica de donde se toman los datos está ubicada en el CTIN 1, y la distancia se puede apreciar en la figura 60.

**Figura 65**

*Ubicación Geográfica de Central Solar Moquegua FV*

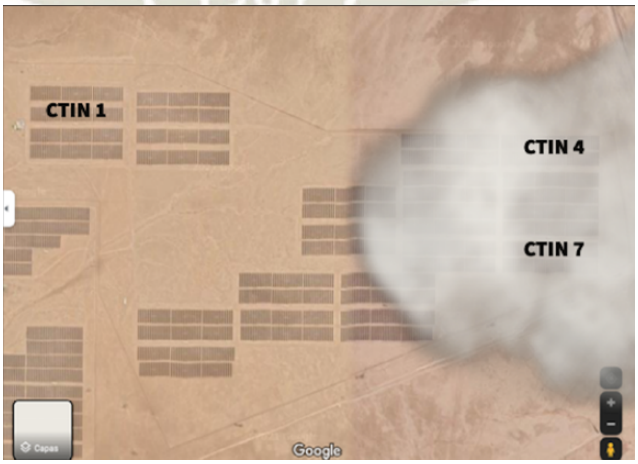



*Nota: La figura muestra el fenómeno de nublado en la zona geográfica de la central solar Moquegua FV, desde una visa satelital.*

*Fuente: Adaptación de una imagen de Google Maps.*

**Figura 66**

*Ubicación Geográfica de la Central Solar Moquegua Fv con Clima Nublado*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

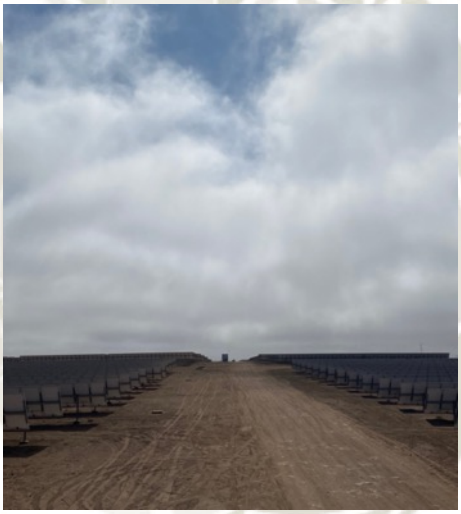
*Nota: L figura muestra cómo se realiza el proceso de despeje de nubes sobre la central Moquegua FV.*

*Fuente: Adaptación de una imagen de Google Maps.*

En las siguientes figuras podemos observar el proceso explicado anteriormente en fotos reales tomadas en la central solar desde la ubicación del CTIN 1, donde se encuentra la estación Meteorológica.

**Figura 67**

*Cielo de Central Solar Moquegua FV Nublado*



*Nota: La figura muestra el cielo nublado de la central Moquegua FV, despejándose en sentido Oeste a Este.*

*Fuente: Elaboración propia.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 68**

*Cielo de Central Solar Moquegua FV Despejado*



*Nota: La figura muestra el cielo despejado de la central Moquegua FV sobre la zona de la ubicación del CTIN 1, donde se encuentra la estación Meteorológica.*

