

UNIVERSIDAD DE ORIENTE.  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI.  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS.  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD.



**“ESTUDIO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE  
POZOS INYECTORES DE AGUA, EN EL AREA JUSEPÍN”.**

REALIZADO POR:  
**BERMÚDEZ MATUTE CARLOS LUÍS C.I: V-15.903.726**

Trabajo de Grado Presentado Ante la Ilustre Universidad de Oriente Como  
Requisito Parcial Para Optar al Título de:  
**INGENIERO ELECTRICISTA**

PUERTO LA CRUZ, MAYO DE 2.009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE.  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI.  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS.  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD.



**“ESTUDIO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE  
POZOS INYECTORES DE AGUA, EN EL AREA JUSEPÍN”.**

REALIZADO POR:  
**BERMÚDEZ MATUTE CARLOS LUÍS C.I: V-15.903.726**

Revisado y Aprobado por:

---

ING. VERENA MERCADO  
ASESOR ACADÉMICO

---

ING. JOSÉ INCIARTE  
ASESOR INDUSTRIAL

Trabajo de Grado Presentado Ante la Ilustre Universidad de Oriente Como  
Requisito Parcial Para Optar al Título de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

PUERTO LA CRUZ, MAYO DE 2.009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE.  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI.  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS.  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD.



**“ESTUDIO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE  
POZOS INYECTORES DE AGUA, EN EL AREA JUSEPÍN”.**

**JURADO CALIFICADOR**

El Jurado Hace Constar que Asignó a Esta Tesis la Calificación de:

---

ING. MELQUIADES BERMÚDEZ  
JURADO PRINCIPAL

---

ING. SANTIAGO ESCALANTE  
JURADO PRINCIPAL

---

ING. VERENA MERCADO  
ASESOR ACADÉMICO

---

ING. JOSÉ INCIARTE  
ASESOR INDUSTRIAL

## **DEDICATORIA.**

A Dios todo poderoso y la Virgen Santísima por brindarme salud, inteligencia, amor, fe y esperanza para cumplir con éxitos, una de nuestras grandes metas en la vida. Gracias Señor, gracias mi Bella.

A mi abuela María, mi tía Dilia, mi primo José Agustín, mi tío José, que lamentablemente no pudieron hacer presencia física, pero si espiritual.

A mis padres Eudys América Matute y Luís Antonio Bermúdez por guiarme y brindarme en todo momento el apoyo espiritual, humano y económico y las fuerzas necesarias para seguir adelante con el cumplimiento de esta gran meta. Gracias los quiero mucho.

A mis hermanos Carlos Manuel, María José, Karla Mariana, por guiarme y apoyarme en todo momento, en el cumplimiento de este gran logro. Los quiero hermanos.

A mi Tío Carlos José Bermúdez y tías Candelaria Matute, Rosa Matute, Señora Victoria por apoyarme y estar siempre atentos (as) en la culminación de este gran logro.

A mi querida prima Karla Bermúdez y cuñada Andrina Maizs, por apoyarme en todo momento en la culminación de este gran proyecto.

## **AGRADECIMIENTO.**

A la Universidad de Oriente (U.D.O.), por brindarme los conocimientos necesarios y fundamentales para adquirir la preparación profesional que tanto necesitamos, para arribar la nueva etapa que nos avecina (Mundo laboral) con la mayor inteligencia posible, en especial a los profesores del departamento de Ing. Eléctrica por sus grandes enseñanzas impartidas en clase durante toda mi carrera.

A la Ing. Verena Mercado, mi asesor académico, por el excelente apoyo, dedicación, conocimientos y orientaciones, ofrecidas para el desarrollo y cumplimiento de este gran proyecto. Por su calidad profesional que la caracteriza.

A Petróleos de Venezuela S.A, y a su Gerencia AIT (Automatización Informática y Telecomunicaciones) por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo en sus instalaciones y por los asesoramientos técnicos ofrecidos para el desarrollo de dicho trabajo. En especial al Supte: Dixón Parra, por darme la oportunidad de formar parte de la comunidad de conocimiento en los Sistemas de Energías en calidad de Tesista.

Al Ing. José Luís Inciarte, asesor industrial, por brindarme en todo momento el apoyo, orientación y conocimientos necesarios de una manera profesional, para arribar al desarrollo y cumplimiento de este proyecto.

A todo el personal profesional, compañeros y amigos que labora en la Gerencia de AIT, Distrito Norte- Jusepín. En especial a los Ingenieros Darío Suárez, Romer Palma, Frank Meza, Ramón Vásquez, Patricio Olivero, Hermis Ruiz, Luís Millán, Gonzalo Cadena, Alexander Martínez, Francisco Antequera, Julio Molla, Gladimir Soler, Anni Suárez, y Técnicos Sr. Ugatts Francisco, Ana García, Haidee Loyo, Willmer Márquez, Alfredo Lara, que de una manera muy grata contribuyeron y participaron en la facilitación de conocimientos e información necesarias para el cumplimiento de este proyecto.

A mis compañeros de estudio y amigos, en especial José Marín, que en conjunto hemos logrado cumplir esta gran meta.

A mi amigo-hermano Eduardo Marcano, por brindarme apoyo y alojamiento en los primeros momentos de la carrera.

A mis compañeros y amigos de apartamento con los que he compartido toda la carrera Alfonso, Roselyn, Natalio, Susana.

## **RESOLUCIÓN.**

De acuerdo con el artículo 44 de Trabajos de Grado.

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

## **RESÚMEN**

Los pozos inyectoros de agua utilizan para su funcionamiento automatizado de supervisión y control, un sistema fotovoltaico, constituido por un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos (Panel solar, batería, regulador, RTU, transmisor de flujo, de presión), que un correcto dimensionamiento, garantizan que las acciones de supervisión y control sobre los pozos de agua, sea efectiva. Actualmente este dimensionamiento, no es correspondido entre los paneles solares y baterías, ya que existen deficiencias de energía en el sistema de acumulación (Baterías), durante las horas nocturnas. Por lo tanto, para solventar la deficiencia de energía, se estudiarán los sistemas fotovoltaicos de los pozos inyectoros de agua, a través de un levantamiento en campo de la información técnica, al mismo tiempo, se efectuarán estudios y análisis de los parámetros eléctricos del sistema de energía a través de SCADA y finalmente se realizará un redimensionamiento en los paneles solares e incorporación de nuevas baterías.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESOLUCIÓN.....	vii
RESÚMEN.....	viii
TABLA DE CONTENIDO.....	ix
LISTA DE TABLAS.....	xvi
LISTA DE	DE
FIGURAS.....	xxiv
CAPÍTULO I.....	30
INTRODUCCIÓN.....	30
1.1 Reseña histórica de la empresa.....	30
1.1.1 Objetivos de la empresa.....	32
1.1.2 Misión de la empresa.....	33
1.1.3 Visión de la empresa.....	33
1.1.4 Estructura organizativa de la empresa.....	33
1.1.5 Gerencia de AIT.....	35
1.1.5.1 Objetivos estratégicos de AIT.....	35
1.1.5.2 Misión de AIT.....	36
1.1.5.3 Visión de AIT.....	36
1.1.5.4 Estructura organizativa de AIT.....	36
1.2 Planteamiento del problema.....	39
1.2.1 Objetivo general.....	41
1.2.2 Objetivos específicos.....	41
1.2.3 Alcance.....	42
1.2.4 Justificación y Limitaciones.....	42
1.3 Metodología.....	43
1.3.1 Técnicas de investigación.....	43
1.3.2 Tipo de investigación.....	44

1.3.3 Etapas de la investigación.....	44
CAPÍTULO II.....	46
MARCO TEÓRICO.....	46
2.1 Generalidades.....	46
2.2 Antecedentes.....	46
2.3 Celdas fotovoltaicas.....	47
2.3.1 Principio de funcionamiento de las celdas fotovoltaicos.....	48
2.3.2 Fabricación de las celdas fotovoltaicas.....	49
2.3.3 Clasificación de los módulos fotovoltaicos.....	49
2.4 Componentes del sistema fotovoltaico.....	51
2.4.1 El subsistema fotovoltaico.....	51
2.4.1.1 Condiciones estándar y NCOT.....	52
2.4.1.2 Estructura, posición y conexión de los paneles solares.....	55
2.4.1.2.1 Estructura de los paneles solares.....	55
2.4.1.2.2 Posición de los paneles solares.....	55
2.4.1.2.3 Conexión de módulos fotovoltaicos.....	57
2.4.2 El subsistema de almacenamiento.....	58
2.4.2.1 Baterías.....	58
2.4.2.2 Tipos de baterías.....	59
2.4.2.3 Voltaje de flotación de las baterías.....	65
2.4.2.4 Voltaje por celdas de diversos tipos de baterías.....	65
2.4.2.5 Condiciones de operación de las baterías en sistemas fotovoltaicos.....	66
2.4.3 El subsistema de regulación.....	70
2.4.3.1 Tipos de reguladores de cargas.....	73
2.5 Lista de aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos.....	76
2.5.1 Instalaciones aisladas de la red eléctrica.....	76
2.5.2 Instalaciones conectadas a la red eléctrica.....	77
2.5.3 Aplicaciones singulares.....	78
2.6 Producción mundial de energía solar.....	78
2.7 Vida útil de las celdas fotovoltaicas.....	80

2.8 La radiación solar.....	81
2.8.1 Elección de la inclinación de los módulos.....	84
2.8.2 Cálculo de la potencia pico del generador fotovoltaico.....	84
2.8.3 Evaluación de las pérdidas del sistema.....	85
2.9 La trayectoria solar.....	85
2.10 Impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica.....	86
2.11 Unidades terminales remotas (RTU).....	89
2.11.1 Funciones de la RTUs.....	92
2.11.2 Características Normales de la RTUs.....	93
2.11.3 Características Avanzadas de la RTUs.....	93
2.11.4 Tarjeta Procesadora de Memoria.....	94
2.12 Sistema SCADA.....	95
CAPÍTULO III.....	97
REGISTRO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA OBTENIDA EN CAMPO.....	97
3.1 Generalidades.....	97
3.2 Ubicación del campo el Furrial.....	97
3.2.1 Ubicación de pozos inyectores de agua (FUL-42-FUL-88, FUL-18, FUL27).....	98
3.3 Características técnicas de los equipos que integran el sistema fotovoltaico de los pozos inyectores de agua.....	101
3.4 Configuración energética del sistema fotovoltaico de los pozos inyectores de agua.....	101
3.4.1 Configuración energética para el FUL-42 y FUL-88 (Macolla 5).....	101
3.4.2 Configuración energética para el FUL-18.....	103
3.4.3 Configuración energética para el FUL-27.....	105
3.5 Infraestructura energética del sistema fotovoltaico de los pozos inyectores de agua.....	107
3.5.1 Infraestructura energética para los pozos Ful-42 y Ful-88, pertenecientes a Macolla 5.....	109
3.5.1.1 Valores medidos del panel solar .....	109

3.5.1.2	Valores medidos del regulador solar – cargador de baterías: .....	111
3.5.1.3	Valores medidos en las baterías .....	113
3.5.1.3.1	Valores medidos en el banco de baterías con panel solar conectado. ....	114
3.5.1.3.2	Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado.....	117
3.5.1.3.3	Valores medidos en el banco de baterías con panel solar desconectado. ....	118
3.5.1.3.4	Valores medidos en cada batería con el panel solar desconectado .....	123
3.5.2	Análisis de las mediciones obtenidas en los pozos Ful 42 y Ful-88 (Macolla 5).....	124
3.5.2.	Análisis de las mediciones obtenidas en el panel solar.....	124
3.5.2.2	Análisis de las mediciones obtenidas en el regulador solar. ....	125
3.5.2.3	Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías. ....	126
3.5.2.3.1	Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías con panel solar conectado .....	128
3.5.2.3.2	Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías con panel solar desconectado.....	129
3.5.3	Infraestructura energética para los pozos Ful-18 y Ful-27	130
3.5.3.1	Valores medidos del panel solar .....	130
3.5.3.2	Valores medidos en el regulador de voltaje–cargador de baterías.....	131
3.5.3.3	Valores medidos en las baterías .....	132
3.5.3.3.1	Valores medidos en el banco de baterías con panel solar conectado .....	132
3.5.3.3.2	Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado .....	135
3.5.3.3.3	Valores medidos en el banco de baterías con panel solar desconectado. ....	137

3.5.3.3.4	Valores medidos en cada batería con el panel solar desconectado .....	138
3.5.4	Análisis de las mediciones obtenidas en los pozos Ful 18 y Ful-27.....	139
3.5.4.1	Análisis de las mediciones obtenidas en el panel solar par los pozos Ful 18 y Ful-27. ....	139
3.5.4.2	Análisis de las mediciones obtenidas en el regulador solar para los pozos Ful 18 y Ful-27. ....	140
3.5.4.	Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías para los pozos Ful 18 y Ful-27.....	141
3.5.4.3.1	Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías con el panel solar conectado y desconectado para el pozo Ful 18.....	142
3.5.4.3.2	Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías con el panel solar conectado y desconectado para el pozo Ful 27.....	144
3.6	Monitoreo de los parámetros eléctricos de baterías y panel solar a través SCADA.....	145
3.6.1	Desconexión de los equipos de campo y conexión de la tarjeta HDI (Hart Dívce Interface).....	146
3.6.2	Configuración de los Jumpers en la RTU.....	147
3.6.3	Conexión de los equipos de campo hacia la tarjeta HDI.....	148
3.6.4	Conexión del circuito divisor de tensión para las baterías y panel solar.....	149
CAPÍTULO IV.....		151
ESTUDIO DE LOS PARAMETROS ELÉCTRICOS A TRAVÉS DE SCADA.....		151
4.1	Generalidades.....	151
4.2	Tendencias del voltaje de baterías.....	152
4.3	Tendencias del voltaje de panel solar obtenidas a través de SCADA.....	157
4.4	Tendencias del voltaje de batería y panel solar obtenidas por EXCEL.....	161
4.4.1	Tendencias del voltaje de baterías obtenidas por Excel.....	161
4.4.2	Tendencias del voltaje del panel solar obtenidas por Excel.....	164
CAPÍTULO V.....		168

ANÁLISIS DE LOS PARAMETROS ELÉCTRICOS A TRAVÉS DE SCADA.....	168
5.1 Generalidades.....	168
5.2 Descripción de la pantalla gráfica de las tendencias del voltaje de baterías obtenidas por SCADA.....	168
5.3 Análisis de las tendencias del voltaje de baterías, obtenidas por SCADA...	170
5.4 Descripción de la pantalla grafica de las tendencias del voltaje del panel solar, obtenidas por SCADA.....	173
5.5 Análisis de las tendencias del voltaje de panel solar, obtenidas por SCADA.....	174
5.6 Análisis de las tendencias del voltaje de baterías y panel solar, obtenidas por EXCEL.....	174
5.6.1 Análisis de las tendencias del voltaje de baterías obtenidas por EXCEL.....	175
5.6.2 Análisis de las tendencias del voltaje del panel solar, obtenidas por EXCEL.....	176
CAPÍTULO VI.....	177
PROPUESTA DE MEJORAS A CORTO Y MEDIANO PLAZO.....	177
6.1 Generalidades.....	177
6.2 Descripción de la problemática actual.....	177
6.3 Propuesta de mejoras a corto y mediano plazo.....	179
6.3.1 Redimensionamiento de los paneles solares.....	179
6.3.2 Incorporación de nuevas baterías.....	187
6.4 Evaluación Económica del sistema complementario.....	189
6.5 Configuración energética final de los pozos Ful-42 y Ful-88, pertenecientes a Macolla 5.....	190
CONCLUSIONES.....	192
RECOMENDACIONES.....	194
BIBLIOGRAFÍA.....	196

ANEXO

A.....;Error!

**Marcador no definido.**

ANEXO

B.....;Error!

**Marcador no definido.**

ANEXO

C.....;Error!

**Marcador no definido.**

ANEXO

D.....;Error!

**Marcador no definido.**

ANEXO

E.....;Error!

**Marcador no definido.**

ANEXO

F.....;Error!

**Marcador no definido.**

ANEXO

G.....;Error!

**Marcador no definido.**

ANEXO

H.....;Error!

**Marcador no definido.**

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Pilas desechables.....	64
Tabla 2.2 Baterías que acumulan grandes cantidades de energía .....	64
Tabla 2.3 Potencia FV instalada hacia fines de 2004.....	79
Tabla 2.4 Plantas de energía FV más grandes del mundo.....	79
Tabla 3.1 Características técnicas de los equipos .....	101
Tabla 3.2 Valores nominales de panel solar en cada pozo.....	107
Tabla 3.3 Valores nominales del regulador solar en cada pozo.....	108

Tabla 3.4 Capacidad de las baterías utilizadas en los pozos .....	108
Tabla 3.5 Valores medidos del panel solar .....	110
Tabla 3.6 Valores medidos del regulador solar.....	113
Tabla 3.7 Valores obtenidos por variaciones de la resistencia.....	115
Tabla 3.8 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar conectado.....	116
Tabla 3.9 Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado .....	117
Tabla 3.10 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar desconectado .....	123
Tabla 3.11 Valores medidos en cada batería con el panel solar desconectado ...	123
Tabla 3.12 Valores medidos en el panel solar para el Ful-18 .....	130
Tabla 3.13 Valores medidos en el panel solar para el Ful-27 .....	131
Tabla 3.14 Valores medidos en el regulador solar para el Ful-18 .....	131
Tabla 3.15 Valores medidos en el regulador solar para el Ful-27 .....	131
Tabla 3.16 Valores obtenidos por variaciones de la resistencia para el Ful-18..	132
Tabla 3.17 Valores obtenidos por variaciones de la resistencia para el Ful-27..	133
Tabla 3.18 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar conectado para el Ful-18 .....	135
Tabla 3.19 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar conectado para el Ful-27 .....	135
Tabla 3.20 Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado para el Ful-18.....	135
Tabla 3.21 Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado para el Ful-27 .....	136
Tabla 3.22 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar desconectado para el Ful-18.....	137
Tabla 3.23 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar desconectado para el Ful-27.....	137
Tabla 3.24 Valores medidos en cada batería con el panel solar desconectado para el Ful-18 .....	138

Tabla 3.25 Valores medidos en cada batería con el panel solar desconectado para el Ful-27 .....	139
Tabla 4.1 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 14/11/07 .....	153
Tabla 4.2 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 15/11/07 .....	153
Tabla 4.3 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 16/11/07 .....	154
Tabla 4.4 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 17/11/07 .....	155
Tabla 4.5 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 18/11/07 .....	156
Tabla 4.6 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 27/11/07 .....	157
Tabla 4.7 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 14/11/07 .....	158
Tabla 4.8 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 15/11/07 .....	159
Tabla 4.9 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 16/11/07 .....	160
Tabla 4.10 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 14/11/07 .....	166
Tabla 4.11 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 15/11/07 .....	166
Tabla 4.13 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 16/11/07 .....	167
Tabla 6.1 Características técnicas del panel solar .....	185
Tabla 6.2 Características técnicas de las baterías Saft Sunica 38-1 .....	187
Tabla 6.3 Evaluación económica 1 .....	189
Tabla C.1 Especificaciones técnicas del panel solar Bp 585 F; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla C.2.1 Especificaciones técnicas de batería Sun 38-1; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla C.2.2 Especificaciones técnicas de batería Sun 38-1; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla D.1 Representación simbólica de las Plumas; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla E.1 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 19/11/07 ..... <b>Error! Marcador no definido.</b>	

Tabla E.2 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 20/11/07 .....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.3 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 21/11/07 .....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.4 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 22/11/07 .....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.5 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 23/11/07 .....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.6 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 24/11/07 .....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.7 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 25/11/07 .....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.8 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 26/11/07 .....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.9 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 28/11/07 .....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.10 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 29/11/07 ....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.11 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 30/11/07 ....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.12 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 01/12/07 ....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.13 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 02/12/07 ....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.14 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 03/12/07 ....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.15 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 04/12/07 ....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.16 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 05/12/07 ....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

Tabla E.17 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 06/12/07 ....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla E.18 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 07/12/07 ....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla E.19 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 08/12/07 ....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla E.20 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 09/12/07 ....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla E.21 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 10/12/07 ....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla E.22 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 11/12/07 ....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla F.1 Captura de Datos del voltaje del panel solar para el día 17/11/07 **¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla F.2 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 18/11/07. **¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla F.3 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 19/11/07. **¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla E.4 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 20/11/07 **¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla F.5 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 21/11/07. **¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla F.6 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 22/11/07. **¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla F.7 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 23/11/07. **¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla F.8 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 24/11/07. **¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla F.9 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 25/11/07. **¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Tabla F.10 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 26/11/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.11 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 27/11/07 **¡Error!  
Marcador no definido.**

Tabla F.12 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 28/11/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.14 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 30/11/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.15 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 01/12/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.16 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 02/12/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.17 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 03/12/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.18 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 04/12/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.19 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 05/12/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.20 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 06/12/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.21 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 07/12/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.22 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 08/12/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.23 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 09/12/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.24 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 10/12/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla F.25 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 11/12/07  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla H.1 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 17/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.2 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 18/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.3 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 19/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.4 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 20/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.5 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 21/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.6 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 22/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.7 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 23/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.8 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 24/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.9 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 25/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.10 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 26/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.11 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 27/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.12 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 28/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.13 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 29/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.14 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 30/11/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla H.15 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 01/12/07 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