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 3**

*PR de las Agrupaciones CTIN 4 y 7 de los Primeros 15 Días de Junio 2021*

| **Instalación** | **CTIN-4.1** | **CTIN-4.2** | **CTIN-7.1** | **CTIN-7.2** | **CTIN-1.1** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Pot. Pico (kw)** | 1000.40 | 976.00 | 976.00 | 976.00 | **951.60** |
| **1/06/21** | 81.77% | 82.04% | 82.04% | 82.01% | **84.95%** |
| **2/06/21** | 81.02% | 81.34% | 78.31% | 81.41% | **83.76%** |
| **3/06/21** | 81.79% | 82.05% | 82.14% | 82.21% | **84.62%** |
| **4/06/21** | 83.36% | 83.32% | 83.17% | 83.10% | **85.93%** |
| **5/06/21** | 80.67% | 80.82% | 81.09% | 81.05% | **82.81%** |
| **6/06/21** | 79.84% | 79.98% | 80.12% | 80.10% | **82.09%** |
| **7/06/21** | 79.86% | 80.00% | 80.12% | 80.05% | **82.44%** |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **8/06/21** | 79.16% | 79.38% | 79.42% | 79.36% | **81.86%** |
| **9/06/21** | 80.00% | 80.31% | 80.17% | 80.21% | **84.34%** |
| **10/06/21** | 79.99% | 80.08% | 77.77% | 79.87% | **87.23%** |
| **11/06/21** | 80.40% | 80.62% | 80.67% | 80.65% | **83.80%** |
| **12/06/21** | 80.19% | 80.86% | 80.91% | 80.87% | **84.28%** |
| **13/06/21** | 80.35% | 81.10% | 81.17% | 81.10% | **84.30%** |
| **14/06/21** | 79.43% | 80.19% | 80.30% | 80.15% | **83.32%** |
| **15/06/21** | 82.05% | 82.50% | 82.53% | 82.50% | **85.71%** |
| **Total mes** | **80.6%** | **80.9%** | **80.6%** | **81.0%** | **84.0%** |

*Nota: Tabla tomada de los informes diarios del Reporte del Centro de control Remoto – SPK. (2021)*

*Fuente: Elaboración propia.*

En esta tabla podemos observar, como ya he mencionado, que el valor de PR está cerca del límite de 80% e incluso algunos días es inferior. Comparando con la última columna que representa los datos PR del CTIN 1 (donde se encuentra ubicada la estación METEO), podemos observar la gran diferencia que tiene esta agrupación sobre las demás, incluso llegando a 3 puntos porcentuales por encima, teniendo una potencia pico (kw) inferior a las demás.

Observemos ahora, la producción diaria de cada agrupación con respecto a la radiación promedio diaria, para poder entender el comportamiento que describen los inversores dependiendo del estado del clima.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Tabla 4**

*Producción Diaria de Agrupaciones CTIN 1, 4 y 7 con Respecto a Radiación Diaria*

| Fecha | CTIN-1.1 | CTIN-4.1 | CTIN-4.2 | CTIN-7.1 | CTIN-7.2 | RAD*1000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1/06/21** | 5477 | 5542 | 5425 | 5425 | 5423 | **6775.25** |
| **2/06/21** | 6094 | 6197 | 6070 | 5844 | 6075 | **7645.75** |
| **3/06/21** | 5791 | 5884 | 5759 | 5765 | 5770 | **7191.25** |
| **4/06/21** | 5301 | 5406 | 5272 | 5262 | 5258 | **6482.75** |
| **5/06/21** | 6010 | 6155 | 6016 | 6036 | 6033 | **7627** |
| **6/06/21** | 6004 | 6139 | 6000 | 6010 | 6009 | **7686** |
| **7/06/21** | 6146 | 6259 | 6117 | 6126 | 6121 | **7834.25** |
| **8/06/21** | 5828 | 5925 | 5796 | 5799 | 5795 | **7481.5** |
| **9/06/21** | 5504 | 5489 | 5376 | 5366 | 5369 | **6858.25** |
| **10/06/21** | 5238 | 5050 | 4932 | 4790 | 4919 | **6310.5** |
| **11/06/21** | 6237 | 6291 | 6154 | 6158 | 6157 | **7821.5** |
| **12/06/21** | 6204 | 6206 | 6105 | 6109 | 6106 | **7735.75** |
| **13/06/21** | 5925 | 5937 | 5846 | 5851 | 5846 | **7385.75** |
| **14/06/21** | 5853 | 5866 | 5778 | 5786 | 5775 | **7382.25** |
| **15/06/21** | 5859 | 5896 | 5784 | 5786 | 5784 | **7183.25** |

*Nota: Datos fueron extraídos del informe diario del Centro de Control Remoto – SPK. (2021)*

*Fuente: Elaboración propia.*

En la tabla 4 vemos que nuevamente consideramos la agrupación CTIN-1.1 dado que, será nuestra referencia por el hecho de tener montada sobre ella nuestra estación METEO. En la misma tabla podemos observar la producción de las agrupaciones en las que se presenta el problema de



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

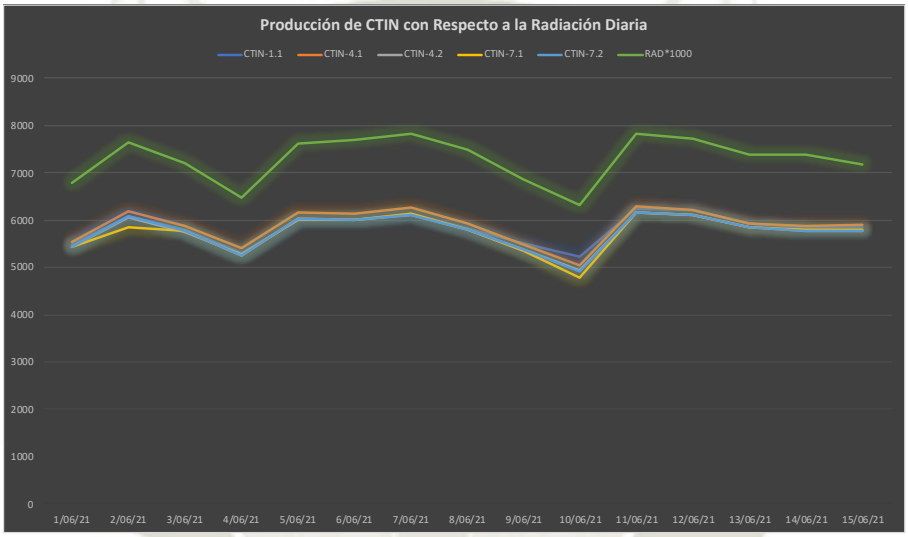
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

PR bajo, comparado con la agrupación de referencia. Podemos observar que prácticamente la producción de todas es muy parecida, por lo tanto, en los datos no podemos distinguir ningún problema que justifique el bajo PR en las agrupaciones CTIN 4 y 7. Veamos la figura de los datos de la tabla 3 en un gráfico, para mayor entendimiento.

**Figura 69**

*Producción de CTIN en kw y Radiación Diaria*




*Nota: La figura muestra los valores de producción, durante los primeros quince días del mes de junio del 2021, comparándolos con la radiación según cada día.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En este gráfico podemos observar, con mayor detalle, el comportamiento de la radiación (color verde) durante los 15 días de análisis que hemos tomado como base de datos, captados por la estación METEO montada en el CTIN 1, y el comportamiento de la producción de los inversores de cada agrupación en mención, dentro del mismo tiempo. Observamos que no hay mayor diferencia de producción en ninguno de ellos; tal vez el CTIN-4.1 presenta un poco más de producción (kw) que los demás, pero esto es dado que, cuenta con mayor potencia nominal instalada en campo (1000.40 kw). La conclusión de este análisis fue que no se encontraba razones



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

técnicas-físicas, que comprometieran a los equipos de producción en campo, para justificar el PR bajo en las agrupaciones CTIN 4 y 7.

### *4.2.2 Ejecución de la Solución*

Entonces, el egresado planteó la hipótesis de que el clima seccionado, del lugar donde la central estaba construida, estaba afectando el cálculo del PR en la zona Este de la planta solar; por lo tanto, para continuar con la realización de las pruebas y comprobar esta hipótesis, se solicitó el montaje de un sensor de radiación solar calibrado (piranómetro) en la zona afectada.

El montaje se realizó sobre la estructura del seguidor numero 5 de la agrupación CTIN-4.1, aprovechando las conexiones de alimentación del cuadro (tablero de control) del seguidor mencionado.