Tabla H.16 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 02/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla H.17 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 03/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla H.18 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 04/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla H.19 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 05/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla H.20 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 06/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla H.21 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 07/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla H.22 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 08/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla H.23 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 09/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla H.24 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 10/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla H.25 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 11/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.2 Estructura para AIT E y P Oriente.....	37
Figura 1.3 Estructura para AIT EyP Distrito Norte .....	38
Figura 2. 1 Principio de funcionamiento.....	49
Figura 2.2 Modulo fotovoltaico monocristalino. ....	50
Figura 2.3 Modulo fotovoltaico policristalino. ....	50
Figura 2.4 Construcción de un módulo fotovoltaico.....	52
Figura 2.5 Curva de características de un panel fotovoltaico .....	53
Figura 2.7 Orientación de Paneles Solares.....	56
Figura 2.8 Esquema de baterías de Níquel Cadmio .....	60
Figura 2.9 Baterías de Plomo Acido .....	61
Figura 2.10 Capacidad de energía de los diferentes tipos de baterías.....	63
Figura 2.11 Comparación de masa necesaria para producir 1 Amp. ....	63
Figura 2.12 Variación en el tiempo del estado de carga en una batería de una instalación típica. ....	67
Figura 2.13 Coordenadas del punto de máxima potencia para irradiancias desde 200W/m <sup>2</sup> a 100 W/m <sup>2</sup> .....	72
Figura 2.14 Ubicación del diodo de bloqueo .....	72

Figura 2.16 Principio de operación de un regulador en serie.....	74
Figura. 2.17. Principio de operación de un protector de sobredescarga .....	75
Figura 2.18 Circuito recomendado para baterías conectadas en paralelo .....	75
Figura 2.19 Movimiento aparente del sol en la bóveda celeste en función de la hora del día y la época del año. ....	86
Figura 2.20 Elementos contenidos en una RTU.....	90
Figura 2.21 Arquitectura de una RTU.....	91
Figura 2.22 Arquitectura de una tarjeta procesadora de memoria .....	95
Figura 3.1 Ubicación del Yacimiento Petrolífero del Campo el Furrrial .....	98
Figura 3.2 Ubicación de los pozos FUL-42 y FUL-88 en el Hato “Nuevo Limón”.....	99
Figura 3.3 Ubicación de los pozos FUL-18 y FUL-27 en el Hato “El Tranquero”.....	100
Figura 3.4 Configuración energética del sistema fotovoltaico de Macolla 5.....	102
Figura 3.5 Configuración energética del sistema fotovoltaico del FUL-18.....	104
Figura 3.6 Configuración energética del sistema fotovoltaico del FUL-27.....	106
Figura 3.7: Arquitectura interna del regulador solar. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 3.8: Mediciones del panel solar realizadas en el regulador solar .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 3.9: Mediciones del regulador solar.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 3.10 Desconexión de baterías en el banco de baterías.....	113
Figura 3.11 Mediciones en el banco de baterías .....	114
Figura 3.12 Mediciones realizadas en el banco de baterías .....	115
Figura 3.13 Medición de voltaje en cada batería que conforman el banco.....	117
Figura 3.14 Mediciones en el banco de baterías con el panel solar desconectado.....	119
Figura 3.15 Medición de la corriente mínima en el banco de baterías. ....	121
Figura 3.16 Medición de la corriente máxima en el banco de baterías.....	122
Figura 3.17 Desconexión de equipos de las entradas analógicas de la RTU. ....	146
Figura 3.18 Conexión de la tarjeta HDI a la RTU .....	147

Figura 3.19. Configuración de Jumpers en la RTU .....	148
Figura 3.20. Conexión y configuración de los equipos de campo. ....	148
Figura 3.21 Circuito divisor de tensión.....	149
Figura 3.22 Conexión del circuito divisor de tensión para las baterías. ....	149
Figura 3.23. Conexión del circuito divisor de tensión para el panel solar .....	150
Figura 4.1 Tendencia del voltaje de baterías para el día 14/11/07.....	152
Figura 4.2 Tendencia del voltaje de baterías para el día 15/11/07.....	153
Figura 4.3 Tendencia del voltaje de baterías para el día 16/11/07.....	154
Figura 4.4 Tendencia del voltaje de baterías para el día 17/11/07.....	155
Figura 4.5 Tendencia del voltaje de baterías para el día 18/11/07.....	156
Figura 4.6 Tendencia del voltaje de baterías para el día 27/11/07.....	157
Figura 4.7 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 14/11/07.....	158
Figura 4.8 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 15/11/07.....	159
Figura 4.9 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 16/11/07.....	160
Figura 4.10 Tendencia del voltaje de baterías para el 14/11/07.....	162
Figura 4.11 Tendencia del voltaje de baterías para el 15/11/07.....	162
Figura 4.12 Tendencia del voltaje de baterías para el 16/11/07.....	163
Figura 4.13 Tendencia del voltaje de baterías para el 17/11/07.....	163
Figura 4.14 Tendencia del voltaje de baterías para el 18/11/07.....	164
Figura 4.15 Tendencia del voltaje de baterías para el 27/11/07.....	164
Figura 4.16 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 14/11/07 .....	165
Figura 4.17 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 15/11/07 .....	166
Figura 4.18 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 16/11/07 .....	167
Figura 5.1 Descripción de la pantalla gráfica.....	169
Figura 5.2 Descripción de la pantalla grafica.....	173
Figura 6.1 Nuevo Arreglo fotovoltaico de pozos FUL-42 y FUL-88 (Macolla 5).....	186

Figura 6.2 Configuración energética final de los pozos FUL-42 y FUL-88 (Macolla 5).....	191
Figura A.1 Caseta de los pozos FUL-42 y FUL-88; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Figura A.2 Configuración de paneles solares para los pozos FUL-42 y FUL-88.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.3 Regulador solar-cargador de baterías de los pozos FUL-42 y FUL-88.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.4 Banco de baterías de los pozos FUL-42 y FUL-88; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Figura A.5 RTU de los pozos FUL-42 y FUL-88 .	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.6 Transmisor de flujo y transmisor de presión del pozo FUL-42 .	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.7 Transmisor de flujo y transmisor de presión del pozo FUL-88 .	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.8 Caseta del pozo FUL-18 .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.9 Regulador solar-cargador de baterías del pozo FUL-18.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.10 Banco de baterías del pozo FUL-18 .	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.11 RTU del pozo FUL-18.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.12 Caseta del pozo FUL-27 .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.13 Configuración de paneles solares del pozo FUL-27.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.14 Configuración de paneles solares del pozo FUL-27.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.15 Disposición del regulador solar y de la RTU en el pozo FUL-27 .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.16 RTU del pozo FUL-27.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b>
Figura A.17 Banco de baterías del pozo FUL-27 .	; <b>Error! Marcador no definido.</b>

Figura D.1 Ventana de entrada al sistema..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.2 Diagrama del Desktop de OASYS ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.3 Región de visualización principal del Desktop;**¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.4 Barra de Herramientas del Sistema..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.5. Botones de función de la Barra de Herramientas del Sistema...;**¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.6. Icono de selección de despliegues del sistema;**¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.7.Ventana de Selección de Despliegue del Sistema;**¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.8 Ejemplo típico de un Despliegue de Tendencias;**¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.9 Menú del cursor de datos ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura E.1 Tendencia del voltaje de baterías para el día 19/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura E.2 Tendencia del voltaje de baterías para el día 20/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura E.3 Tendencia del voltaje de baterías para el día 21/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura E.4 Tendencia del voltaje de baterías para el día 22/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura E.5 Tendencia del voltaje de baterías para el día 23/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura E.6 Tendencia del voltaje de baterías para el día 24/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura E.7 Tendencia del voltaje de baterías para el día 25/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura E.8 Tendencia del voltaje de baterías para el día 26/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura E.9 Tendencia del voltaje de baterías para el día 28/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.10 Tendencia del voltaje de baterías para el día 29/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.11 Tendencia del voltaje de baterías para el día 30/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.12 Tendencia del voltaje de baterías para el día 01/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.13 Tendencia del voltaje de baterías para el día 02/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.14 Tendencia del voltaje de baterías para el día 03/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.15 Tendencia del voltaje de baterías para el día 04/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.16 Tendencia del voltaje de baterías para el día 05/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.17 Tendencia del voltaje de baterías para el día 06/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.18 Tendencia del voltaje de baterías para el día 07/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.19 Tendencia del voltaje de baterías para el día 08/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.20 Tendencia del voltaje de baterías para el día 09/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.21 Tendencia del voltaje de baterías para el día 10/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura E.22 Tendencia del voltaje de baterías para el día 11/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.1 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 17/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.2 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 18/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.3 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 19/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.4 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 20/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.5 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 21/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.6 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 22/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.7 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 23/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.8 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 24/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.9 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 25/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.10 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 26/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.11 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 27/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.12 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 28/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.14 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 30/11/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.15 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 01/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.16 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 02/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.17 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 03/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.18 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 04/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.19 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 05/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.20 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 06/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.21 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 07/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.22 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 08/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.23 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 09/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.24 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 10/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura F.25 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 11/12/07 .....**¡Error!**  
**Marcador no definido.**

Figura G.1 Tendencia del voltaje de baterías para el 19/11/07.**¡Error!** **Marcador no definido.**

Figura G.2 Tendencia del voltaje de baterías para el 20/11/07.**¡Error!** **Marcador no definido.**

Figura G.3 Tendencia del voltaje de baterías para el 21/11/07.**¡Error!** **Marcador no definido.**

Figura G.4 Tendencia del voltaje de baterías para el 22/11/07.**¡Error!** **Marcador no definido.**

Figura G.5 Tendencia del voltaje de baterías para el 23/11/07;**¡Error!** **Marcador no definido.**

Figura G.6 Tendencia del voltaje de baterías para el 24/11/07;**¡Error!** **Marcador no definido.**

Figura G.7 Tendencia del voltaje de baterías para el 25/11/07;**¡Error!** **Marcador no definido.**

Figura G.8 Tendencia del voltaje de baterías para el 26/11/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.9 Tendencia del voltaje de baterías para el 28/11/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.10 Tendencia del voltaje de baterías para el 29/11/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.11 Tendencia del voltaje de baterías para el 30/11/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.12 Tendencia del voltaje de baterías para el 01/12/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.13 Tendencia del voltaje de baterías para el 02/12/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.14 Tendencia del voltaje de baterías para el 03/12/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.15 Tendencia del voltaje de baterías para el 04/12/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.16 Tendencia del voltaje de baterías para el 05/12/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.17 Tendencia del voltaje de baterías para el 06/12/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.18 Tendencia del voltaje de baterías para el 07/12/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.19 Tendencia del voltaje de baterías para el 08/12/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.20 Tendencia del voltaje de baterías para el 09/12/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.21 Tendencia del voltaje de baterías para el 10/12/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura G.22 Tendencia del voltaje de baterías para el 11/12/07;**Error! Marcador no definido.**

Figura H.1 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 17/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.2 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 18/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.3 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 19/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.4 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 20/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.5 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 21/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.6 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 22/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.7 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 23/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.8 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 24/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.9 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 25/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.10 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 26/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.11 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 27/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.12 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 28/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.13 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 29/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.14 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 30/11/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.15 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 01/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.16 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 02/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.17 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 03/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.18 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 04/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.19 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 05/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.20 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 06/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.21 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 07/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.22 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 08/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.23 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 09/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.24 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 10/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura H.25 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 11/12/07 ..... **¡Error! Marcador no definido.**



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Reseña histórica de la empresa

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), es una empresa del Estado que se encarga del desarrollo de la industria petrolera, petroquímica y carbonífera del país, así como de planificar, coordinar, supervisar y controlar las actividades operativas de las divisiones, tanto en Venezuela como en el exterior. Venezuela posee una de las cuencas sedimentarias más prolíferas del mundo. Aún cuando el primer registro de producción nacional de petróleo data de 1878, fue a partir de 1914, cuando comenzó la producción comercial con la perforación del descubrimiento de la gran cuenca del lago de Maracaibo. En el mes de Julio comenzó la producción con un aporte diario de 250 barriles de petróleo de 19 grados API.

A partir de ese momento comenzaron a asentarse en nuestro país importantes empresas transnacionales como: CREOLE, CHEVRON, SHELL, etc. las cuales realizaban la totalidad de las operaciones petroleras a cambio de un impuesto para el Estado. Estas transnacionales fueron dueñas del negocio petrolero hasta el 29 de agosto de 1975, día en que se promulgó la Ley de Reserva del Estado de la Industria y el Comercio de los Hidrocarburos, conocida comúnmente como la Ley de Nacionalización del Petróleo, acto histórico realizado en el pozo Zumaque I.

A partir de enero de 1975 se nacionaliza la industria petrolera y se crea la empresa Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), según decreto 1.123. De esta manera, el único accionista es el Estado, representado en la Asamblea por el

Ministerio de Energía y Minas. A partir de la nacionalización se crean 12 compañías, las cuales son: AMOVEN, BARIVEN, BOSCAVEN, DELTAVEN, GUARIVEN, LAGOVEN, MARAVEN, MENEVEN, PALMAVEN, ROQUEVEN, Y TALOVEN.

Analizando las ventajas que se lograrían mediante una organización del cuadro organizativo y administrativo de la industria, se procedió después de estudios, a llevar a cabo una disminución operativa y la integración PDVSA; con lo cual la estructura organizativa de la Industria Petrolera Nacional quedó reducido a cuatro filiales operadoras: CORPOVEN, LAGOVEN, MARAVEN y MENEVEN, más una sociedad anónima PEQUIVEN, creada en 1978 para la explotación de la industria petroquímica del país, y la fundación INTEVEP (Centro de Investigación y Apoyo Tecnológico filial de Petróleos de Venezuela), para la investigación y tecnología.

El 14 de julio de 1997 PDVSA dio inicio al proceso de restauración más importante desde la nacionalización de la industria como respuesta inaplazable de las necesidades de hoy y a los retos del futuro. Dicho proceso de restauración significaba reconfigurar el papel de la casa matriz y consolidar la nueva estructura operativa basada en unidades funcionales.

En la actualidad, más de 80 años después de la primera explotación comercial, Venezuela avanza en la consolidación del desarrollo de su industria petrolera para afianzar su posición de primer orden en el sector energético mundial. A partir del primero de enero de 1998, se consolida la transformación de la industria petrolera donde desaparecen las empresas filiales quedando solo PDVSA, la cual está constituida por tres grandes divisiones, dedicadas a las actividades principales del negocio: PDVSA Exploración y Producción, PDVSA Mercadeo y PDVSA Servicios. Asimismo, existen otras empresas filiales de PDVSA: CIED, INTEVEP, PALMAVEN, SIFP, las cuales tienen como función

principal, adiestramiento y capacitación, investigación y desarrollo, apoyo al sector agroindustrial venezolano, además de promoción de inversión

### **1.1.1 Objetivos de la empresa**

PDVSA es una empresa perteneciente integralmente al Estado Venezolano, la cual tiene como objetivos específicos realizar las actividades de exploración, producción, exportación, almacenamiento, transporte, refinación y comercialización del petróleo y demás hidrocarburos; además, se encarga de extraer y purificar el gas, para transportarlos por los gasoductos, almacenarlos y tratarlo en plantas, una de ellas, la más moderna de Latinoamérica como lo es el Criogénico de José (Criogénico José Antonio Anzoátegui). Dirigiendo todos los esfuerzos de producción a generar los productos, que le permitan mantenerse como el principal motor de la industria venezolana.

Aprovechar nuevas oportunidades de mercado con el desarrollo de nuevos negocios con terceros, haciendo especial énfasis en proseguir con la política de fomentar la exploración y producción de los recursos orgánicos de la faja petrolera del Río Orinoco.

Sin embargo, PDVSA no se ha limitado nada más al ámbito petrolero. También dedica esfuerzos en actividades culturales, deportivas, sociales y económicas, mediante programas de aplicación y desarrollo urbanístico; preservación del medio ambiente, asistencia medica, programa de reforestación y arborización, y colaboración activa con diferentes organizaciones dirigidas a la formación de recursos humanos en él área agropecuaria y al mejoramiento del medio rural. Esto lo logra mediante el apoyo a las comunidades profundizando la inversión social y los convenios de asistencia a las diferentes organizaciones con la finalidad de crear sólidas bases para potenciar el desarrollo de las poblaciones que cohabitan en sus áreas operativas. Además es reconocida internacionalmente como la empresa líder de creación de valor en el negocio de producción y de

hidrocarburos, a través del aprovechamiento óptimo de sus yacimientos, la eficiencia operacional y la introducción oportuna de nuevas tecnologías; con gente de primera, preparada y motivada, preservando su integridad y la de los activos, en total armonía con el medio ambiente y entorno.

### **1.1.2 Misión de la empresa**

Maximizar la explotación de las reservas de hidrocarburos eficientes, segura y rentable; en armonía con el ambiente, promoviendo el desarrollo, la seguridad y la calidad de vida del trabajador así como el crecimiento de la región.

### **1.1.3 Visión de la empresa**

Ser líderes en la exploración y producción eficiente, rentable y segura de crudos pesados y extrapesados en el mediano plazo; reconocidos como proveedor confiable, por la capacidad técnica y la excelencia de la gente.

### **1.1.4 Estructura organizativa de la empresa**

PDVSA., para su mejor funcionamiento y fluidez, divide sus obras de trabajo en distintas operaciones; en las cuales funciona una Gerencia Distrital, seguida con una estructura organizativa basada en unidades básicas de operaciones y unidades básicas administrativas. En la figura 1.1 se puede apreciar su estructura.

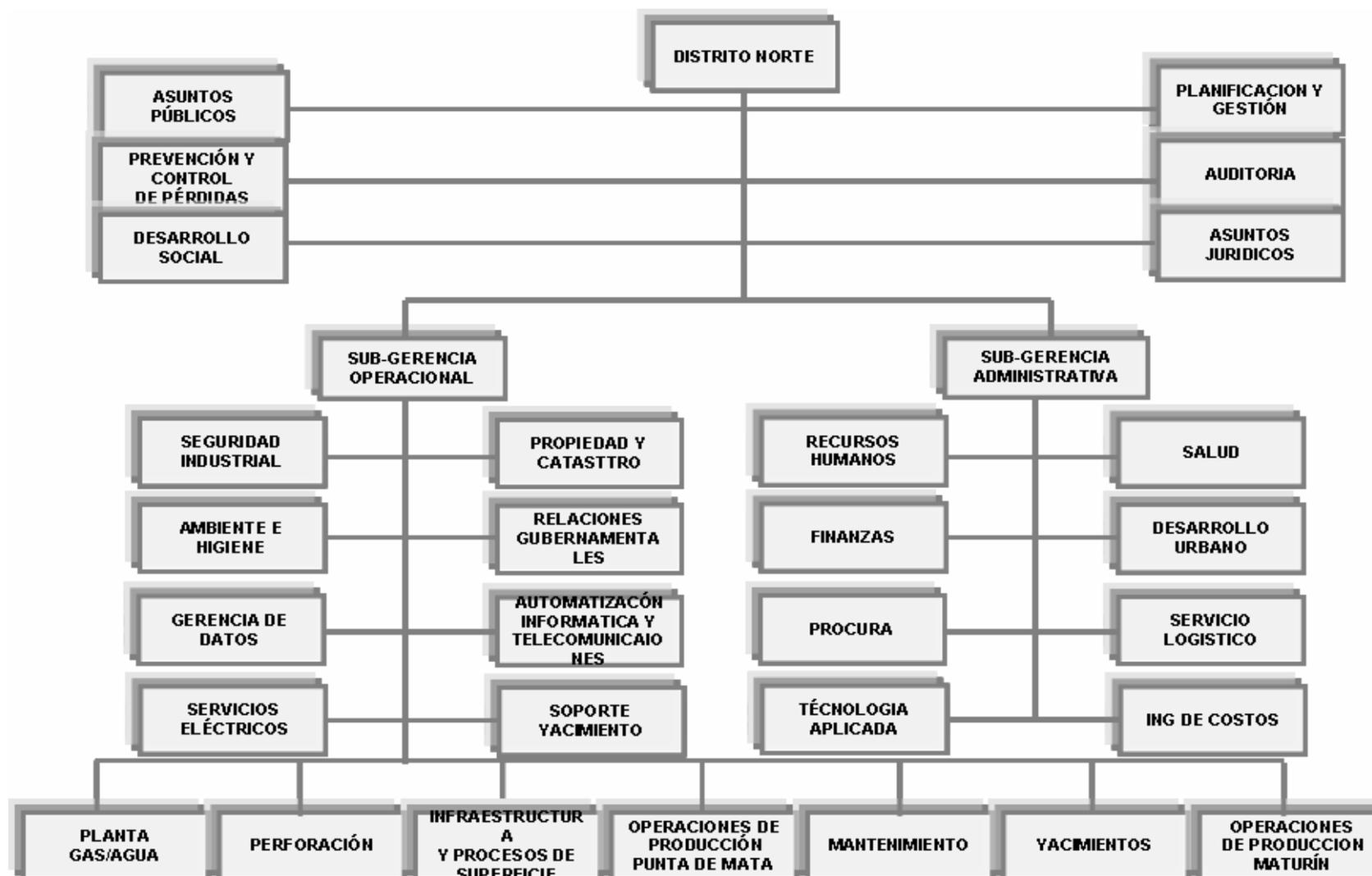


Figura 1.1 División Distrito Norte.