**Figura 70**

*Piranómetro Montado en la Agrupación CTIN 4 de Moquegua FV*



*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura podemos observar el piranómetro (sensor de radiación solar) que se montó en la agrupación CTIN 4 para las pruebas en mención. Para la recolección de los datos se conectó hacia un datalogger de la marca CAMPBELL SCIENTIFIC modelo CR1000 que cuenta con su



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

propio lenguaje de programación. Éste fue montado dentro del cuadro de control Tracker del seguidor 5 de la misma agrupación, como podemos observar en la siguiente figura.

**Figura 71**

*Cuador de Control de Seguidor 4 en CTIN 4 de Moquegua FV*



*Nota: La figura muestra el interior del cuadro de control en donde se montó el datalogger para poder almacenar los valores del piranómetro, en la agrupación CTIN 4.*

*Fuente: Elaboración propia.*

El sistema de medición fue montado a principios del mes de abril del 2021. Se realiza constantemente la descarga de datos para el estudio y comparaciones de la variable climatológica de la radiación, y poder observar si el resultado era el esperado previamente. A continuación, y para seguir en el mismo periodo de estudio mencionado en las anteriores tablas, describiremos las mediciones obtenidas en los primeros 15 días del mes de junio 2021. Cuando reemplazamos los valores de radiación tomadas con el sistema de medición montado en la agrupación CTIN 4,



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

podemos ver cómo mejora el PR para las agrupaciones que tenían problema anteriormente (Ctin 4 y 7).

**Tabla 5**

*PR de las Agrupaciones CTIN 4 y 7 Bajo las Variables del Nuevo Piranómetro*

| **Instalación** | **CTIN-4.1** | **CTIN-4.2** | **CTIN-7.1** | **CTIN-7.2** | **CTIN-1.1** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Pot. Pico (kw)** | 1000.40 | 976.00 | 976.00 | 976.00 | **951.60** |
| **1/06/21** | 83.11% | 83.39% | 83.39% | 83.36% | **84.95%** |
| **2/06/21** | 82.24% | 82.56% | 79.49% | 82.63% | **83.76%** |
| **3/06/21** | 83.56% | 83.83% | 83.92% | 83.99% | **84.62%** |
| **4/06/21** | 83.53% | 83.50% | 83.34% | 83.27% | **85.93%** |
| **5/06/21** | 82.35% | 82.51% | 82.78% | 82.74% | **82.81%** |
| **6/06/21** | 81.72% | 81.87% | 82.00% | 81.99% | **82.09%** |
| **7/06/21** | 82.36% | 82.51% | 82.63% | 82.56% | **82.44%** |
| **8/06/21** | 81.71% | 81.93% | 81.97% | 81.91% | **81.86%** |
| **9/06/21** | 83.54% | 83.86% | 83.71% | 83.75% | **84.34%** |
| **10/06/21** | 84.47% | 84.56% | 82.12% | 84.34% | **87.23%** |
| **11/06/21** | 81.38% | 81.60% | 81.65% | 81.64% | **83.80%** |
| **12/06/21** | 80.82% | 81.49% | 81.54% | 81.50% | **84.28%** |
| **13/06/21** | 80.95% | 81.70% | 81.77% | 81.70% | **84.30%** |
| **14/06/21** | 80.20% | 80.97% | 81.08% | 80.92% | **83.32%** |
| **15/06/21** | 82.85% | 83.31% | 83.34% | 83.31% | **85.71%** |
| **Total mes** | **82.3%** | **82.6%** | **82.3%** | **82.6%** | **84.0%** |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

*Nota: Tabla con valores de radiación modificados al sistema de medición montado en CTIN 4. (2021)*

*Fuente: Elaboración propia.*

Como podemos ver el valor del PR para las agrupaciones Ctin 4 y 7 ha aumentado en 2 puntos porcentuales con respecto a los datos PR de la Tabla 3; siendo más consistente con los valores de producción que podemos observar en el gráfico de producción de Ctin. Este mismo comportamiento hemos venido observando cada mes; por lo tanto (aunque aun es muy pronto para concluir), podemos decir que la radiación de la Zona Este de la central solar Moquegua FV no es la misma que en la Zona Oeste. Por lo menos hasta donde hemos podido evaluar. Dado que, la evaluación contiene la variable del clima, es necesario indicar que el tiempo de prueba de este sistema de medición tiene que ser aproximadamente de 365 días de operación; por lo tanto, debemos esperar que se cumpla un año de evaluación de datos para poder pronosticar una media y resolver una conclusión. Sin embargo, vemos en los primeros meses cómo se está cumpliendo la deducción que se hizo con el estudio previo. Si esto continúa así, entonces podríamos haber resuelto el problema del PR bajo en estas agrupaciones ubicadas en la Zona Este de la planta, que tanto había preocupado al Centro de Control Remoto, desde el punto de vista técnico.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## CONCLUSIONES

PRIMERO: Se desarrolló la etapa donde mayor experiencia se adquirió, y que fue la que tratamos en este informe, el ingreso a la empresa generadora de energía fotovoltaica Solarpack Perú. Dado que el área de trabajo requería de amplios conocimientos, no solo en electrónica sino también en otros aspectos como en mecánica y eléctrica. Esto conllevó un reto mayor, para poder aprender algunas asignaturas que no correspondían a la carrera pero que servirían para la ejecución de las tareas encargadas. Dado que era muy importante que el personal supiera conducirse en los diversos tipos de trabajo que se realizaría, esto conllevó a aprender a desarrollar trabajos de toda índole. El sistema de una planta solar incluye parte mecánica, eléctrica y electrónica de potencia, además de redes de comunicación que debíamos saber ejecutar en el momento que se presentara la oportunidad.

SEGUNDO: Se desarrolló cada uno de los procedimientos correspondientes a las tareas del Plan Anual de Mantenimiento, en cuya elaboración el egresado formó parte, tanto de la etapa previa como de la etapa de ejecución. El egresado estuvo desde los inicios de puesta en marcha de la central solar Moquegua FV en el año 2015, y que desde el momento contribuyó en las actividades de Operación y Mantenimiento del área eléctrica, haciéndose responsable de la correcta operación de los equipos eléctricos y electrónicos que intervienen en la cadena de producción de la central, para un correcto performance y evitar paradas en la producción innecesarias, que perjudiquen el continuo abastecimiento de energía al cliente.

TERCERO: Se demostró, en este informe, que el egresado hizo uso de sus conocimientos en redes industriales, adquiridos en su etapa de preparación universitaria, para prestar el servicio de operación y mantenimiento a las redes de comunicación de la central solar Moquegua FV, donde trabajó de la mano con el área de IT (Telecomunicaciones) dentro de la compañía de Solarpack y



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

con el Centro de Control Remoto desde la central en España, brindándoles soporte técnico in situ para las tareas que fueran necesarias, para el correcto estado de las comunicaciones y envío de datos a las entidades correspondientes.

CUARTO: Se verificó, en el capítulo IV de este informe, que el egresado realizó aportes profesionales con respecto a la toma de decisiones a partir de la información obtenida de los datos recaudados por la central meteorológica y los procedimientos del Plan Anual de Mantenimiento ejecutados en la central solar Moquegua FV. A medida que fue pasando el tiempo se le otorgaron al egresado nuevas responsabilidades y ahora tenía que hacerse cargo del análisis de los datos de producción y además gestionar los trabajos de mantenimiento que se realizarían con el personal de planta o contratistas que entraran en la labor. Esto incrementó la necesidad de conocer y aplicar conocimientos de gestión y algo básico de administración para poder llevar a cabo estas tareas que corresponden. Todo este tiempo ha servido al egresado para ir incrementando sus conocimientos en la carrera y en otras áreas que suman a su crecimiento profesional. Las aspiraciones actuales del egresado son seguir escalando posiciones, dado que su experiencia y preparación lo permiten, para poder optar al cargo de jefe de operación y mantenimiento en el Perú, ya que la empresa cuenta con varios equipos de administración distribuidos en diferentes países en donde tiene sus centros de operaciones.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se debe tener en cuenta la meteorología del lugar**.** El estudio previo de la meteorología del lugar es una acción que se considera cada vez que se va ha construir una planta solar; sin embargo, las predicciones que se hacen no siempre son tan exactas dado que el clima varía dependiendo de otros fenómenos que no se pueden controlar. Es por esto que, acompañando al estudio meteorológico, es necesario llevar un estudio sociológico acerca del comportamiento del clima en los últimos 5 años, para poder conocer los cambios que sufre durante las estaciones del año y como se comporta, dado que esto afectará directamente en la producción de energía.