### **1.1.5 Gerencia de AIT**

AIT declarado por sus siglas como la Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones de PDVSA, se conformo en el año 2003 con la integración de la administración, control y supervisión de los sistemas informáticos y el componente de telecomunicaciones y automatización, como una parte integral de los sistemas de comunicación de PDVSA.

#### **1.1.5.1 Objetivos estratégicos de AIT**

- ❖ Garantizar la plataforma de automatización, tecnología de información y comunicaciones, única, segura, integrada y coherente, que asegure el desempeño eficiente de las actividades medulares de la corporación y apalanque la tecnología en el estado y la nación.
- ❖ Apalancar con tecnología de AIT el desarrollo eficiente de las actividades de los distintos negocios de la cadena de valor.
- ❖ Habilitar la implantación de los sistemas corporativos que soportan la transparencia y rendición de cuenta de la corporación.
- ❖ Promover con investigación tecnológica la innovación y el afianzamiento de la Soberanía Tecnológica.
- ❖ Impulsar el desarrollo y estabilización de un ecosistema tecnológico que provea productos y servicios a la corporación y que genere a la vez nuevas fuentes de riqueza para la nación.

### **1.1.5.2 Misión de AIT**

Es la organización que rige, provee y mantiene los servicios y soluciones integrales de tecnologías de automatización, información y comunicaciones de la corporación; contribuye a mantener su continuidad operativa y a ejecutar sus planes; innovando y actuando como agentes de transformación en PDVSA y en la sociedad venezolana con corresponsabilidad con la sociedad en materia social, económica y ambiental; potenciando un ecosistema tecnológico que impulsa los poderes creadores del pueblo, el conocimiento libre, el desarrollo endógeno sustentable y la economía social productiva para lograr la soberanía tecnológica; alineados con la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela y en coordinación con nuestros organismos rectores.

### **1.1.5.3 Visión de AIT**

Soberanía plena en soluciones AIT (Automatización Informática y Telecomunicaciones) para el sector energético aportando valor social.

### **1.1.5.4 Estructura organizativa de AIT**

Dentro de la estructura organizativa de AIT, se encuentra AIT EyP Oriente y AIT EyP Distrito Norte, las cuales se muestran en la figuras 1.2 y 1.3 respectivamente

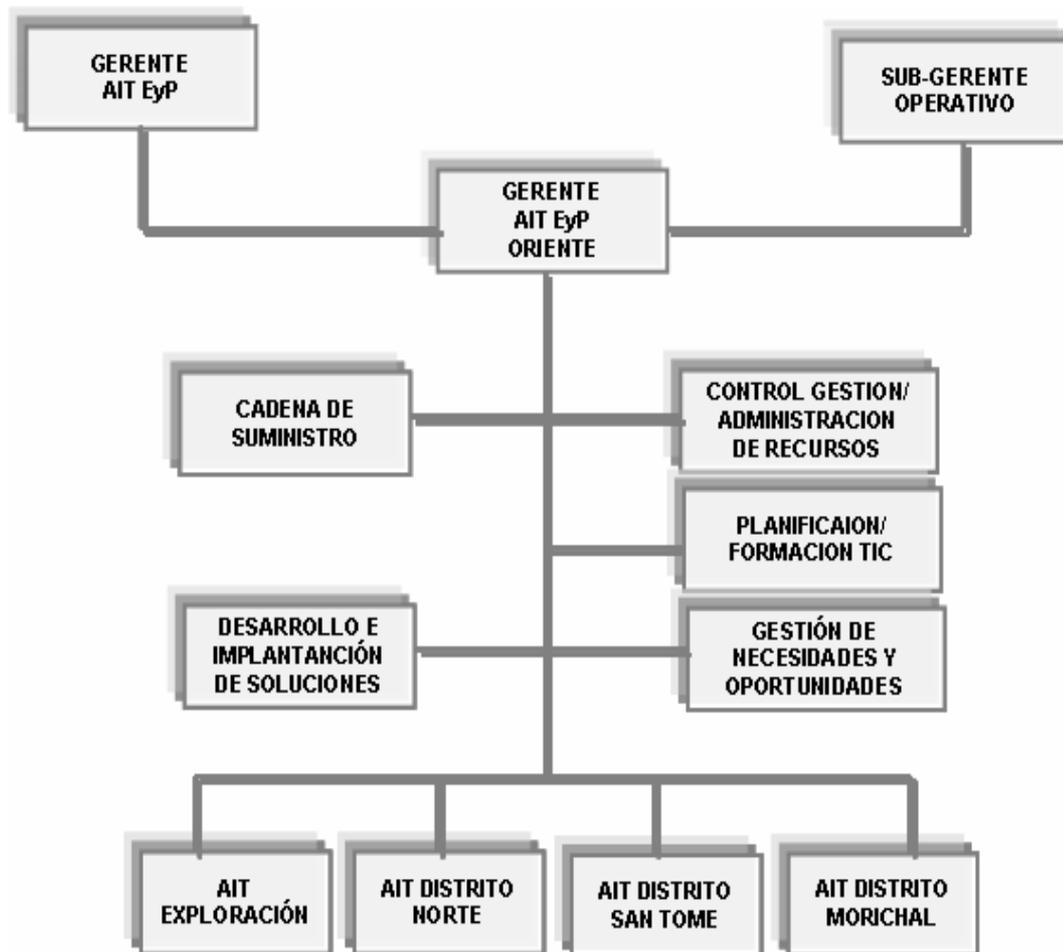


Figura 1.2 Estructura para AIT E y P Oriente

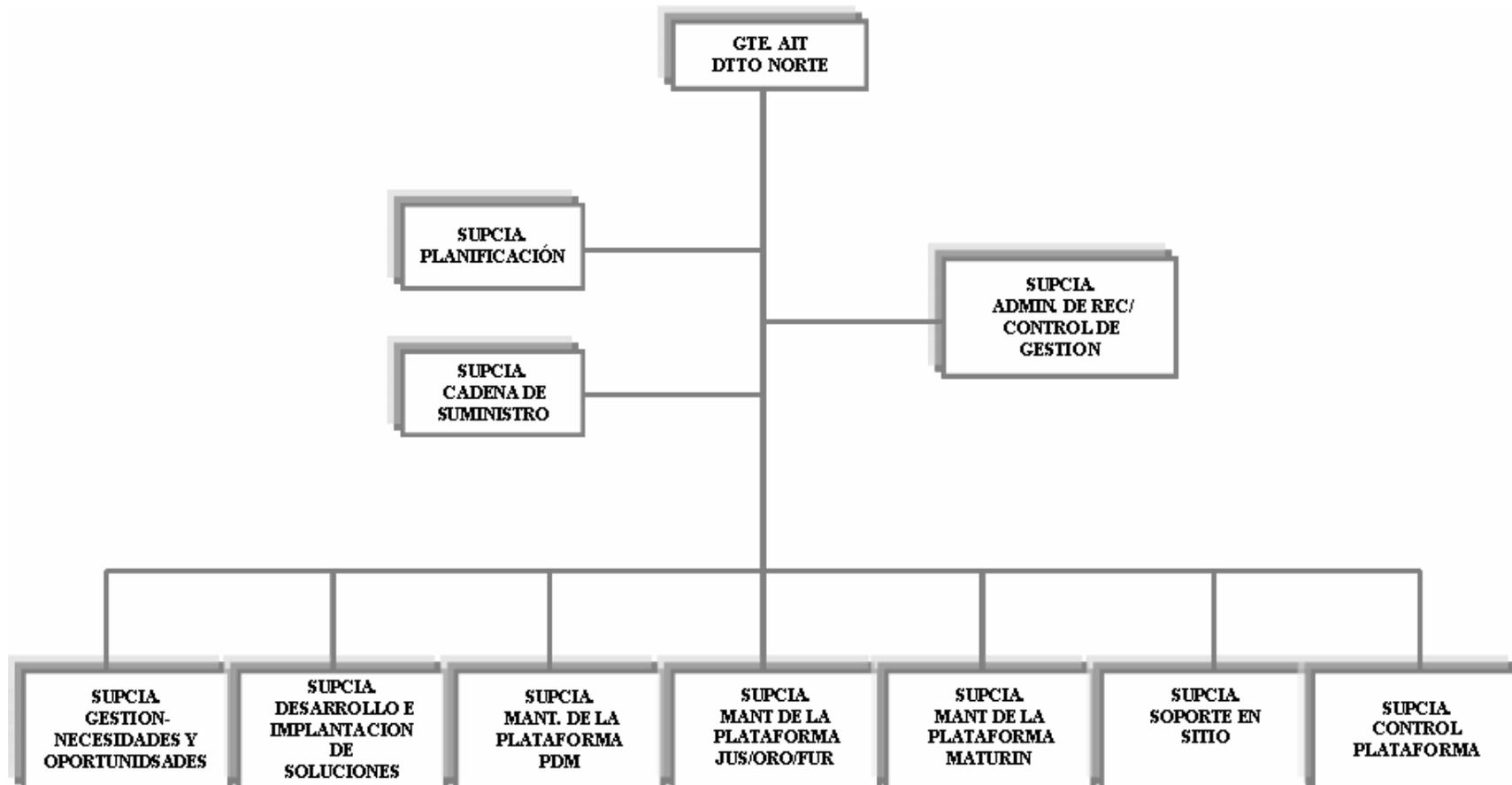


Figura 1.3 Estructura para AIT EyP Distrito Norte

## **1.2 Planteamiento del problema**

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) es la corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela creada en 1975 por la Ley Orgánica que reserva al estado la industria y el comercio de los hidrocarburos. Es una corporación mundial de energía, propiedad del Estado Venezolano, con actividades operacionales y comerciales dentro y fuera de Venezuela. Sus operaciones abarcan la exploración, explotación, refinación, transporte y distribución de hidrocarburos, así como los negocios de Orimulsión, química, petroquímica gas y carbón, en los que también promueve la máxima participación privada.

En diciembre de 2002 hasta febrero de 2003 PDVSA sufrió un cese en sus actividades debido a un paro convocado por los trabajadores, hecho ocurrido por la situación política que vivía el país en dicha fecha, para este entonces los sistemas informáticos (cerebro de la empresa) eran administrados por una empresa externa que se suma a este paro. Una vez recuperado el control de las operaciones, la administración, control y supervisión de los sistemas informáticos se integran al componente de telecomunicaciones y automatización, para conformar la Gerencia de AIT (Automatización, Informática y Telecomunicaciones) como una parte integral de los sistemas de comunicación de PDVSA y que actualmente administran, mantienen y generan todos los servicios contemplados en sus funciones y procesos.

A los 32 años de su creación, PDVSA es una de las compañías energéticas más importantes del país. Esta posición de liderazgo, se soporta en la fortaleza de un recurso humano que trabaja para construir la corporación energética de referencia mundial por excelencia y cuyo talento transforma en progreso para la humanidad, la inmensa base de recursos de Venezuela. Dirigiendo todos los esfuerzos de producción a generar los productos que la hagan mantenerse como el principal motor de la industria venezolana.

En la actualidad el petróleo en Venezuela, se ha convertido en el principal recurso energético de gran consumo e importancia. Esto ha traído como consecuencia, la implementación de nuevas tecnologías que proporcionen un mejor desempeño en el dominio y supervisión de los yacimientos petrolíferos. Cabe destacar que en estos yacimientos existen pozos destinados a la extracción del petróleo (Pozos de Crudo) y pozos que ayudan a mantener dicha extracción (Pozos Inyectores de Agua).

En el Estado Monagas, en la vía principal Furrial – Punta de Mata a 45 kilómetros de la ciudad de Maturín, se ubica el Hato Nuevo Limón; con un yacimiento petrolífero de alrededor 132 pozos de crudo y 51 pozos inyectores de agua.

Los pozos inyectores de agua utilizan para su funcionamiento automatizado de supervisión y control, un sistema fotovoltaico con paneles solares de 85 vatios de potencia, un regulador solar, un banco de 20 baterías de Níquel-Cadmio (1.2 Volts c/u), la Unidad Terminal Remota (RTU), convertidor DC-DC de 24 a 12 Volts y un radio transmisor de 12 Volts. Asociados a la RTU se encuentran los instrumentos de campo que registran flujo y presiones del pozo.

Los sistemas fotovoltaicos actualmente instalados, presentan deficiencias en el suministro de energía durante las horas nocturnas. En esos intervalos de tiempo la carga almacenada en las baterías, no es la suficiente para mantener a la remota alimentada y registrando todas las presiones y flujos del pozo, limitando a su vez el envío de esta información a través del radio transmisor hacia el sistema de Supervisión Control y Adquisición de Datos (SCADA), en el que se visualiza y controla todo el comportamiento del pozo.

Esta problemática se extiende, en el momento que aumenta o desciende la presión y flujo en un pozo y no pueden ser monitoreadas en SCADA, impidiendo establecer acciones de comunicación y control necesarias, entre el operador de

consola en SCADA y el de campo, para realizar la apertura o cierre de válvula, que permitirá inyectar el caudal de agua necesario hacia el pozo de crudo y mantenerlo con la presión ideal, para que dicho crudo fluya con mayor facilidad a la superficie.

En este trabajo se realizará un estudio que permitirá aumentar y optimizar el rendimiento energético de estos sistemas fotovoltaicos actualmente instalados, para garantizar la supervisión y control de los pozos inyectoros de agua.

### **1.2.1 Objetivo general.**

Estudiar los sistemas fotovoltaicos de pozos inyectoros de agua, en el área de Jusepín.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- 1) Realizar levantamiento de campo de la información técnica de los sistemas fotovoltaicos actualmente instalados en pozos inyectoros de agua, del área el Furrial, del estado Monagas.
- 2) Estudiar uno de los sistemas fotovoltaicos instalados actualmente, que servirá como piloto para pruebas.
- 3) Analizar los parámetros eléctricos de las baterías obtenidos bajo el monitoreo en SCADA.
- 4) Estudiar las condiciones técnicas de funcionamiento y condiciones físicas de los sistemas instalados.
- 5) Proponer mejoras a corto y mediano plazo.

### **1.2.3 Alcance**

El alcance del proyecto estará dirigido hacia el estudio detallado de los sistemas fotovoltaicos de pozos inyectoros de agua, comprendido por una serie de estrategias y análisis, que permitirán determinar y proponer soluciones a la deficiencia de energía presentada en los sistemas fotovoltaicos de los pozos inyectoros de agua.

Dentro de las estrategias, se destacan el registro y análisis de la información técnica obtenida en campo, incorporación de los parámetros eléctricos del sistema de energía (Panel Solar y Baterías), de los sistemas fotovoltaicos de pozos inyectoros de agua hacia SCADA, estudio y análisis de parámetros eléctricos a través de SCADA.

### **1.2.4 Justificación y Limitaciones**

Los pozos inyectoros de agua utilizan para su funcionamiento automatizado de supervisión y control, un sistema fotovoltaico constituido por una serie de equipos eléctricos y electrónicos que en conjunto con el sistema de Supervisión Control y Adquisición de datos (SCADA), permiten realizar acciones de supervisión y control sobre dichos pozos.

Dentro del conjunto de equipos, se encuentran acumuladores (Baterías) que alimentan al equipo de telemetría (RTU) y sus asociados, como lo son; transmisor de flujo, de presión, entre otros; estos acumuladores durante las horas nocturnas no acumulan la energía suficiente para mantener alimentada a la carga conectada (RTU, transmisor de flujo, de presión, iluminación), representando esto una deficiencia de energía en el sistema de acumulación, de los sistemas fotovoltaicos de los pozos.

Las acciones de supervisión y control de los pozos inyectoros de agua, que son ejecutadas entre el operador de consola SCADA y de campo, están dirigidas hacia la apertura o cierre de válvulas, que permiten a su vez la inyección o disminución de caudal (Agua) hacia los pozos de crudo, garantizándole a este ultimo las presiones necesarias para mantener dicho crudo fluyendo hacia la superficie. Cabe destacar que estas acciones se ven limitadas por la deficiencia de energía presentada en las baterías durante las horas nocturnas, por lo tanto, para aumentar y optimizar el rendimiento energético en el sistema de acumulación, se realizará un estudio de los sistemas fotovoltaicos de los pozos inyectoros de agua.

En el estudio de los sistemas fotovoltaicos, se utilizara el SCADA como herramienta básica, de visualización, del comportamiento, del sistema de acumulación.

### **1.3 Metodología**

#### **1.3.1 Técnicas de investigación**

Para la recopilación de información que ayudará a complementar el desarrollo del proyecto, se emplearan las siguientes técnicas:

- 1) **Descriptiva:** En esta técnica se indicarán los elementos fundamentales que conforman un sistema fotovoltaico.
- 2) **Computacionales:** En esta técnica se hará uso de los medios computacionales que permitirán la transcripción del proyecto, elaboración de diagramas, captación de imágenes, traducción de información, entre otros.
- 3) **Entrevistas no estructuradas:** Esta técnica permitirá realizar diálogos con el personal que emprende actividades en la empresa, que tenga conocimiento de los sistemas fotovoltaicos en pozos inyectoros de agua, así como, de otros

departamentos que puedan contribuir con el desarrollo del proyecto y a la vez transmitir sus conocimientos y experiencias obtenidas en el transcurso de los años laborados en **PDVSA-AIT, JUSEPÍN**.

### **1.3.2 Tipo de investigación**

La investigación a realizar para el desarrollo de este proyecto es de tipo Documental – Descriptiva. Es Documental, ya que inicialmente se necesita de una revisión de documentos, manuales y trabajos realizados anteriormente en los campos, y análisis que aportan información para la solución del problema, por otro lado, es una investigación de tipo Descriptiva, porque, tal como lo indica Sampieri en su libro de Metodología de la Investigación, “...los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis y pueden ofrecer la posibilidad de predicciones aunque sean rudimentarias”.

### **1.3.3 Etapas de la investigación**

Para elaborar este proyecto y cumplir con los objetivos planificados, se establecen las siguientes etapas:

- 1) Revisión Bibliográfica:** En esta etapa, inicialmente se realizará consulta y recolección de información de libros, tesis, manuales, trabajos de investigación; que permitan conocer terminologías de los sistemas fotovoltaicos, reguladores de voltaje, baterías, unidades terminales remotas, otros; toda esta utilizada como antecedente para realizar las bases teóricas que ayuden a formalizar el cumplimiento del proyecto.
- 2) Levantamiento del Campo de la Información Técnica de los Sistemas Fotovoltaicos:** En el desarrollo de esta etapa, se realizará un recorrido por los 51 pozos inyectores de agua actualmente instalados en la zona del Furrial; se

tomarán de alguno de ellos (Cuatro pozos inyectoros de agua), mediciones eléctricas de los equipos existentes, así como, inspecciones visuales, con la finalidad de observar su comportamiento y obtener los datos necesarios que permitan realizar el proyecto.

- 3) **Estudio de uno de los sistemas fotovoltaicos instalados actualmente:** En esta etapa se escogerá el sistema fotovoltaico del pozo con mayor capacidad de inyección de agua y se estudiará el comportamiento que presentan los equipos e instrumentos más importantes que lo conforman.
- 4) **Análisis de parámetros eléctricos de baterías, obtenidos bajo el monitoreo en SCADA:** En esta etapa se incorpora y analiza en SCADA los parámetros eléctricos de las baterías, a fin de observar gráficamente el comportamiento que presentan en los sistemas fotovoltaicos instalados actualmente.
- 5) **Elaboración de mejoras al corto y mediano plazo:** Esta etapa, estará basada en el aporte de soluciones que permitan orientar el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos hacia un mejor rendimiento al corto y mediano plazo.
- 6) **Redacción del informe final y presentación del proyecto:** Esta etapa corresponde a plasmar en un informe, el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados, indicando su fundamento teórico y práctico, los resultados obtenidos y cada una de las conclusiones a que se llegaron.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Generalidades

El propósito de este capítulo, es plasmar todos los conceptos y definiciones básicas de los sistemas fotovoltaicos, los cuales, ayudaran a elaborar en capítulos posteriores, estudios y análisis de la deficiencia de energía presentada en los sistemas fotovoltaicos de los pozos inyectoros de agua.

#### 2.2 Antecedentes

Se consideraron como antecedentes para esta investigación las siguientes referencias:

- ❖ **Cesar A. Martínez D.S.** [1]. Se consideró el siguiente estudio de investigación como fuente para el conocimiento de la arquitectura de los equipos de telemetría y sistemas de adquisición de datos, utilizados en los pozos inyectoros de agua.
- ❖ **Bermúdez, C.** [2]. Se consideró el siguiente trabajo de investigación como fuente de consulta, en cuanto a generalidades, conceptos básicos, que permitieron la comprensión e interpretación de los sistemas fotovoltaicos de los pozos inyectoros de agua.
- ❖ **Arango José M, Briones Cristina** [3]. Se consideró el siguiente trabajo como fuente para determinar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico que presentan los pozos inyectoros de agua, tomando en cuenta la similitud climatológica de las regiones y las características técnicas de diseño.

### **2.3 Celdas fotovoltaicas.**

La tecnología fotovoltaica fue desarrollada a finales de los años 50 como parte de los programas espaciales, con la finalidad de desarrollar una fuente de energía económica e inagotable. Gracias al descenso de los costos y a la mejora del rendimiento, los sistemas fotovoltaicos han extendido su utilización a numerosas aplicaciones.

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotovoltaico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Para llevar a cabo esta conversión se utilizan unos dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores.

La transformación directa de la energía solar en electricidad mediante la conversión fotovoltaica presenta ventajas claras dadas a su sencillez, modularidad, fiabilidad y operatividad. Ello hace que su campo de aplicación sea muy amplio: desde la utilización en productos de consumo, como relojes y calculadoras, hasta la electrificación de viviendas aisladas o pequeñas comunidades de vecinos, pasando por las señalizaciones terrestres y marítimas, las comunicaciones o el alumbrado público.

La tecnología disponible en la actualidad hace que las instalaciones fotovoltaicas tengan un interés y una rentabilidad especial en aquellos lugares alejados de la red eléctrica, de manera que en muchos casos constituyen la mejor opción en términos económicos, de operatividad y de fiabilidad de suministro.

Los usuarios de las instalaciones fotovoltaicas autónomas tienen que gestionar un sistema de generación, acumulación y transformación de la energía eléctrica, por lo que deben comprender sus características, posibilidades y limitaciones, y participar, aunque sea mínimamente, el funcionamiento del sistema fotovoltaico utilizado.

El comportamiento del usuario junto con el dimensionamiento adecuado de los equipos y un correcto mantenimiento determina fuertemente el rendimiento de la instalación, el buen servicio y larga vida.

El factor determinante para el correcto diseño de un sistema fotovoltaico es una adecuada recolección de información, los datos a ser recopilados son de distintos tipos: información meteorológica, especificaciones eléctricas de las cargas, condiciones de las cargas, condiciones del lugar de instalación, entre otros. Para el diseño de sistemas de una cierta magnitud, la recomendación es soportar el diseño con un programa computarizado de cálculo, capaz de compilar, interpretar y procesar toda la información recopilada en el caso de sistemas de poca magnitud, puede seguirse un procedimiento sencillo. [ 4 ]

### **2.3.1 Principio de funcionamiento de las celdas fotovoltaicos.**

Los módulos fotovoltaicos funcionan por el efecto fotoeléctrico. Cada célula fotovoltaica esta compuesta por delgadas capas de silicio (u obleas), capa P y N separadas por un semiconductor. Cuando los fotones inciden y chocan contra la superficie de la capa P, liberan electrones de los átomos de silicio, los cuales en movimiento pasan por el semiconductor creando una diferencia de potencial entre las capas P y N, que al conectar un conductor eléctrico exterior provisto de un consumidor de energía (Carga) se genera una corriente eléctrica.

Las celdas se construyen de forma circular o rectangular aproximadamente de 5 a 10 cm. En un modulo policristalino típico, la mayor parte del material es silicio dopado con boro para darle una polaridad positiva (material P). Una capa delgada en el frente del modulo es dopada con fósforo para darle una polaridad negativa (material N). Al punto entre las dos capas se le llama unión. En la figura 2.1 se observa su principio de funcionamiento.

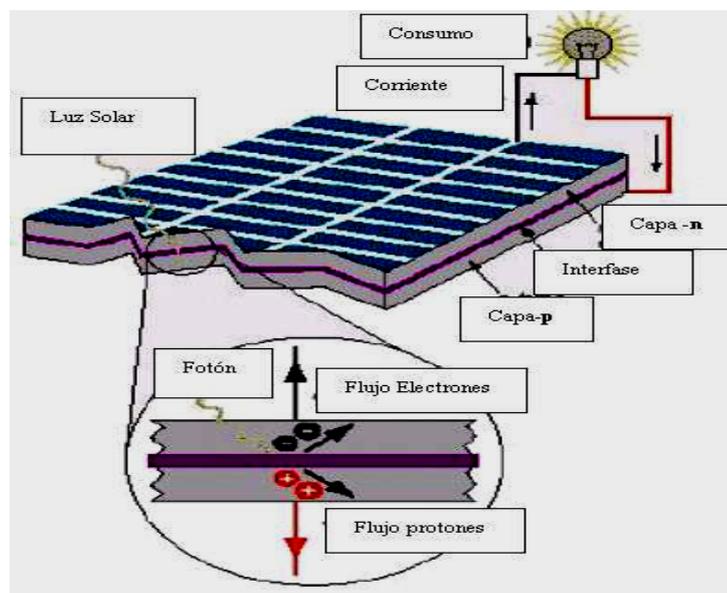


Figura 2. 1 Principio de funcionamiento.

Producen electricidad en corriente continua y aunque su efectividad depende de su orientación hacia el sol se tienden a las instalaciones fijas, por ahorros en mantenimiento con una inclinación hacia el sur que depende de la latitud. Por su potencia, la luz solar es la más efectiva, pero las células solares funcionan con cualquier tipo de luz, como puede verse en las calculadoras de bolsillo, que también funcionan en interiores con luz artificial.

### 2.3.2 Fabricación de las celdas fotovoltaicas.

Generalmente se elaboran de silicio, ya que el componente principal de la arena es el sílice.

Actualmente la producción mundial de células fotovoltaicas se concentra en Japón (48%), Europa (27%) EE.UU. (11%). El consumo de silicio en 2004 destinados a aplicaciones fotovoltaicas ascendió a 13.000 toneladas.

### 2.3.3 Clasificación de los módulos fotovoltaicos.

Las placas fotovoltaicas o módulos fotovoltaicos se dividen en:

- ❖ **Monocristalinas:** Se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular o hexagonal). En la figura 2.2 se muestra una placa fotovoltaica o modulo fotovoltaico monocristalino.



Figura 2.2 Modulo fotovoltaico monocristalino.

- ❖ **Policristalinas:** Cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas, o amorfas cuando el silicio no se ha cristalizado. En la figura 2.3 se muestra una placa fotovoltaica o modulo fotovoltaico policristalino.



Figura 2.3 Modulo fotovoltaico policristalino.

La efectividad de los módulos policristalinos es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y costo. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas puede no llegar al 1%, sin embargo, su costo y peso es muy inferior.

## **2.4 Componentes del sistema fotovoltaico.**

El sistema fotovoltaico comprende alguno o todos los subsistemas siguientes:

### **2.4.1 El subsistema fotovoltaico**

Compuesto por la configuración serie-paralelo de módulos o celdas solares y sus protecciones.

Para simplificar el manejo, los fabricantes de celdas solares las entregan eléctricamente conectadas y encapsuladas en lo que se conoce como modulo fotovoltaico, o paneles solares. Estos son los bloques constituyentes del generador fotovoltaico.

El modulo fotovoltaico debería proveer un voltaje y corriente adecuada para la aplicación que se utilice. El encapsulamiento protege las celdas contra hostilidades del medioambiente aislándolas eléctricamente y proporcionando resistencia mecánica.

La vida de un módulo debería exceder los 20 años bajo condiciones normales. La duración depende del encapsulamiento para que el agua no entre, no fatigue ante la resistencia térmica, ni la abrasión mecánica.

Muchos tipos de módulos son comercializados, los más comunes tienen 30 o 36 celdas de silicio cristalino, todas las celdas son del mismo tamaño. Ellas

están conectadas en serie y encapsuladas en vidrio (O posiblemente Tedlar en la cara posterior que es un polímero aislante de color blanco). Esto puede ser visto en la figura 2.4. Dependiendo del tamaño de las celdas, el área de este tipo de módulos varía entre 0.1 y 0.5 m<sup>2</sup>. Existen normalmente dos terminales (uno positivo y otro negativo) y algunas veces un tercero, el terminal intermedio es para la conexión by pass, tal como se explicará más adelante.

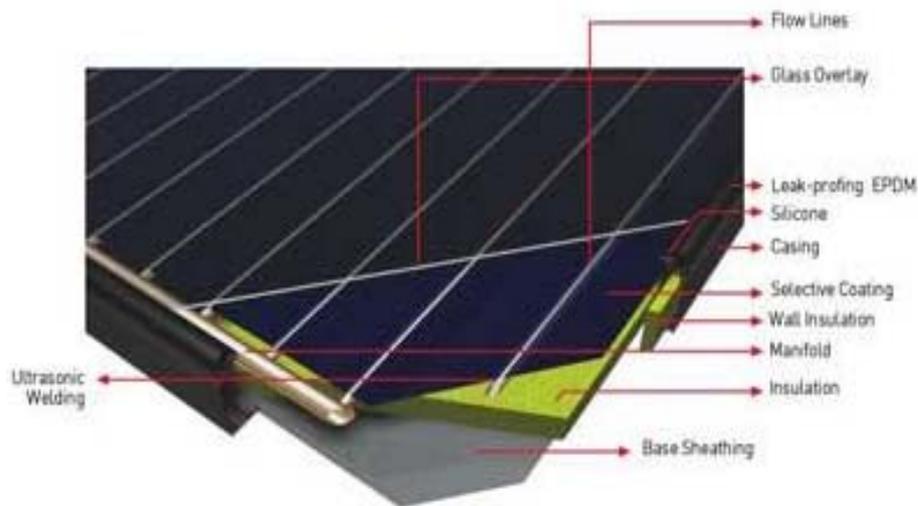


Figura 2.4 Construcción de un módulo fotovoltaico.

#### 2.4.1.1 Condiciones estándar y NCOT

El comportamiento eléctrico de un módulo, es la curva I-V bajo ciertas condiciones de iluminación y temperatura, pueden ser extraídas desde la información que el fabricante provee con el módulo. Las condiciones estándares que son aplicadas se muestran a continuación:

- ❖ Irradiancia: 1Kw/m<sup>2</sup> (o 100mW/cm<sup>2</sup>).
- ❖ Espectro: AM 1.5. (Que es la cantidad de masa de aire que tiene que atravesar un rayo de sol). La distribución espectral de la radiación incidente.
- ❖ Temperatura normal de incidencia en la celda: 25°C.

Bajo estas condiciones, las siguientes cantidades son medibles: La potencia máxima P<sub>MAX</sub> entregada por el módulo, la corriente de cortocircuito I<sub>SCM</sub> y el voltaje de circuito abierto V<sub>OCM</sub>.

La caracterización de las celdas es completamente por la temperatura nominal de operación, NCOT, definida como la temperatura alcanzada por las celdas cuando el módulo está sometido a las siguientes condiciones de operación:

- ❖ Irradiancia: 800W/m<sup>2</sup> (o 80mW/cm<sup>2</sup>).
- ❖ Espectro: AM 1.5.
- ❖ Temperatura normal de incidencia en la celda: 20°C.
- ❖ Velocidad del viento: 1m/s.

Si se cortocircuitan los terminales del panel ( $V=0$ ), a través del circuito circulará una intensidad de corriente máxima ( $I_{sc}$ ) denominada corriente de cortocircuito. Al dejar los terminales del panel en circuito abierto ( $I=0$ ), entre ellos aparece una tensión máxima ( $V_{oc}$ ) llamada tensión de circuito abierto. En la figura 2.5 se muestra la curva de características de un panel fotovoltaico.

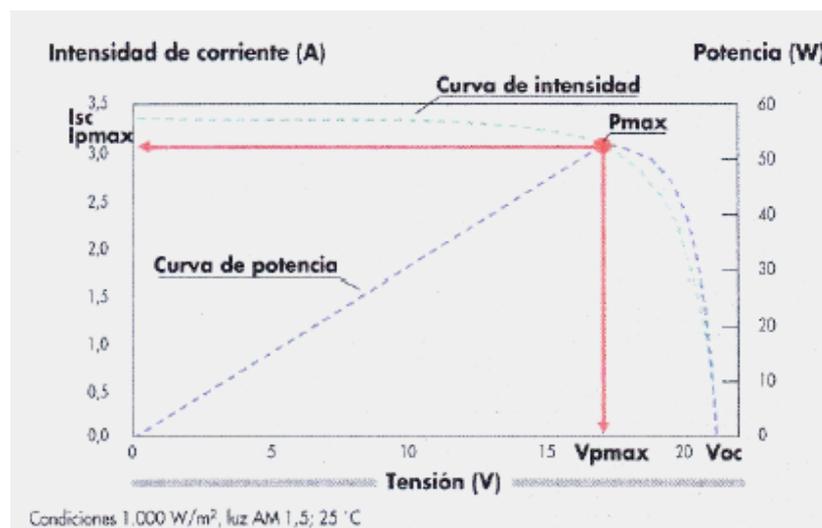


Figura 2.5 Curva de características de un panel fotovoltaico.

Si se conecta una carga eléctrica al panel, el punto de trabajo vendrá determinado por la corriente  $I$  y la tensión  $V$  existentes en el circuito. Estos valores tendrán que ser menores que  $I_{sc}$  y  $V_{oc}$ . La potencia ( $P$ ) que el panel entrega a la carga está determinada por  $P=V \cdot I$ .

Este producto ha sido representado por una línea en la figura 2.6 en función de la tensión ( $V$ ). A su valor más alto se le denomina potencia máxima ( $P_{max}$ ) o, más comúnmente, potencia pico. Los valores de la corriente y tensión correspondientes a este punto se conocen, respectivamente, como corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{pmax}$ ) y tensión en el punto de máxima potencia ( $V_{pmax}$ ).

La corriente de cortocircuito aumenta con la radiación, permaneciendo más o menos constante el voltaje.

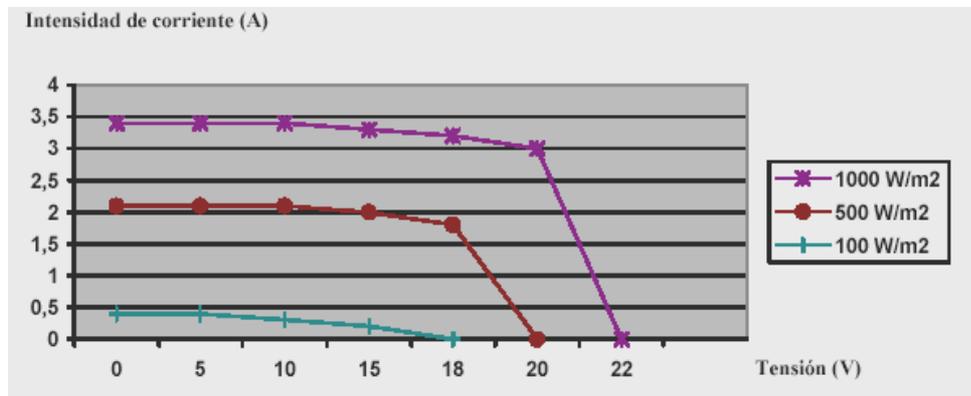


Figura 2.6 Potencia ( $P$ ) que el panel entrega a una carga eléctrica determinada.

Es importante conocer este efecto ya que los valores de la radiación solar cambian a lo largo de todo el día en función del ángulo del Sol con el horizonte, por lo que es importante colocar adecuadamente los paneles, existiendo la posibilidad de cambiar su posición a lo largo del tiempo, bien según la hora del día o la estación del año (captación con seguimiento solar). Un mediodía a pleno sol es equivalente a una radiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ ; cuando el cielo está cubierto, la radiación apenas alcanza los  $100 \text{ W/m}^2$ .

## **2.4.1.2 Estructura, posición y conexión de los paneles solares**

### **2.4.1.2.1 Estructura de los paneles solares**

Uno de los elementos auxiliares importantes de un sistema fotovoltaico es la estructura que soportan los paneles. Ésta habrá de proporcionar tanto un buen anclaje de los mismos, haciéndolos resistentes a la acción de los elementos atmosféricos. Los agentes atmosféricos (viento, nevadas) afectan a las cargas mecánicas que han de soportar las estructuras y a los materiales que las componen, como una orientación y un ángulo de inclinación idóneos para el mejor aprovechamiento de la radiación.

### **2.4.1.2.2 Posición de los paneles solares**

Otro aspecto de gran importancia de cara a la colocación de los paneles es su posición con respecto al Sol, ya que es necesario tener en cuenta las variaciones que presenta la posición del Sol en el cielo a lo largo del ciclo anual y la incidencia que estas variaciones tienen en la cantidad de radiación solar puesta a disposición de los paneles.

La posición de los paneles está basada en dos ángulos distintos: la orientación y la inclinación.

- 1)** La **orientación** de los paneles será siempre al Sur (en el hemisferio norte), al ser la única posición donde aprovecharemos de un modo más completo a lo largo del año la radiación emitida por el Sol. Tan sólo en circunstancias especiales o por el efecto de sombras creadas por otros objetos se podrá variar dicha orientación hacia el Este. En la figura 2.7 se muestra la orientación que deben tener los paneles con respecto a la radiación solar.

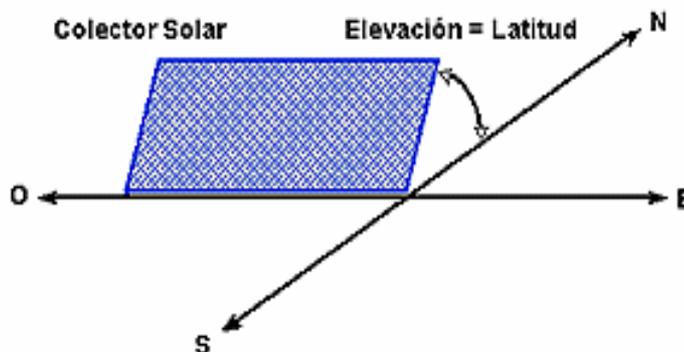


Figura 2.7 Orientación de Paneles Solares

- 2) **La inclinación:** La energía procedente del Sol, que capta un panel, depende fundamentalmente del ángulo de inclinación que forma con la horizontal (E: Elevación, es el ángulo de incidencia de los rayos del Sol sobre los paneles, siendo máximo para una incidencia perpendicular, y reduciéndose a medida que nos alejamos de este ángulo). En una instalación real, este ángulo puede adoptar una o varias posiciones a lo largo del año. Si bien esta última posibilidad aumenta la energía recibida en todo el período, en la práctica lo más eficaz es dejarlo en una o dos posiciones, dependiendo de la utilización y según los dos tipos de consumo más extendidos:
- a) En las aplicaciones en las que el consumo de energía es relativamente constante a lo largo del año (equipos de comunicación, viviendas habitadas todo el año) es suficiente con una posición. El ángulo de inclinación de los paneles debe ser de alrededor de  $60^\circ$ . Las posibles pérdidas de energía derivadas de la variación del ángulo con respecto a la posición del Sol se ven compensadas con creces por el aumento de la radiación disponible en los meses de verano.
  - b) En las aplicaciones en las que el consumo de energía es mayor en los meses de verano (riego agrícola, viviendas de fin de semana o vacaciones) puede ser conveniente considerar dos posiciones: una posición de invierno con un ángulo de inclinación de  $60^\circ$  y una posición de verano con un

ángulo de inclinación de 15°. Los dos cambios de posición, que son necesarios realizar anualmente, han de hacerse a finales de los meses de marzo y septiembre respectivamente.

#### **2.4.1.2.3 Conexión de módulos fotovoltaicos**

La suposición de que las celdas y los módulos que constituyen un generador fotovoltaico trabajan bajo las mismas condiciones, no es totalmente correcta, ya que las características de las celdas y módulos están sujetas a diversas variaciones. Existen dos razones que lo explican:

- 1) La variación de los diferentes parámetros esperados desde los diferentes procesos de manufacturado.
- 2) Las condiciones variantes de operación que ocurren dentro del generador. Un ejemplo de este punto; ocurre cuando parte de un generador está ensombrecida por una nube o cuando unos módulos están más sucios que otros y reciben menos luz. Estas variaciones tienen los siguientes efectos:
  - a) La máxima potencia que el generador puede entregar, es más baja que la suma de las máximas potencias de salida de los módulos constituyentes. Esta diferencia es llamada “Mismatch Losses”.

Se entiende como pérdida de Mismatch, cuando la impedancia de la (s) carga (s) es de valor incorrecto para máxima transferencia de potencia.

- b) En ciertas circunstancias, algunas celdas pueden funcionar como cargas disipando la potencia producidas por otras. Esto conduce a una elevada temperatura que afecta las celdas. Si la temperatura eleva ciertos valores (entre 85 y 100 °C) los materiales del encapsulamiento son dañados irreparablemente haciendo que el modulo no sirva más. El termino “Hot Spot” es usado para describir este fenómeno.

## **2.4.2 El subsistema de almacenamiento**

### **2.4.2.1 Baterías**

Compuesto por la configuración serie-paralelo de acumuladores o baterías.

La naturaleza variable de la radiación solar hace que los sistemas fotovoltaicos aislados incorporen elementos de almacenamiento de energía que permitan disponer de ésta en los periodos en los que no hay radiación solar. El abanico de posibles acumuladores de energía es grande, pero las actuales disponibilidades del mercado hacen que en los sistemas fotovoltaicos se utilice la acumulación electroquímica, es decir, la batería recargable. [ 5 ]

En si una batería o “celda” consiste de dos placas metálicas separadas por un electrolito, el cual, provoca una reacción química, que a su vez genera un voltaje o diferencia de potencial entre las dos placas. Ese voltaje es muy pequeño, así que para obtener un voltaje más alto se conectan varias celdas en serie, siendo esta la razón por la que se llama baterías. [ 6 ]

Erróneamente se suele hablar de “Pilas Recargables”, cuando este concepto está equivocado. Las pilas pueden ser alcalinas o salinas y no son recargables. Las baterías son aquellos acumuladores que se pueden recargar (aunque tengan forma de pilas).

El sentido de utilización de las baterías, está en la adaptación de los diferentes ritmos de producción y demanda de energía eléctrica, almacenando energía en los momentos en la que la producción es mayor que la demanda y cediendo energía en los momentos que ocurre la situación contraria.

Esencialmente, una batería es un recipiente de químicos que transmite electrones. Es una maquina electro-química, es decir, una maquina que crea electricidad a través de reacciones químicas.

Las baterías tienen dos polos, uno positivo (+) y otro negativo (-). Los electrones de carga negativa (-) van del polo negativo hacia el polo positivo, o sea son recogidos por el polo positivo. A no ser que los electrones corran del polo negativo hacia el polo positivo, la reacción química no ocurre. Esto significa que la electricidad solo es generada cuando se le enchufa una carga, como un teléfono móvil y que la batería casi no se gasta si es guardada en un cajón.

#### **2.4.2.2 Tipos de baterías.**

Existen diferentes tipos de material para almacenar energía. Frecuentemente las baterías toman el nombre del tipo de material utilizado para su construcción (Níquel –Litio – Hierro).

Otras baterías toman el nombre según el material hallado en los electrodos y del tipo de electrolito utilizado. La mayoría normalmente son batería de ácido de plomo. El material activo utilizado, determina el voltaje de las celdas y el número de celdas determina el voltaje total de la batería. Existen diferentes tipos de baterías en el mercado, entre ellas encontramos:

- 1) Baterías de Níquel – Cadmio (Ni-Cd):** Contiene cadmio, un metal pesado que representa un peligro ecológico. Exteriormente tienen la misma forma y tamaño de las baterías, interiormente tienen dos electrodos, el cadmio (negativo) y el hidróxido de níquel (positivo), separados entre sí, por un electrolito de hidróxido de potasa. Llevan también un separador situado entre el electrodo positivo y la envoltura exterior y un aislante que las cierra herméticamente y proporcionan tensiones de 1.2 voltios, como se muestra en la figura 2.8.

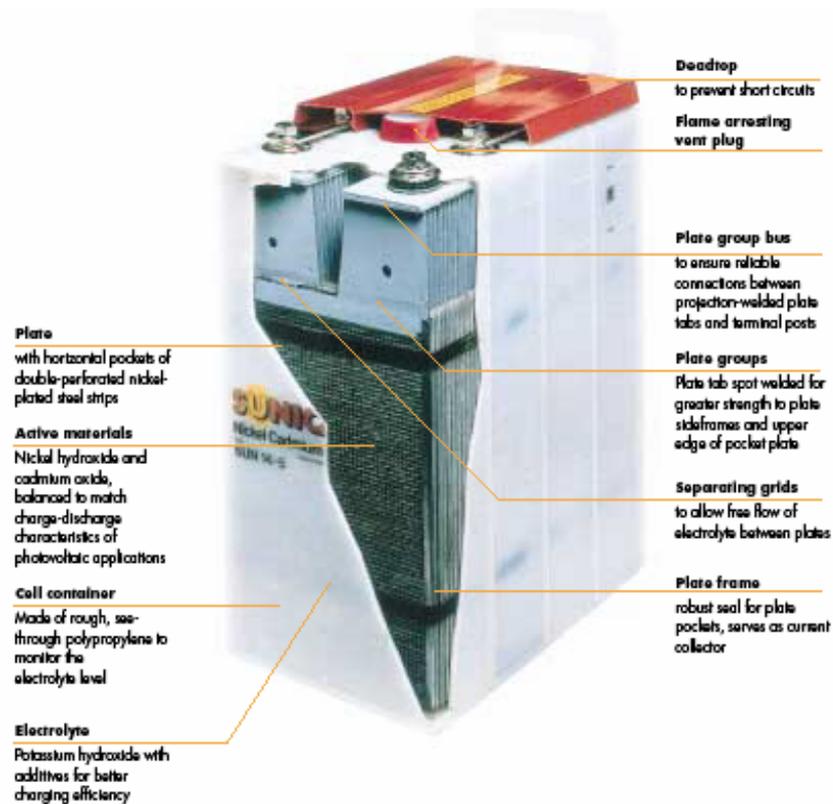


Figura 2.8 Esquema de baterías de Níquel Cadmio

- 2) **Baterías Plomo Ácido:** Las primeras baterías de plomo ácido (acumuladores de plomo), fueron fabricadas a mediados de siglo XIX por Gaston Planté. Hoy en día son unos de los tipos de baterías más comunes. Se descubrió que cuando un material de plomo se sumergía en una solución de ácido sulfúrico se producía un voltaje eléctrico el cual podía ser recargado. En la figura 2.9 se muestra los principales componentes de las baterías de plomo ácido.

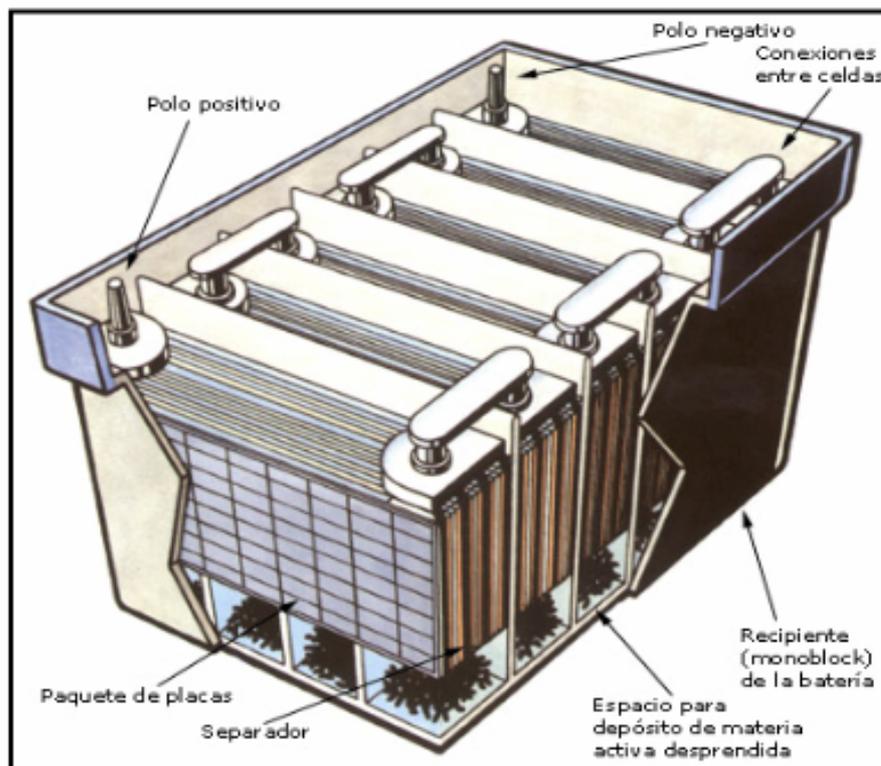


Figura 2.9 Baterías de Plomo Acido

Las baterías más usadas son las de Plomo – Ácido, estas baterías están diseñadas para suministrar una gran corriente por un periodo de tiempo corto. Suelen tener una vida útil de 4 a 5 años, y está estrechamente ligada con la profundidad de descarga a la cual se ve sometida, es decir, a cuanto energía sobre su capacidad nominal se le “pide”, en cada ciclo de carga y descarga. En las baterías de Plomo – Ácido, la vida útil será mayor en cuanto menor sea la descarga de estas baterías en cada ciclo de carga-descarga.

Las baterías de plomo ácido tienen un voltaje nominal de alrededor 2 voltios. La capacidad de una batería viene medida en Amperios por hora (Ah) que es la cantidad de corriente de descarga disponible durante un tiempo determinado. Pero esta capacidad es valida solamente para una temperatura específica y profundidad de descarga.

Las baterías de plomo ácido son las preferidas e insuperables por el gran campo de aplicaciones que tienen. El plomo es demasiado abundante y no demasiado caro y es por esta razón, por la cual es idóneo para la producción de baterías de buena calidad en grandes cantidades.

Este tipo de batería es única, en cuanto utiliza el plomo, material relativamente económico tanto para la placa positiva como para la negativa. El material activo de la placa positiva es óxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ) y el de la placa negativa es plomo puro esponjoso y el electrolito está disuelto en ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Cuando se habla de material activo en las baterías de ácido de plomo, se refiere al óxido de plomo y el plomo esponjoso.

- 3) Baterías Níquel – Metalhidruro (Ni-MH):** No tienen metales pesados como el cadmio y por eso son menos perjudiciales para el medio ambiente.

Además de ser menos contaminantes proporcionan tensiones de 1.3 voltios y tienen una capacidad mucho mayor, por lo tanto, duran mucho más que las de Níquel- Cadmio y dan más energía. No tienen efecto memoria, de modo que se pueden recargar aunque no se hayan agotado por completo. Las mejores llegan a soportar hasta 1000 procesos de carga.

- 4) Baterías en vías de desarrollo:** En general, cada tecnología tiene características que se ajustan mejor a ciertas aplicaciones, y existen así numerosos y variados tipos de baterías que se pueden considerar hoy en día en vía de desarrollo.

Una breve lista podría incluir baterías Sodio/azufre, Zinc/aire, hidruro metálico/óxido de níquel y baterías de litio. Todas estas ventajas e inconvenientes que se intentan evitar con diseños adecuados, pero las baterías de litio, junto quizás con el hidruro metálico son las que van encontrando un

mayor consenso en cuanto a su potencial y un mayor esfuerzo en su investigación y desarrollo a nivel mundial.

Son muchas razones las que han originado este consenso. En primer lugar el litio es el metal más ligero y esto da lugar a una alta capacidad específica (Ver Figura 2.10), lo que permite obtener la misma energía con un peso menor. (Ver figura 2.11).

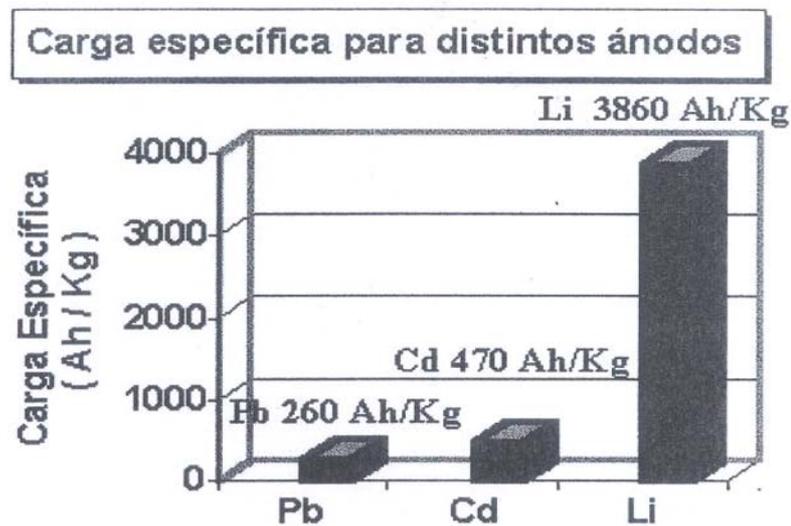


Figura 2.10 Capacidad de energía de los diferentes tipos de baterías.

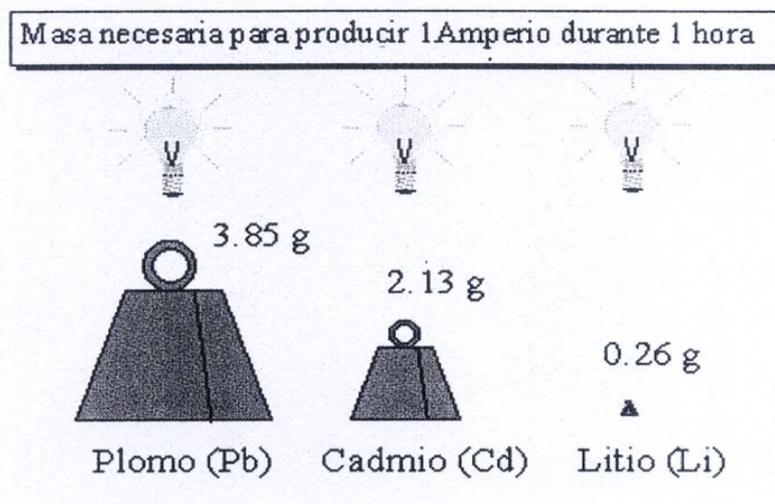


Figura 2.11 Comparación de masa necesaria para producir 1 Amp.

A continuación se muestran tablas comparativas de los diferentes tipos de pilas desechables y baterías que acumulan grandes cantidades de energía, para ello ver tabla 2.1 y 2.2 respectivamente.

Tabla 2.1 Pilas desechables

	<b>Pila convencional (Le Clanche)</b>	<b>Pila alcalina</b>	<b>Pilas de mercurio</b>
<b>Usos</b>	Walkman, juguetes, otros.	Walkman, juguetes, otros.	Calculadoras, relojes, otros (de botón).
<b>Química</b>	<b>Ánodo:</b> Zn <b>Cátodo:</b> Pasta de $\text{NH}_4\text{Cl}$ , $\text{ZnCl}_2$ y $\text{MnO}_2$ .	<b>Ánodo:</b> Zn <b>Cátodo:</b> Mn.	<b>Ánodo:</b> Zn <b>Cátodo:</b> Hg.
<b>Ventajas</b>	No presenta ventajas	No produce gases	Son de tamaño pequeño
<b>Desventajas</b>	Corta vida y produce gases que ocasionan un descenso de voltaje en las pilas.	Más cara que la anterior	Contamina más que las otras, el medio ambiente.

Tabla 2.2 Baterías que acumulan grandes cantidades de energía

	<b>Baterías de Plomo</b>	<b>Baterías de Ni/Cd</b>
<b>Usos</b>	Vehículos y aplicaciones industriales	Dispositivos portátiles y actualmente en aplicaciones industriales.
<b>Química</b>	<b>Ánodo:</b> Pb poroso; <b>Cátodo:</b> Pb comprimido; inmersos en $\text{H}_2\text{SO}_4$ (aq).	<b>Ánodo:</b> Cd <b>Cátodo:</b> Ni.
<b>Ventajas</b>	Recargable proporciona una gran corriente	Recargable, prácticamente constante voltaje, ligera
<b>Desventajas</b>	Grande y pesada, en comparación poca energía	No presenta desventajas

Actualmente existen dos tipos de baterías que dominan el mercado: Las baterías de plomo y las de níquel – cadmio.

Las baterías de plomo se utilizan comúnmente en automóviles pero solo destinadas a cubrir las necesidades de arranque, iluminación e ignición.

Las baterías de níquel – cadmio a falta de mejores baterías, se emplean en artículos de electrónica de consumo, como videocámaras y ordenadores o teléfonos móviles. Cualquier usuario de estos artículos podría dar testimonio de la necesidad de mejora técnica de estas baterías (Se descargan solas demasiado rápidamente y presentan un peculiar efecto memoria que reduce su capacidad).

Además de la necesidad de mejoras técnicas en las baterías actuales, los usuarios deben saber que los elementos que las componen son altamente contaminantes, especialmente el plomo y el cadmio, y que en caso de este último los procesos de reciclado no están bien establecidos. Sin embargo, la demanda del mercado de baterías recargables es previsible que siga creciendo, tanto a corto como mediano plazo. Así, la búsqueda de baterías más ligeras y de mayor densidad de energía para el mercado de la electrónica de consumo es ya, una necesidad urgente.

#### **2.4.2.3 Voltaje de flotación de las baterías.**

Generalmente las baterías, con el tiempo se pueden descargar aún y cuando no se utilicen, debido a que hay una corriente mínima entre placas (Corriente de Fuga) que ayuda a disminuir los niveles de tensión de la batería, debido a ello es necesario dar a las baterías un voltaje llamado flotación, que es un nivel ligeramente mayor al nominal y de esta manera se evita que la batería se descargue y esté 100% cargada

#### **2.4.2.4 Voltaje por celdas de diversos tipos de baterías.**

A continuación, se muestran los voltajes por celdas de los diversos tipos de baterías que existen en el mercado actual:

❖ Zinc – Carbón	1.50 Volts.
❖ Alcalina	1.50 Volts.
❖ Plomo Ácido	2.0 Volts.
❖ Litio	3.0 Volts.
❖ Níquel – Cadmio	1.2 Volts.

#### **2.4.2.5 Condiciones de operación de las baterías en sistemas fotovoltaicos.**

La operación en instalaciones fotovoltaicas someten a las baterías a trabajar bajo condiciones que generalmente se caracterizadas por:

- 1) Ciclos diarios suaves.
- 2) Periodos estacionales largos con bajo nivel de carga.
- 3) Ciclos anuales profundos.

Se considera a modo de ejemplo, el caso de una instalación hecha con un generador y una batería, alimentando una carga que se supone constante.

La figura 2.12 muestra como el estado de la batería varía sobre un periodo asumido de 16 días. Para los primeros 5 días la electricidad generada en cada día es igual o mayor que la cantidad consumida. Por los siguientes días el tiempo empeora y se genera menos electricidad que la que consume. Durante los siguientes 6 días el tiempo mejora y se genera suficiente electricidad para suplir la demanda y la batería se recarga por completo.



consumo diario (incluyendo la noche), del tamaño del generador y del clima local. La terminología es potencialmente engañosa y estos ciclos no coinciden generalmente con las estaciones del año. Ello ocurre cuando hay un día con más baja radiación que el valor medio usado en el diseño del sistema, naturalmente, esto ocurre más en invierno que en verano. Para evitar que demasiado material activo se pierda en la batería, normalmente se incluyen algunos elementos de control para limitar PDe a un cierto valor máximo de profundidad de descarga máxima (PDmax). El suministro a la carga tiene que ser cortado cuando se alcanza este límite. La capacidad disponible o utilizable de la batería es, por lo tanto, menor que la capacidad nominal e igual al producto CB PDmax.

La relación entre costo y seguridad de una instalación típica fotovoltaica lleva a elegir baterías con capacidades de 3 a 8 veces la energía diaria que consume la carga.

El uso de un pequeño generador y una batería de gran capacidad, da un pequeño valor de PDd (Profundidad de descarga diaria) y un gran valor de D (Duración). El primero es beneficioso para la vida de la batería pero el segundo es dañino. Más aún, la estratificación no es bien controlada por el pequeño generador que tiene una pequeña capacidad de sobrecargar la batería. Esto reduce la vida de la batería, sin embargo se evita la necesidad de un llenado frecuente.

Por el contrario, un gran generador y una pequeña batería llegan a tener una pequeña D (Duración) y un gran PDd (Profundidad de descarga diaria), donde el primero es beneficioso y el segundo dañino para la vida de la batería, aquí, la batería, es a menudo sobrecargada, esto interfiere en la estratificación pero hace necesario un llenado frecuente.

La elección final de las combinaciones depende de las circunstancias precisas: Precios de módulos y baterías fotovoltaicas, entre otros. En años

anteriores, los costos relativos de los sistemas fotovoltaicos favorecieron pequeños generadores y grandes baterías, sin embargo, una drástica reducción de los módulos ha revertido esta situación recientemente.

En cualquier caso, está claro que las características requeridas de una batería fotovoltaica son: durabilidad bajos ciclos y baja necesidad de mantenimiento, en ese orden, la discusión de lo anterior lleva a conclusión inmediata de que estos requerimientos son encontrados en baterías tubulares, con redes de plomo aleadas con pequeñas cantidades de antimonio y selenio. Otras características de interés son: una gran reserva de electrolito, para alargar el periodo entre mantenimientos, una gran cantidad de espacio para material libre para acumular sin cortocircuitar la batería y cajas transparentes para facilitar la inspección visual.

Tales baterías están disponibles en el mercado con tiempos de vida mayores a 10 años, y con mantenimientos de una a dos veces al año, el mayor inconveniente es su costo y dificultad o imposibilidad de obtenerlas en algunos países, consecuentemente, a veces es mejor recurrir a baterías más convencionales.

El uso de baterías para las partidas de vehículos es solo aconsejable para aplicaciones domésticas cuando el costo es más importante que la seguridad del sistema. En muchas regiones de países pobres estos son los únicos tipo de baterías que el mercado local ofrece y cualquier otro tipo de batería implicaría ser importada.

La diferencia de costos puede ser de 4 o 5 veces. Si se utilizan baterías de partidas en instalaciones fotovoltaicas, se deberían elegir grandes capacidades de manera que el valor de PDD este limitado a un máximo de 0.1. Una baja densidad de electrolito (1.22 o incluso 1.20 en vez del usual 1.28) reduce la corrosión y por lo tanto mejora la vida de la batería. Esto es el caso de un gran RBI (Resistencia

interna de una celda de batería), pero en regímenes de baja carga, que son los que se encuentran en aplicaciones fotovoltaicas, tiene pequeñas consecuencias.

El uso de baterías de tracción, específicamente diseñadas para suministrar energía a vehículos eléctricos o carros, puede ser aplicado en lugares donde el personal de mantenimiento está disponible. El hecho de que estas baterías son fabricadas en mayor cantidad que las baterías fotovoltaicas provocan que sean más baratas, por lo tanto, el costo ahorrado puede justificar los mayores requerimientos de mantenimiento. Algunos fabricantes ofrecen una batería con placas, como las baterías de tracción, pero que tienen un gran revestimiento para aumentar la reserva de electrolito, el resultado es un precio similar a las baterías de tracción pero con bajos requerimientos de mantenimiento. Esto las hace muy convenientes para un gran rango de aplicaciones fotovoltaicas.

Para aplicaciones fotovoltaicas es generalmente conveniente evitar aquellos tipos cuyas redes contienen calcio. Aunque requieren poco mantenimiento la experiencia muestra que el uso de aleaciones de plomo-calcio en instalaciones fotovoltaicas resulte poco seguro (En términos de servicios eléctricos). Por razones obvias se excluyen de estas consideraciones, aplicaciones relacionadas con sirenas o alarmas, que no tienen un patrón de carga como la mostrada en la figura 2.12.

### **2.4.3 El subsistema de regulación**

El subsistema de regulación de carga de los acumuladores: consiste en los circuitos electrónicos necesarios para procurar la carga correcta de los acumuladores e incluyendo las protecciones de sobrecarga y de descarga excesiva de los mismos.

El subsistema electrónico de regulación de carga, está compuesto por aquellos elementos que permiten conocer cual es el estado de carga de la batería

de los acumuladores, poniendo en marcha eventualmente una protección de sobrecarga de la misma. La detención del estado se hace mediante la medida de la tensión de la batería y la comparación de la misma respecto a su referencia. La acción de protección de la batería puede consistir en ofrecer un camino alternativo a la corriente del subsistema fotovoltaico de forma que no siga cargando la batería, o bien implementar una interrupción del circuito de carga mediante la desconexión de los módulos fotovoltaicos.

Existen numerosos diseños prácticos para tales circuitos. Desde la perspectiva del usuario, estos equipos electrónicos deben ser lo menos disipativos posibles, es decir, que perturben lo menos posible el funcionamiento ideal del subsistema fotovoltaico. De manera idealizada se puede decir que el mejor sistema de regulación, es aquel que mantiene a los módulos fotovoltaicos trabajando en su punto de máxima potencia independientemente de la irradiancia y de la temperatura (La irradiancia es la densidad de potencia incidente en una superficie, medida en  $\text{W}/\text{m}^2$ ). Por lo tanto la información que es de interés para especificar un control, es como, la que se ilustra en la figura 2.9.

En la figura 2.13 se representan las coordenadas del punto de máxima potencia para irradiancias variables desde  $200 \text{ W}/\text{m}^2$  a  $100 \text{ W}/\text{m}^2$  considerando una temperatura ambiente constante de  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  y suponiendo que la temperatura de la celda depende de la irradiancia. La característica representada es útil a la hora de diseñar las estrategias de seguimiento del punto de máxima potencia de los reguladores, puesto que es una situación realista al tener en cuenta la temperatura e irradiancia.

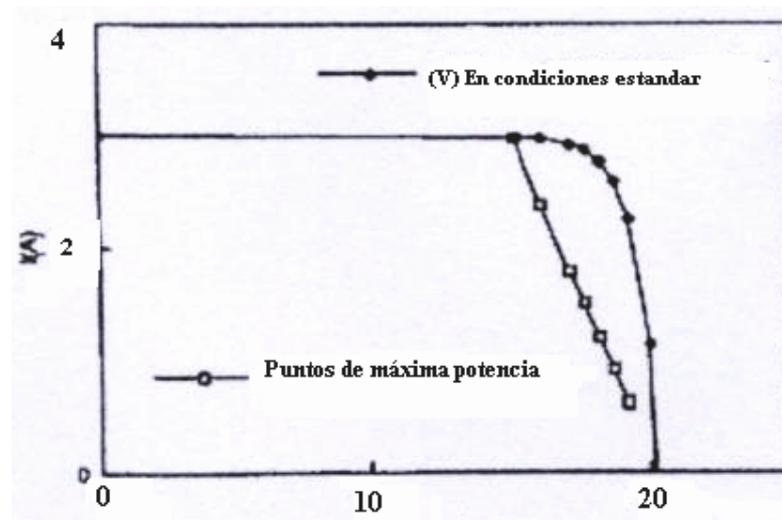


Figura 2.13 Coordenadas del punto de máxima potencia para irradiancias desde 200W/m<sup>2</sup> a 100 W/m<sup>2</sup>

Los diodos de bloqueo son utilizados para evitar problemas de “hot Spot”, mencionado anteriormente, en generadores de grandes dimensiones que trabajan a altas tensiones. Sin embargo, los diodos de bloqueo son generalmente usados en generadores pequeños de baja tensión, en casos donde estos están conectados a baterías. Están hechas para evitar las descargas de las baterías a través de las celdas durante la noche, cuando las celdas no están iluminadas y la tensión que producen puede ser más pequeña que de la batería. Para evitar tal descarga, se puede colocar un diodo de bloqueo entre el generador y la batería, como se muestra en la figura 2.14.

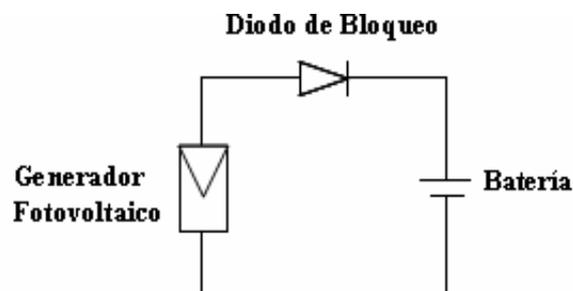


Figura 2.14 Ubicación del diodo de bloqueo

Debe tenerse en cuenta, que la inclusión de un diodo de bloqueo resulta en una pérdida de potencial, típicamente entre 0.9 y 1.2 V. Esto aumenta el voltaje de las celdas comparados con el de la batería y consecuentemente reduce la corriente de carga. Vale la pena mencionar que la operación de bloquear estas descargas nocturnas puede ser incorporada fácilmente, sin perder energía, con los reguladores en serie de carga que se mencionaran a continuación.

#### **2.4.3.1 Tipos de reguladores de cargas**

Para conservar la vida de la batería, se debería evitar la sobrecarga y la excesiva descarga. Para las baterías de plomo-ácido hay una relación directa entre el voltaje y el estado de la carga que hace fácil detectar si la batería esta en una situación satisfactoria.

La sobrecarga viene acompañada de un excesivo alto voltaje. Se puede evitar ya sea incorporando un equipo electrónico para disipar el exceso de potencial generado por los módulos, o desconectando las baterías del generador.

El método más común de protección electrónica es un transistor conectado en paralelo con el generador fotovoltaico. El transistor corta la corriente cuando el voltaje de la batería excede cierto umbral, USC. Para evitar la sobrecarga sin perder los beneficios del gassing, es conveniente un valor de  $USC=2.35$  V por celda a  $25$  °C. A otras temperaturas se debería aplicar una corrección de  $-5$  mV/°C. Con este tipo de reguladores es recomendable instalar un diodo de bloqueo entre el transistor y la batería. Esto previene que la batería se descargue debido una falla del transistor, como se menciona en la sección anterior, el diodo de bloqueo causa una pérdida de corriente de carga. A esto se le añade una pérdida de energía en el transistor. Luego, este tipo de regulador llamado regulador paralelo no es tan eficiente. Los reguladores paralelos se usan solamente en generadores fotovoltaicos pequeños (menos de 10 A de corriente de salida).

Para generadores fotovoltaicos más grandes es mejor desconectar la batería del generador usando un interruptor que tenga histéresis como se muestra en la figura 2.16. En este caso el valor recomendado de USC a 25°C es de 2.45V, y se debería aplicar una corriente de  $-5\text{mV}/^\circ\text{C}$ . A los dispositivos basados en este principio se le llaman reguladores en serie.

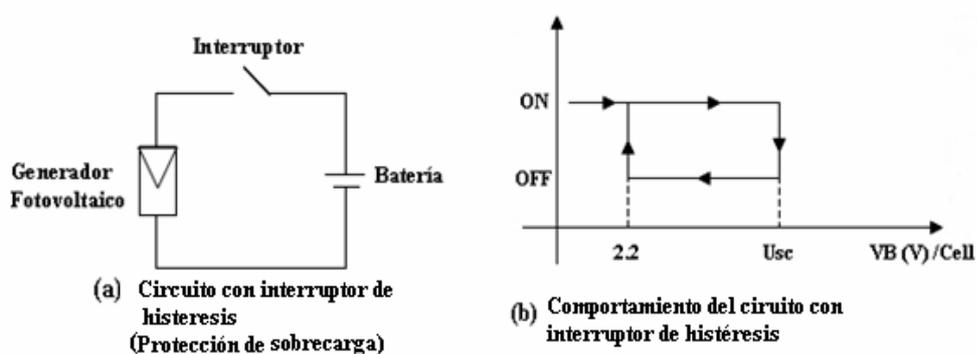


Figura 2.16 Principio de operación de un regulador en serie.

El interruptor con histéresis, puede ser electromecánico (Relés, Contactores, otros) o de estado sólido (Transistores bipolares, MOSFET, otros). Los dispositivos electromecánicos tienen la ventaja de no introducir bajas de voltajes entre el generador y la batería. Sin embargo, en ambientes expuestos al polvo y arena, puede ser difícil mantener contactos limpios y eso puede hacerlos inseguros. En cualquier caso la corriente usada para mantener el dispositivo encendido debería ser minimizada. En el caso de un dispositivo electromecánico es preferible un interruptor “normalmente encendido”. En el caso de un transistor, se debería usar un dispositivo bipolar de alta ganancia o aún mejor un MOSFET. Nótese que también el mismo interruptor puede ser usado para prevenir descarga nocturna de las baterías a través de los paneles.

Para proteger la batería contra la descarga excesiva, la carga se desconecta cuando el voltaje terminal cae por debajo de cierto umbral, USD. Esto se hace conectando, entre la batería y la carga, un interruptor con un ciclo de histéresis como se muestra en la figura. 2.17.

Así como, con en el protector de sobrecarga se puede usar ya sea un dispositivo electromecánico o de estado sólido. La corriente usada por el dispositivo en si, debería ser menor cuando la energía de la carga está encendida. Se incluye frecuentemente una alarma o una advertencia de algún tipo, para alertar al usuario del sistema fotovoltaico cuando las baterías se están agotando. Si es necesario, el usuario puede reducir la carga del sistema.

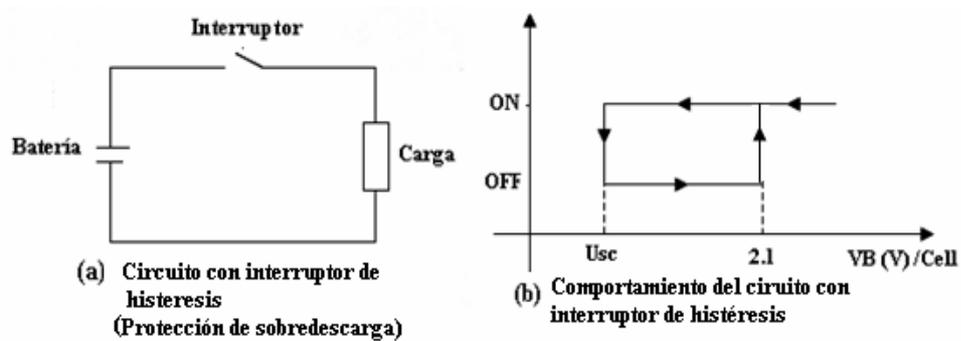


Figura. 2.17. Principio de operación de un protector de sobredescarga.

No se recomienda conectar las baterías en paralelo. Si por alguna razón se decide hacerlo, entonces se debería evitar las corrientes entre las baterías usando generadores independientes para cada batería, y diodos entre las baterías y la carga como se muestra en la figura 2.18.

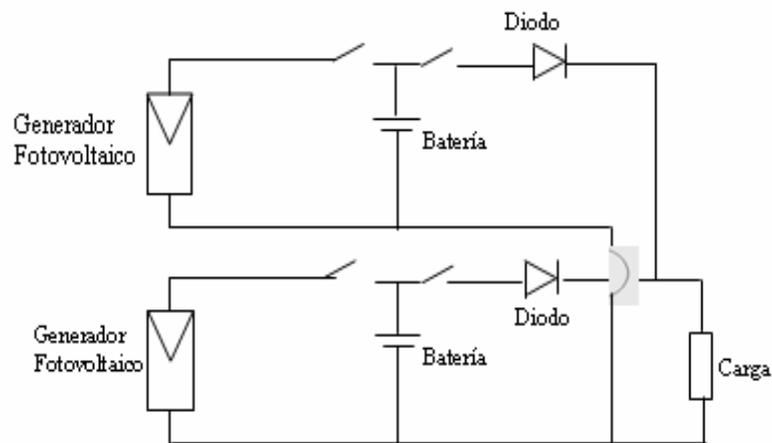


Figura 2.18 Circuito recomendado para baterías conectadas en paralelo.

Además, de las medidas ya señaladas para proteger las baterías contra descargas repentinas es prudente incluir un fusible (o un componente similar) entre la batería y el regulador. Esto evita que un corto circuito en un generador o en la carga cause daño.

Finalmente debería destacarse que el regulador de carga es un elemento esencial en cualquier sistema fotovoltaico que use baterías. En el pasado los así llamados módulos autorreguladores hicieron su aparición en el mercado. Supuestamente estaban destinados a evitar sobrecargar las baterías asegurando que la máxima tensión producida por el generador era menor que el voltaje de sobrecarga. Sin embargo, existe una amplia evidencia teórica y experimental para mostrar que la variación de tensión máxima producida por las celdas, debido a cambios en la temperatura y en las condiciones de trabajo, es demasiado grande para trabajar adecuadamente.

## **2.5 Lista de aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos.**

En una primera gran división, las instalaciones fotovoltaicas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

### **2.5.1 Instalaciones aisladas de la red eléctrica.**

En este tipo de aplicaciones, la energía generada a partir de la conversión fotovoltaica se utiliza para cubrir pequeños consumos eléctricos en el mismo lugar donde se produce la demanda, por lo tanto, este tipo de aplicaciones tienen lugar en:

❖ **Viviendas alejadas de la red eléctrica convencional:** básicamente electrificación rural.

- ❖ **Servicios y alumbrado público:** Iluminación pública mediante farolas autónomas de parques, calles, monumentos, paradas de autobuses, refugios de montaña, alumbrado de vallas publicitarias, entre otros. Con la alimentación fotovoltaica de luminarias se evita la realización de zanjas, canalizaciones, necesidad de adquirir derechos de paso, conexión a red eléctrica, etc.
- ❖ **Aplicaciones agrícolas y de ganado:** Bombeo de agua, sistemas de riego, iluminación de invernaderos y granjas, suministro a sistemas de ordeño, refrigeración, depuración de aguas, etc.
- ❖ **Señalización y comunicaciones:** Navegación aérea (señales de altura, señalización de pistas) y marítima (faros, boyas), señalización de carreteras, vías de ferrocarril.

### 2.5.2 Instalaciones conectadas a la red eléctrica

En cuanto a las instalaciones conectadas a la red, se pueden encontrar dos casos:

- ❖ **Centrales fotovoltaicas:** En las que la energía eléctrica generada se entrega directamente a la red eléctrica, como en otra central convencional de generación eléctrica.
- ❖ **Sistemas fotovoltaicos en edificios o industrias:** Conectados a la red eléctrica, en los que una parte de la energía generada se invierte en el mismo autoconsumo del edificio, mientras que la energía excedente se entrega a la red eléctrica. También es posible entregar toda la energía a la red; el usuario recibirá entonces la energía eléctrica de la red, de la misma manera que cualquier otro abonado al suministro.

Los módulos fotovoltaicos utilizados en estos casos son los mismos que los empleados para instalaciones aisladas de la red, sin embargo, existen edificaciones que utilizan módulos solares con diferentes grados de transparencia, que pueden ser integrados en fachadas y cubiertas de edificios y que generan energía eléctrica. Además, al permitir la penetración de la luz en el edificio, los módulos ayudan también a cubrir una parte de las necesidades térmicas del inmueble. Debe tenerse en cuenta, que la diferencia fundamental entre las instalaciones aisladas de la red y las conectadas a la red, radica en los tipos de convertidores utilizados. Las instalaciones conectadas a la red no incluyen baterías ni por lo tanto, reguladores.

### **2.5.3 Aplicaciones singulares**

- ❖ Este tipo de aplicaciones está dirigida, hacia satélites artificiales y aplicaciones espaciales, objetos de bolsillo, relojes, calculadoras, neveras portátiles para el transporte de vacunas a zonas aisladas del Tercer Mundo, producción de hidrógeno, alimentación de vehículos eléctricos, oxigenación de aguas, cloración de aguas (una pequeña bomba conectada a un depósito de hipoclorito sódico), protección catódica de infraestructuras metálicas (gasoductos, por ejemplo), etc.

## **2.6 Producción mundial de energía solar**

En la tabla 2.3, se muestran un resumen de potencia fotovoltaica instalada para el año 2004, mientras que la tabla 2.4 se señalan las grandes plantas de energía fotovoltaica existentes a nivel mundial:

Tabla 2.3 Potencia fotovoltaica instalada hacia fines de 2004

País	Capacidad FV				
	Acumulado			Instalado en 2004	
	Aislado [kW]	Conectado a red [kW]	Total [kW]	Total [kW]	Conectado a red [kW]
Australia	48.640	6.760	52.300	6.670	780
Austria	2.687	16.493	19.180	2.347	1.833
Canadá	13.372	512	13.884	2.054	107
Francia	18.300	8.000	26.300	5.228	4.183
Alemania	26.000	768.000	794.000	363.000	360.000
Italia	12.000	18.700	30.700	4.700	4.400
Japón	84.245	1.047.746	1.131.991	272.368	267.016
Corea	5.359	4.533	9.892	3.454	3.106
México	8.172	10	18.182	1.041	0
Países Bajos	4.769	44.310	49.079	3.162	3.071
Noruega	6.813	75	6.888	273	0
España	14.000	23.000	37.000	10.000	8.460
Suiza	3.100	20.000	23.100	2.100	2.000
Reino Unido	776	7.386	8.164	2.261	2.197
Estados Unidos	189.600	175.600	365.200	90.000	62.000

Tabla 2.4 Plantas de energía FV más grandes del mundo

Potencia pico DC	Ubicación	Descripción	Energía (MWh/año)
6,3 MW	Mühlhausen, Alemania	57.600 módulos solares	6.750 MWh
5 MW	Bürstadt, Alemania	30.000 módulos solares BP	4.200 MWh
5 MW	Espenhain, Alemania	33.500 Shell módulos solares	5.000 MWh
4,59 MW	Springerville, AZ, EEUU	34.980 módulos solares BP	7.750 MWh

Tabla 2.4 Plantas de energía FV más grandes del mundo (continuación)

<b>Potencia pico DC</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Energía (MWh/año)</b>
4 MW	Geiseltalsee, Merseburg, Alemania	25.000 módulos solares BP	3.400 MWh
4 MW	Gottelborn, Alemania	50.000 módulos solares (cuando sea completado)	8.200 MWh (cuando sea completado)
4 MW	Hemau, Alemania	32.740 módulos solares	3.900 MWh
3,9 MW	Rancho Seco, CA, EEUU	N.A.	N.A.
3,3 MW	Dingolfing, Alemania	Módulos solares Solara, Sharp y Kyocera	3.050 MWh
3,3 MW	Serre, Italia	60.000 módulos solares	N.A.
2,44 MW	Castejón, España	14.400 módulos solares	4.400 MWh

## 2.7 Vida útil de las celdas fotovoltaicas

Los fabricantes de módulos fotovoltaicos, garantizan que los paneles solares tendrán una vida útil de 20 años, por lo que cualquier desperfecto que tengan en este tiempo, ya sea que entreguen un voltaje menor al especificado u otra anomalía, ellos devuelven un modulo nuevo reemplazando al defectuoso, aún cuando luego de 20 años la garantía expire. Un módulo fotovoltaico tiene una vida útil de 40 años, en donde el nivel de eficiencia del mismo baja a razón de un 3 a un 8% por año. El dimensionamiento del sistema fotovoltaico considera un cambio en el subsistema de almacenamiento a los 10 años, por lo que si se utilizarán baterías adecuadas, es decir, de ciclo profundo, no deberían tener desperfectos antes de una década.

## 2.8 La radiación solar

La radiación solar, es la energía electromagnética que se genera (Emana) en los procesos de fusión del hidrógeno (En átomos de helio) contenido en el sol.

La energía solar que en un año llega a la tierra a través de la atmósfera es de tan sólo aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la tierra fuera de la atmósfera y, de ella, el 70% cae en los mares. Sin embargo, la energía que queda, que en un año cae sobre la tierra firme, es igual a varios miles de veces el consumo total energético mundial actual. [ 7 ]

La radiación solar (Flujo solar o densidad de potencia de la radiación solar) recogida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar y es igual a 1353 W/h, varía durante el año un 3% a causa de la elipticidad de la órbita terrestre.

El valor máximo medido sobre la superficie terrestre es, en cambio, de aproximadamente 1000W/m<sup>2</sup>, en condiciones óptimas de sol a mediodía y en un día de verano despejado.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre puede ser directa o dispersa. Mientras la radiación directa incide sobre cualquier superficie con un único y preciso ángulo de incidencia, la dispersa cae en esa superficie con varios ángulos. Es necesario recordar que cuando la radiación directa no puede dar a una superficie a causa de la presencia de un obstáculo, el área en sombra no se encuentra completamente a oscuras gracias a la contribución de la radiación dispersa. Esta observación tiene importancia técnica para los dispositivos fotovoltaicos, que pueden funcionar incluso solamente con radiación dispersa.

Una superficie inclinada puede recibir, además, la radiación reflejada por el terreno o por espejos de agua o por otras superficies horizontales, fenómeno conocido como albedo.

Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen:

- ❖ De las **condiciones meteorológicas** (De hecho, en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad; en un día despejado con clima seco predomina, en cambio, la componente directa, que puede llegar hasta el 90% de la radiación total).
- ❖ De la **inclinación** de la superficie respecto al plano horizontal (Una superficie horizontal recibe la máxima radiación dispersa -si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie- y la mínima reflejada).
- ❖ De la presencia de **superficies reflectantes** (Debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno).

En función del lugar, además, varía la relación entre la radiación dispersa y la total, ya que al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada. Por ello, la inclinación que permite maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar.

La posición óptima, en la práctica, se obtiene cuando la superficie está orientada al sur, con ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar: La orientación al sur, de hecho, maximiza la radiación solar captada, recibida durante el día y si la inclinación es igual a la latitud hace que sean mínimas, durante el año

las variaciones de energía solar captadas debidas a la oscilación de 23,5° de la dirección de los rayos solares respecto a la perpendicular a la superficie de recogida.

Si llamamos  $I(d)$  la radiación directa,  $I(s)$  la dispersa y  $R$  al albedo, entonces resulta que la radiación solar total que cae sobre una superficie es:

$$I(t) = I(d) + I(s) + R \quad 2.2$$

❖ **Verificación de la aptitud del lugar:** Presencia de sombras (vegetación, construcciones, alturas); nieblas o neblinas matutinas; precipitaciones en forma de nieve; y régimen de vientos. Estas características determinan la ubicación del generador fotovoltaico, su exposición respecto al Sur geográfico, la mayor inclinación sobre el plano horizontal, y las características de las estructuras de soporte.

❖ **Cuantificación de la necesidad diaria de energía:** El parámetro a utilizar como punto de partida para el diseño de un sistema fotovoltaico es la energía requerida, entendida como:

$$E = W * t \quad 2.3$$

Donde:  $E$  : Es la representación de la energía diaria consumida

$W$  : Es la potencia consumida.

$t$  : Es el tiempo de utilización.

Los consumos de los usuarios aislados o conectados a red que hay que alimentar con el sistema fotovoltaico tienen que ser considerados en términos de energía diaria requerida. Por ejemplo:

- ❖ 1 TV color 60W, utilizado 3 horas/día.
- ❖ 2 Lámparas de 15 W, a alimentar durante 5 horas/día.

$$E = 2(15W * 5horas / días) + 1*(60W * 3horas / día)$$
$$E = 330Wh/día$$

### **2.8.1 Elección de la inclinación de los módulos**

La inclinación normalmente tiene que ser igual a la latitud del lugar, lo que es posible siempre que no haya exigencias de tipo arquitectónico que lo impidan.

### **2.8.2 Cálculo de la potencia pico del generador fotovoltaico**

La energía producida por un módulo es linealmente proporcional a la radiación solar incidente sobre la superficie de los módulos solares. Es, por tanto, necesario efectuar este cálculo basándose en las informaciones relativas a la radiación solar del lugar.

Un método de cálculo utilizado frecuentemente consiste en medir mediante tablas adecuadas, las horas equivalentes del lugar considerado y la inclinación deseada de los módulos fotovoltaicos.

Se define como hora equivalente; el período de tiempo en el que la radiación solar toma un valor igual a  $1000 \text{ W/m}^2$ . Esta metodología es utilizada en los cálculos de las dimensiones de una instalación fotovoltaica para determinar la cantidad de energía producida diariamente por un módulo fotovoltaico. Con esta metodología de cálculo, conociendo el parámetro Hora - Equivalente mensual del lugar, es posible calcular la potencia de pico del generador fotovoltaico:

$$PPF V = PDE/HEQ$$

2.4

Donde: PPFV: Potencia pico del generador fotovoltaico.

PDE : Petición diaria de energía.

HEQ : Horas equivalentes.

### 2.8.3 Evaluación de las pérdidas del sistema

Es necesario tener en cuenta las pérdidas por caídas de tensión introducidas por los componentes que forman el sistema (baterías, regulador de carga, cables de conexión, otros.).

Suponiendo que las pérdidas totales del sistema sean aproximadamente del 30%, entonces es necesario aumentar en el mismo porcentaje la potencia de pico del generador fotovoltaico.

## 2.9 La trayectoria solar

Además de las condiciones atmosféricas hay otro parámetro que afecta radicalmente, a la incidencia de la radiación sobre un captador solar (Panel Solar), este es el movimiento aparente del sol a lo largo del día y a lo largo del año, ver Figura 2.19. Se dice "aparente" porque en realidad la Tierra es la que está girando y no el Sol. La Tierra tiene dos tipos de movimientos: uno alrededor de su propio eje (llamado movimiento rotacional) el cual da lugar al día y la noche y el otro; es alrededor del sol (llamado movimiento traslacional) siguiendo una trayectoria elíptica, el cual da lugar a las estaciones del año. [8]

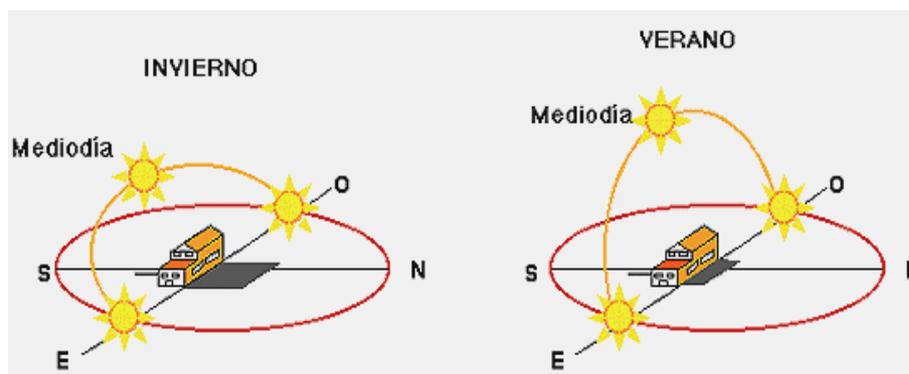


Figura 2.19 Movimiento aparente del sol en la bóveda celeste en función de la hora del día y la época del año.

## 2.10 Impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica

La legislación básica estatal sobre evaluación de impacto ambiental, no contempla las instalaciones fotovoltaicas como supuestos sometidos a este procedimiento. No obstante, para saber si este trámite es necesario o no, antes de proceder a la implantación de la instalación habrá que comprobar en la normativa de la Comunidad Autónoma correspondiente si se tiene que realizar la evaluación de impacto.

El impacto en el medio ambiente de las fuentes de energía renovables es reducido, sobre todo en lo que concierne a las emisiones de contaminantes al aire y al agua. Al disminuir la necesidad de obtención de energía a través de otras fuentes más contaminantes, contribuyen a la disminución de las emisiones de gases responsables del efecto invernadero y de la lluvia ácida. En lo que respecta a la energía solar fotovoltaica, se puede afirmar que, por sus características, es la fuente renovable más respetuosa con el medio ambiente. Los sistemas fotovoltaicos no producen emisiones ni ruidos o vibraciones y su impacto visual es reducido gracias a que por su disposición en módulos, pueden adaptarse a la morfología de los lugares en los que se instalan; además, producen energía cerca de los lugares de consumo, evitando las pérdidas que se producen en el transporte.

Sin embargo, el impacto ambiental de la energía fotovoltaica no puede considerarse nulo. Algunos de los problemas y los tipos de impactos ambientales que pueden influir de forma negativa en la percepción de las instalaciones fotovoltaicas por parte de la ciudadanía son los siguientes: la contaminación que produce el proceso productivo de los componentes, la utilización del territorio, el impacto visual y el impacto sobre la flora y la fauna.

La contaminación producida en la fabricación de los componentes de los paneles fotovoltaicos y las emisiones de contaminantes que producen, dependen de la tecnología utilizada. Los sistemas fotovoltaicos más utilizados son los basados en el silicio (elemento extremadamente abundante en la tierra) monocristalino, policristalino y amorfo.

El proceso de fabricación por sí mismo no implica una utilización apreciable de sustancias peligrosas o contaminantes y hay que considerar también que, con las actuales proporciones del mercado fotovoltaico, el silicio puede obtenerse del reciclaje de los desechos de la industria electrónica. En algunos tipos de células se evidencian posibles riesgos en caso de incendio, debido a la formación de gases tóxicos. Por este motivo, los paneles fotovoltaicos al final de su vida útil tienen que ser debidamente reciclados.

La necesidad de territorio depende de la forma de utilización de la instalación fotovoltaica: descentralizada o centralizada en grandes sistemas.

En el primer caso, el territorio utilizado puede reducirse casi a cero porque los paneles pueden ser instalados sobre terrenos ya ocupados, como tejados, fachadas y terrazas de los edificios existentes, cubiertas de apartamentos o, normalmente, de áreas de descanso, bordes de autopistas, etc. El potencial para la utilización descentralizada de los sistemas fotovoltaicos puede considerarse, por lo tanto, bastante amplio.

En el caso de producción fotovoltaica en sistemas centralizados, la necesidad de energía está relacionada con varios factores, como la eficiencia de conversión de los módulos y las características de insolación del lugar. En cualquier caso, la utilización de sistemas centralizados requiere notables extensiones de territorio para poder ofrecer una producción eléctrica apreciable.

En algunos casos, los sistemas fotovoltaicos pueden rechazarse por cuestiones estéticas. En general, el impacto visual depende sobre todo del tamaño del sistema. El tamaño no representa un problema en el caso de su utilización descentralizada, ya que los sistemas pueden estar bien integrados sobre los tejados o en las fachadas de los edificios.

Los sistemas fotovoltaicos de tamaño medio o grande pueden, en cambio, tener un impacto visual no evitable, que depende sensiblemente del tipo de paisaje (de su valor).

El impacto visual está relacionado con la orientación de las superficies reflectantes respecto a los posibles puntos de observación y puede minimizarse respetando unas distancias oportunas respecto a los centros habitados, las carreteras, entre otros, o utilizando elementos como árboles o setos entre los paneles y los puntos de observación, respetando, en todo caso, la exigencia de evitar sombras indeseadas en el campo fotovoltaico.

Para la utilización descentralizada de los sistemas fotovoltaicos, el impacto sobre la fauna y la flora normalmente se considera prácticamente inexistente, ya que consiste principalmente en la ocupación de suelo y no causa ruido o vibraciones. No es posible eliminar los efectos negativos producidos durante la fase de realización de grandes sistemas, aunque éstos son temporales y limitados.

En cuanto al “robo” de radiación solar por parte de los paneles al medio ambiente circundante, que en teoría podría modificar el microclima local, es

necesario recordar que aproximadamente sólo el 10% de la energía solar incidente por unidad de tiempo sobre la superficie del campo fotovoltaico es transformada y transferida a otro lugar en forma de energía eléctrica, siendo el 90% restante reflejada o transferida a través de los módulos.

Es evidente que ni siquiera las tecnologías poco contaminantes, como la fotovoltaica, están exentas de conllevar impactos al medio ambiente y encuentran dificultades de aceptación por parte de la población. Sin embargo, la magnitud y la significación de estos sistemas son claramente inferiores a los de otras tecnologías de producción de energía tradicionales, aunque a veces puedan provocar oposiciones difíciles de superar.

Con estas consideraciones, los siguientes pasos, es decir, la elección del lugar, el estudio del proyecto y los mecanismos de autorización, pueden tener mejores resultados si se realiza una atenta evaluación preventiva de los posibles impactos medioambientales provocados por los sistemas fotovoltaicos.

### **2.11 Unidades terminales remotas (RTU).**

El creciente desarrollo en la informática, en la electrónica y en las telecomunicaciones ha traído como consecuencia la integración de la mayor parte de los elementos del subsistema de procesamiento y control local. Como consecuencia en una sola unidad se han integrado los módulos de entrada E/S, la unidad procesadora central, el módulo de comunicaciones, el módem, el transmisor de radio, un teclado funcional y una fuente de poder.

Esta unidad se denomina Unidad Terminal Remota, es muy utilizada en la industria petrolera en instalaciones remotas. Todos los elementos vienen integrados en un gabinete blindado que cumple con las recomendaciones usuales de seguridad para su utilización en el campo. (NEMA 4). [9]

De acuerdo con la ANSI, el término “Unidad Terminal Remota”, se refiere al equipo de una estación alejada (Remota) de un sistema supervisorio, y el término “supervisorio” incluye todo el “control, indicación y equipos asociados de telemetría en la estación maestra, y todos los dispositivos complementarios en la estación o estaciones remotas”.

Como la RTU es la interfaz con los dispositivos de campo, se le puede considerar como los ojos, oídos y manos de una estación maestra. La inclusión de módulos de computación con microprocesadores ha hecho posible descargar el canal de comunicaciones y los computadores de procesos globales, de muchas tareas que anteriormente ellos desarrollaban. Como consecuencia, los costos totales se han reducido, la flexibilidad ha mejorado y aumentado las prestaciones de los sistemas local y global. En la figura 2.20 se muestra de manera esquemática los elementos contenidos en una RTU, mientras que en la figura 2.21 se observa la arquitectura detallada la RTU.

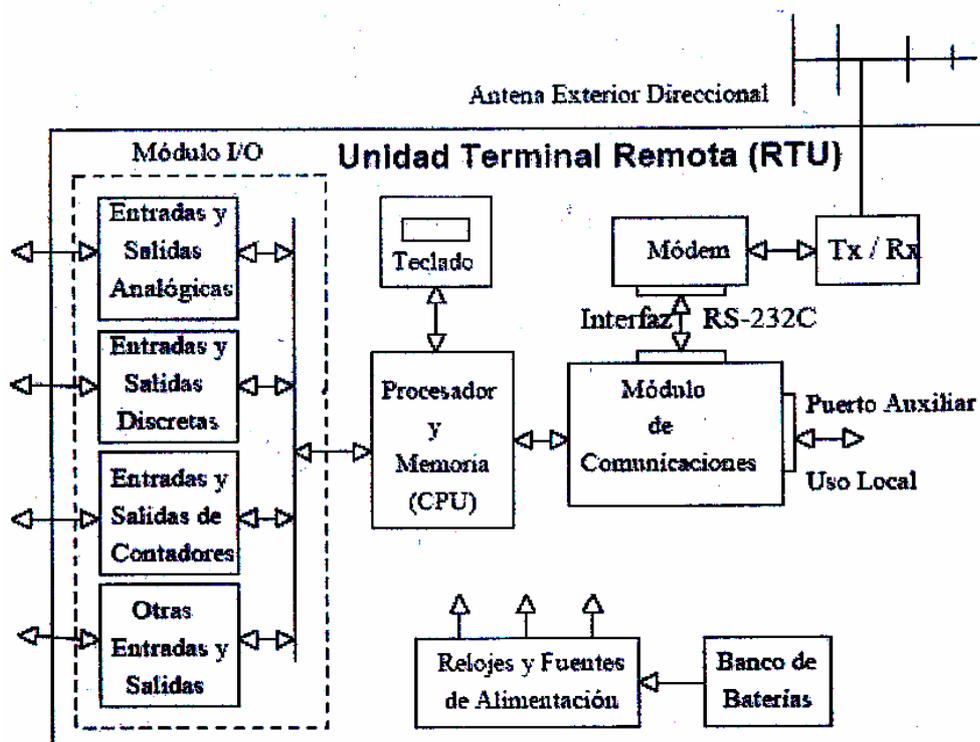


Figura 2.20 Elementos contenidos en una RTU.

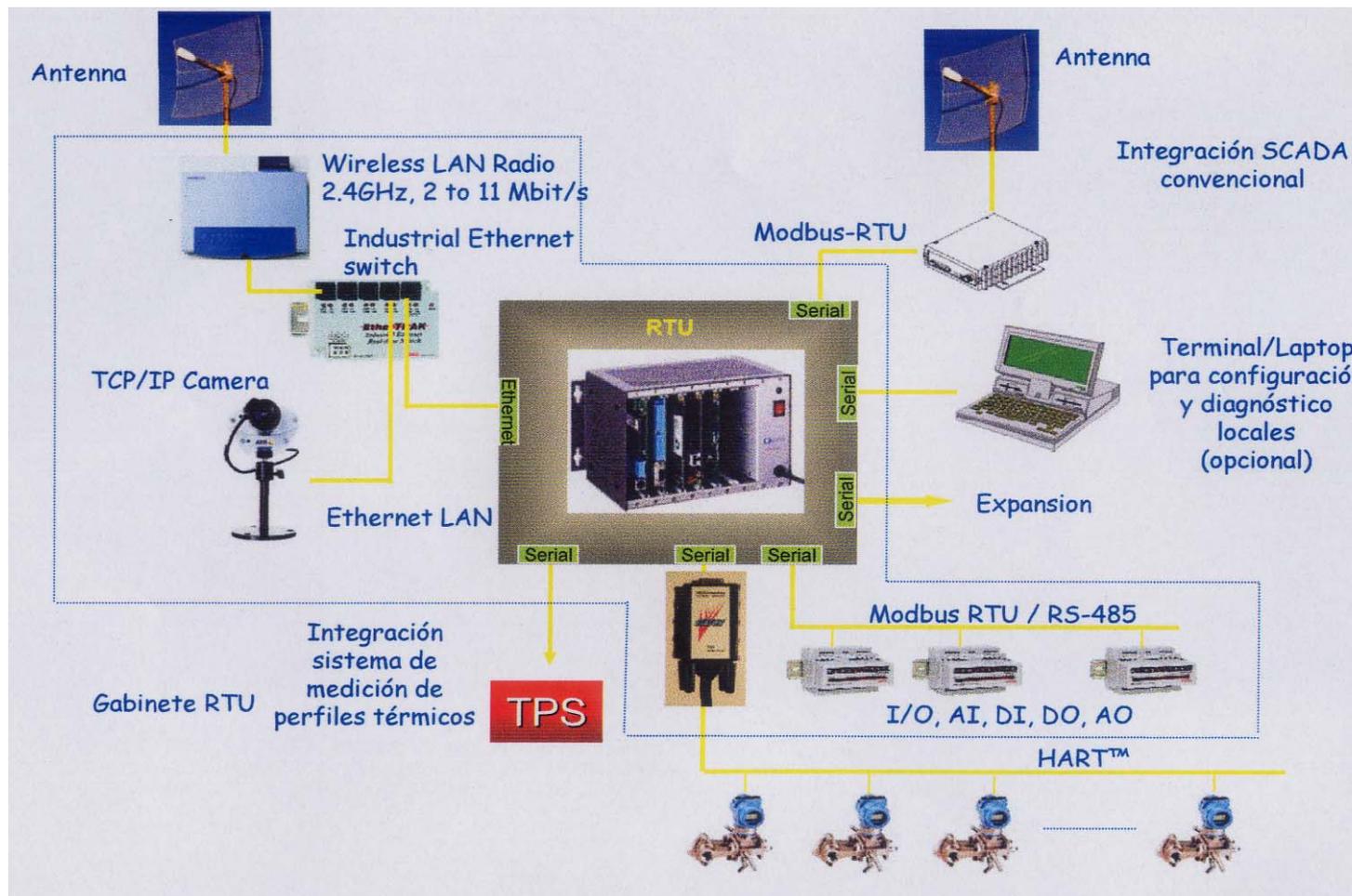


Figura 2.21 Arquitectura de una RTU.

Hay distintos tipos de RTU, y dependiendo de la complejidad del trabajo que deban realizar, según el motivo para el cual fueron diseñadas. Así, tenemos RTUs específicas del mercado eléctrico, RTUs para Gas y Petróleo, RTUs para Aguas, comunicaciones, otras que fueron diseñadas específicamente para adquirir señales y producir informes típicos de cada mercado, como por ejemplo los cálculos AGA para las remotas de gas, o el registro secuencial de eventos para las remotas de energías.

Las RTUs por lo general están compuestas por un adquisidor de datos, un módem, un equipo de comunicaciones, una CPU, y una fuente de alimentación, que en casos extremos puede estar compuesta por baterías y paneles solares. Esta composición puede variar según el servicio al que debe aplicarse, de la disponibilidad de enlaces adecuados (Que van desde la línea telefónica hasta el satelital), de la autonomía del equipo y del tiempo en que la misma pueda permanecer aislada del sistema central.

### **2.11.1 Funciones de la unidad terminal remota**

- ❖ Adquirir datos y muestrear sensores, haciendo medidas instantáneas y enviándolas al computador en tiempo real.
- ❖ Almacenar información durante periodos de fallo de comunicaciones.
- ❖ Realizar cálculos en líneas, desde aplicar factores de escala (amplificación y polinomios) conversión de unidades, cálculos matemáticos o estadísticos (promedio, desviación estándar, máximo, mínimo, otros). Con la ventaja de poder almacenar únicamente los resultados de los cálculos evitando un gran volumen de datos.
- ❖ Mostrar cualquier dato en la pantalla del computador o en un indicador externo si esta instalado.
- ❖ Activar alarmas cuando los datos estén fuera de los rangos especificados. Las alarmas pueden activar dispositivos mediante sus salidas digitales (Por ejemplo: encender una lámpara de aviso) o modificar el programa (Por

ejemplo: tomar medidas más rápidas o lentas, parar, tomar medidas de otros sensores).

- ❖ Activar funciones de control sencillas (Por ejemplo: poner marcha bombas, parar un proceso).
- ❖ Gestionar las comunicaciones con los niveles superiores.
- ❖ Verificar su funcionamiento interno, autodiagnóstico tomando acciones en caso de fallo. [ 10 ]

### **2.11.2 Características Normales de la unidad terminal remota**

- ❖ Entradas digitales aisladas simples, dobles, pulsos, contadores, asociadas.
- ❖ Salidas digitales con reles intermediarios, por pulsos, por estados, unitarias, asociadas.
- ❖ Medidas de potencia activa, reactiva, energía, frecuencias y armónicas.
- ❖ Entradas analógicas para transductores con o sin aislamiento.
- ❖ Entradas de medidas directas de corriente y tensión, desde los transformadores de medida.
- ❖ Enlace simple o duplicado con los centros de control.
- ❖ Puertos básicos: RS232, RS485 y Ethernet.
- ❖ Medios de comunicación: línea directa, ethernet, módem, fibra óptica, onda portadora, radio punto a punto o multipunto, módem para la red celular CDPD y GPRS.

### **2.11.3 Características Avanzadas de la unidad terminal remota**

- ❖ Sistema operativo de tiempo real.
- ❖ CPU totalmente de estado sólido sin partes móviles.
- ❖ RTU virtual.
- ❖ A cada centro de control se le adjudica un conjunto configurable de las variables de la base de datos interna.

- ❖ Multiprotocolo, puede comunicarse con cada centro de control con un protocolo distinto.
- ❖ Consola local o centro de control local.
- ❖ Multiprotocolo con diversos equipos esclavos.
- ❖ Master de RTU esclavas.
- ❖ Gateway o nodo de comunicaciones, actúa como master de equipos esclavos, como por ejemplo: reles de protección y transfiere sus datos al centro de control.
- ❖ Calidad PLC, el usuario puede incorporar rutinas automáticas para agregar funciones no previstas y especificadas.
- ❖ Administración y configuración remota vía ethernet y TCP/IP.
- ❖ Modularidad de hardware y software.
- ❖ Montaje sobre bandeja sencillo y rápido, permite que el armado inicial o que las modificaciones puedan realizarse con insumos electromecánicos comunes y mínimo cableado interno.
- ❖ Las entradas y salidas digitales no requieren borneras intermediarias.

#### **2.11.4 Tarjeta Procesadora de Memoria**

La tarjeta procesadora, que se muestra en la figura 2.22, es el módulo principal de la RTU, la cual contiene los dispositivos básicos que le proporcionan la inteligencia a la estación remota, y comprende:

- ❖ Unidad procesadora (CPU)
- ❖ Memoria programada (EPROM)
- ❖ Memoria de datos volátil (RAM) y no volátil (EEPROM)
- ❖ Bus paralelo de expansión para el manejo de los módulos opcionales de entrada/salida.
- ❖ MODEM de comunicaciones.

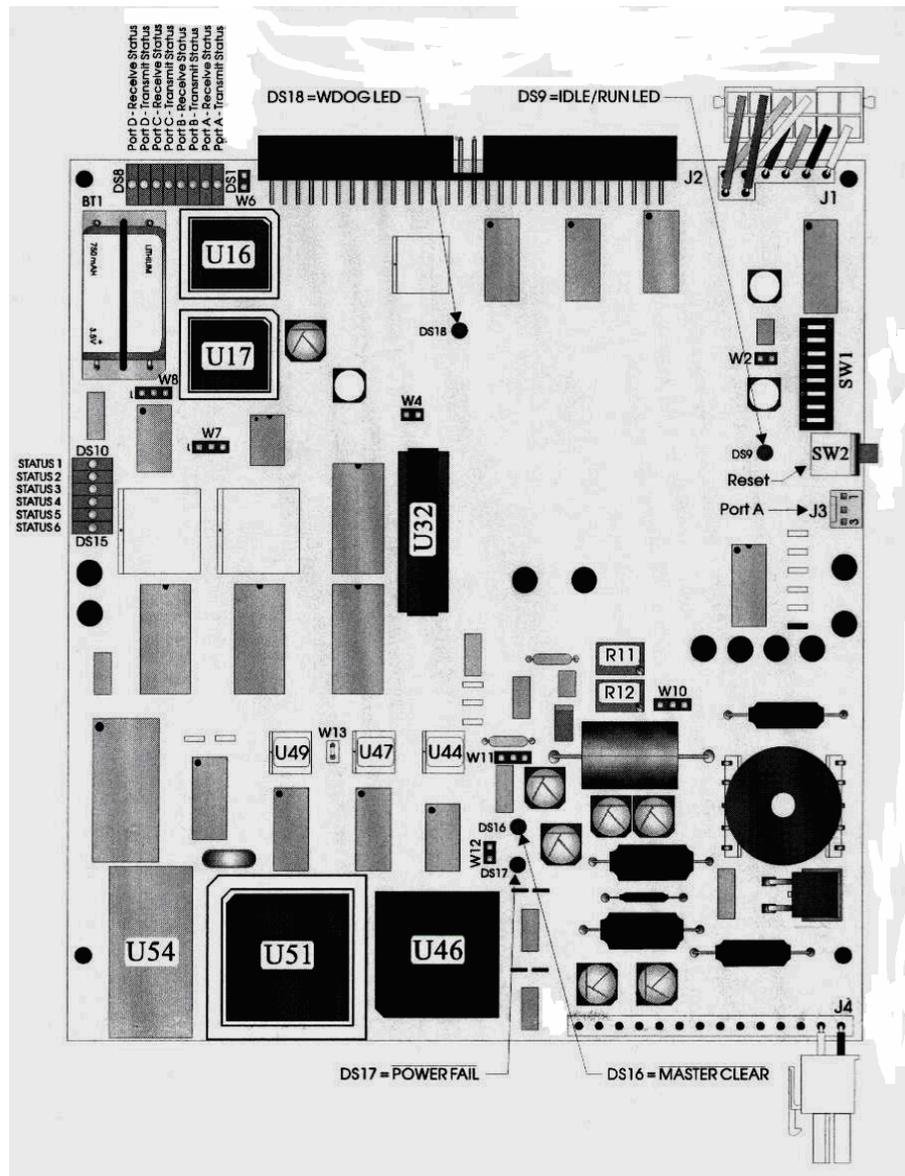


Figura 2.22 Arquitectura de una tarjeta procesadora de memoria

## 2.12 Sistema SCADA.

SCADA es el acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Un SCADA es un sistema basado en computadores que permiten supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo; como lo es el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos,

autómatas programables, otros.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

El flujo de la información en los sistemas SCADA es como se describe a continuación: El FENÓMENO FÍSICO lo constituye la variable que deseamos medir. Dependiendo del proceso, la naturaleza del fenómeno es muy diversa: presión, temperatura, flujo, potencia, intensidad de corriente, voltaje, ph, densidad, otros. Este fenómeno debe traducirse a una variable que sea inteligible para el sistema SCADA, es decir, en una variable eléctrica. Para ello, se utilizan los SENSORES o TRANSDUCTORES.

Los SENSORES o TRANSDUCTORES convierten las variaciones del fenómeno físico en variaciones proporcionales de una variable eléctrica. Las variables eléctricas más utilizadas son: voltaje, corriente, carga, resistencia o capacitancia. [11]

## **CAPÍTULO III**

### **REGISTRO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA OBTENIDA EN CAMPO**

#### **3.1 Generalidades**

Para efectuar el registro y con ello, el análisis de la información técnica de campo de los sistemas fotovoltaicos de los pozos inyectoros de agua; se realizó un recorrido hacia los diferentes pozos ubicados en el campo el Furrial, específicamente los pozos FUL-42 y FUL-88 pertenecientes a Macolla 5 (Situados en el hato “Nuevo Limón”), así como los FUL-18 y FUL-27 (Localizados en el hato “El Tranquero”).

Durante este recorrido se obtuvieron las características técnicas de los diferentes equipos que conforman un pozo inyector de agua, como también las distintas configuraciones e infraestructuras energéticas que presentan los sistemas fotovoltaicos de dichos pozos.

#### **3.2 Ubicación del campo el Furrial**

En el Estado Monagas, en la vía principal Furrial – Punta de Mata a 45 kilómetros de la ciudad de Maturín, se ubican los Hatos “Nuevo Limón” y “El Tranquero”; con un yacimiento petrolífero de alrededor 132 pozos de crudo y 51 pozos inyectoros de agua. En la figura 3.1 se puede observar dicho yacimiento.



Figura 3.1 Ubicación del Yacimiento Petrolífero del Campo el Furrrial

### 3.2.1 Ubicación de pozos inyectoros de agua (FUL-42-FUL-88, FUL-18, FUL-27), en el Hato “Nuevo Limón” y “El Tranquero”

En la figura 3.2 se muestra la ubicación de los pozos FUL-42 y FUL-88, pertenecientes a Macolla 5, ambos se encuentran identificados con un recuadro azul.

En la figura 3.3 se señala la ubicación de los pozos FUL-18 y FUL-27. Estos se encuentran identificados con un recuadro verde.





### 3.3 Características técnicas de los equipos que integran el sistema fotovoltaico de los pozos inyectoros de agua.

En la tabla 3.1, se muestran las características técnicas de los equipos que integran los pozos inyectoros de agua.

Tabla 3.1 Características técnicas de los equipos

<b>Equipos</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Serial</b>
Panel solar	BP Solar	585f	58367
Regulador Solar – Cargador de Baterías	Xantrex	C-40	975-0004-01-01
Baterías	Saft Sunica Ni-Cd	Sun 38-1	9602
R.T.U	Bristol Backcock	RTU 305	33
Transmisor de Presión	Endress+Hauser Cerabar-S	Mat 14435316L	7203150109C
Transmisor de Flujo	Endress+Hauser Cerabar-S	FT-1031	1151HP45E22M1B- 1D2

### 3.4 Configuración energética del sistema fotovoltaico de los pozos inyectoros de agua

Se consideran tres configuraciones energéticas, entre los pozos FUL-42 y FUL-88 pertenecientes a Macolla 5, FUL-18 y FUL-27, como también los equipos que conforman un pozo inyector de agua, el estado y condiciones en que se encuentran.

#### 3.4.1 Configuración energética para el FUL-42 y FUL-88 (Macolla 5)

Las descripciones señaladas a continuación son validas para los pozos FUL-42 y FUL-88, ya que ambos se encuentran ubicados en la misma caseta; la cual recibe el nombre de Macolla 5.

Estos pozos en su configuración energética presentan, ocho paneles solares, con un arreglo fotovoltaico de cuatro configuraciones de módulos solares (Paneles Solares) en paralelo, cada una de estas configuraciones agrupan dos paneles solares en serie. A su vez se encuentra un regulador solar configurado para trabajar a 24 Volts, un banco de baterías de 20 baterías de Ni-Cd de 1.2 Volts cada una, la Unidad Terminal Remota (RTU), un convertidor de 24-12 VDC y un radio transmisor de 12 VDC. En la figura 3.4 se observa el esquema físico de la configuración mencionada.

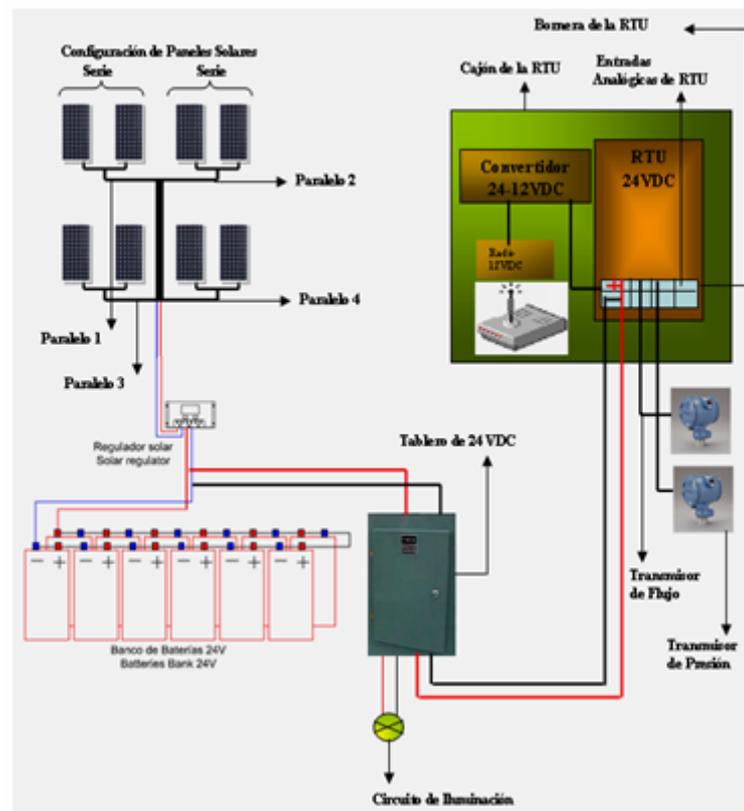


Figura 3.4 Configuración energética del sistema fotovoltaico de Macolla 5

El estado y las condiciones de funcionamiento de los equipos que se encuentran en el pozo, se menciona a continuación:

- ❖ **Panel Solar:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, con un tiempo de utilización de 9 años, el conductor empleado es #8 AWG, 75°C, 600 V.

- ❖ **Regulador Solar - Cargador de Batería:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, regulando la intensidad de corriente de carga hacia las baterías.
- ❖ **Baterías:** Presentan poca sulfatación en los bornes, están dispuestas en un cajón metálico anclado al suelo, el conductor utilizado para su alimentación es #8 AWG, 75°C, 600 V y para los puentes de conexión entre celdas de baterías es # 8 AWG, 75°C, 600 V, el funcionamiento óptimo de los acumuladores ha sido durante 4 años.
- ❖ **RTU:** Presenta buen estado de funcionamiento, estableciendo comunicación efectiva con los equipos de campos (Transmisor de flujo y de presión).
- ❖ **Convertidor 24-12 VDC:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, trabajando en su rango de voltaje de conversión y alimentando el radio transmisor.
- ❖ **Radio MDS:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, transmitiendo hacia SCADA todas las presiones y flujos registrada por la RTU.

En el anexo A se disponen de imágenes reales de la configuración energética de Macolla 5.

### 3.4.2 Configuración energética para el FUL-18

El FUL-18 presenta en su configuración energética veinte y cuatro paneles solares, con un arreglo fotovoltaico, de seis configuraciones de paneles en paralelo, cada una de estas configuraciones agrupan cuatro paneles solares en serie. A su vez se encuentra un regulador solar configurado para trabajar a 24 Volts, un banco de baterías de 20 baterías de Ni-Cd de 1.2 Volts cada una, la Unidad Terminal Remota (RTU), un convertidor de 24-12 VDC y un radio transmisor de 12 VDC. En la figura 3.5, se observa un esquema físico de la configuración energética mencionada anteriormente, mientras que en el anexo A se disponen de las imágenes reales del FUL-18

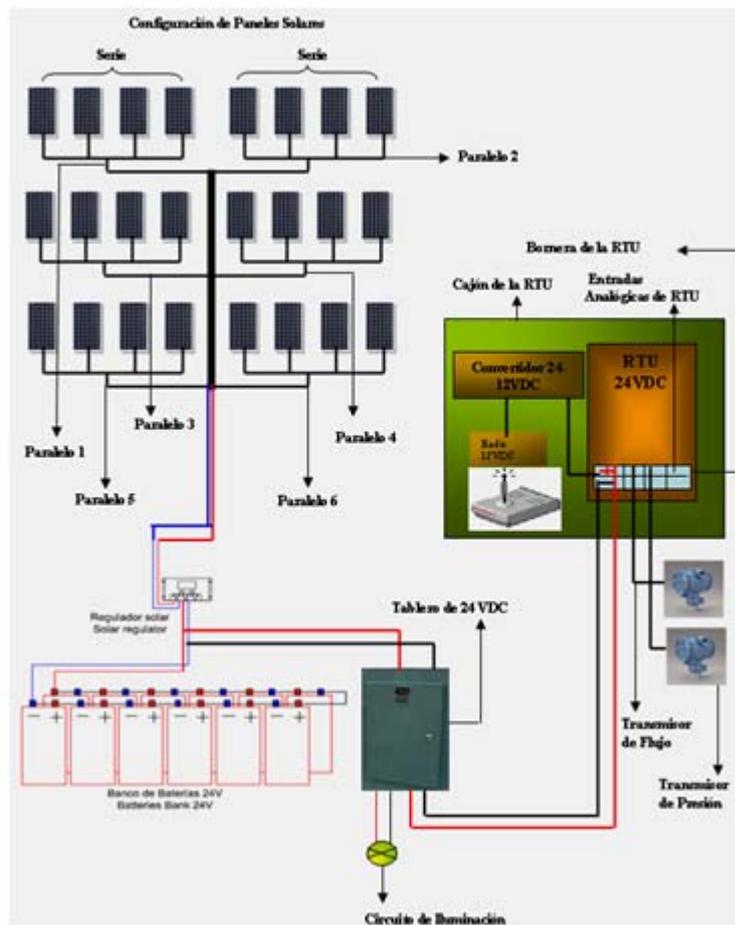


Figura 3.5 Configuración energética del sistema fotovoltaico del FUL-18

El estado y las condiciones de funcionamiento de los equipos que se encuentran en el pozo, se menciona a continuación:

- ❖ **Panel Solar:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, con un tiempo de utilización de 9 años, el conductor empleado es #8 AWG, 75°C, 600 V.
- ❖ **Regulador Solar - Cargador de Batería:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, regulando la intensidad de corriente de carga hacia las baterías.
- ❖ **Baterías:** Presentan sulfatación en los bornes, están dispuestas en un cajón metálico anclado al suelo, el conductor utilizado para la entrada de alimentación es 2C #10 AWG, 75°C, 600 V, para puentes de conexión entre

celdas de baterías #8 AWG, 75°C, 600 V, el funcionamiento óptimo de los acumuladores ha sido durante 4 años.

- ❖ **RTU:** Presenta buen estado de funcionamiento, estableciendo comunicación efectiva con los equipos de campos (Transmisor de flujo y de presión).
- ❖ **Convertidor 24-12 VDC:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, trabajando en su rango de voltaje de conversión y alimentando el radio transmisor.
- ❖ **Radio MDS:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, transmitiendo hacia SCADA todas las presiones y flujos registrada por la RTU.

### **3.4.3 Configuración energética para el FUL-27**

La configuración energética que se encuentra en el sistema fotovoltaico del pozo FUL-27, es similar a la presentada en el FUL-18.

El FUL-27 presenta en su configuración de energética veinte y cuatro paneles solares, con un arreglo fotovoltaico de seis configuraciones de paneles en paralelo, cada una de estas configuraciones agrupan cuatro paneles solares en serie. A su vez se encuentra un regulador solar configurado para trabajar a 24 Volts, un banco de baterías de 20 baterías de Ni-Cd de 1.2 Volts cada una, la Unidad Terminal Remota (RTU), un convertidor de 24-12 VDC y un radio transmisor de 12 VDC. En la figura 3.5, se observa esquema físico de la configuración energética mencionada y en el anexo A imágenes reales de su configuración.