SEGUNDO: Se insta a tener en cuenta los horarios de mantenimiento**.** Todos los mantenimientos de planta es posible realizarlos en cualquier hora del día, pero se hace una recomendación para considerar la mayor parte de los mantenimientos en horarios de no generación, que son los horarios nocturnos, donde ya la fuerza del sol como principal fuente de energía, es muy baja para poder seguir produciendo. Dado que algunos trabajos de mantenimiento requieren la intervención invasiva de algunos equipos de producción, será necesario cortar las fuentes de alimentación lo que conlleva a la parada de algunos partes o todo el proceso de producción, afectando así la eficiencia de planta. Es por esto que en Solarpack se ha considerado la mayor parte de mantenimientos a equipos durante horas de la noche.

TERCERO: Se recalca tener en cuenta el nivel de limpieza de paneles solares. En este trabajo no hemos puesto mayor descripción a la limpieza de paneles solares, pero es un aspecto a tener muy en cuenta, dado que de esto mismo depende el nivel de eficiencia de cada uno, ya que el polvo asentado sobre cada panel disminuye la producción de los mismos. Juntamente con esto, tener también en cuenta que no exista ninguna estructura que genere algún tipo de sombra sobre los paneles, dado que esto provoca deterioro en los mismos y así la disminución de su eficiencia



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de manera considerable. Recordemos que al sombrear una célula de panel solar es como si estuviéramos deteniendo la corriente que pasa por ella y de esta manera generaremos daños sobre la misma; así también actúa la suciedad sobre los paneles solares.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ingeoexpert. (29 de Marzo de 2019). *Ingeoexpert*. Obtenido de ¿Qué es la Energía Solar Fotovoltaica y Cómo se Genera?: https://ingeoexpert.com/2019/03/29/que-es-la-energia-solar-fotovoltaica-y-como-se-genera/

Ministerio de Energía y Minas. (3 de Octubre de 2013). *Ministerio de Energía y Minas.* Obtenido de Resolucion Suprema 062-2013-EM: http://www.minem.gob.pe/archivos/legislacion-t8zz90532x48f-RS_062-2013.pdf

Ministerio de Energía y Minas. (21 de Diciembre de 2012). *Gob.pe.* Obtenido de Resolución Directorial N 348-2012-MEM-AAE: https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/363467-348-2012-mem-aae

Ministerio de Energía y Minas. (31 de Octubre de 2012). *Ministerio de Energía y Minas.* Obtenido de R.M. N 496-2012-MEM/DM: http://www.minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=6&idLegislacion=7144

Osinergmin. (Agosto de 2017). *Osinergmin.* Obtenido de Supervisión de Contratos de Proyectos de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica en Operación: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/Publicaciones/Compendio-Proyectos-GTE-Operacion-agosto-2017.pdf

Osinergmin. (Julio de 2020). *Osinergmin.* Obtenido de Supervisión de Contratos de Proyectos de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica en Operación: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/Publicaciones/Compendio-Proyectos-GTE-Operacion-julio-2020.pdf



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Osinergmin. (Setiembre de 2020). *Osinergmin*. Obtenido de Central Tacna Solar: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acordeón/Generación/1.6.3.pdf

STI-Norland. (2014). *Manual de Mantenimiento Seguidor Solar Horizontal Modelo STI-H1250.* Pamplona: -.

Solarpack. (2019). *Solarpack*. Obtenido de Nosotros: https://www.solarpack.es/nosotros/



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis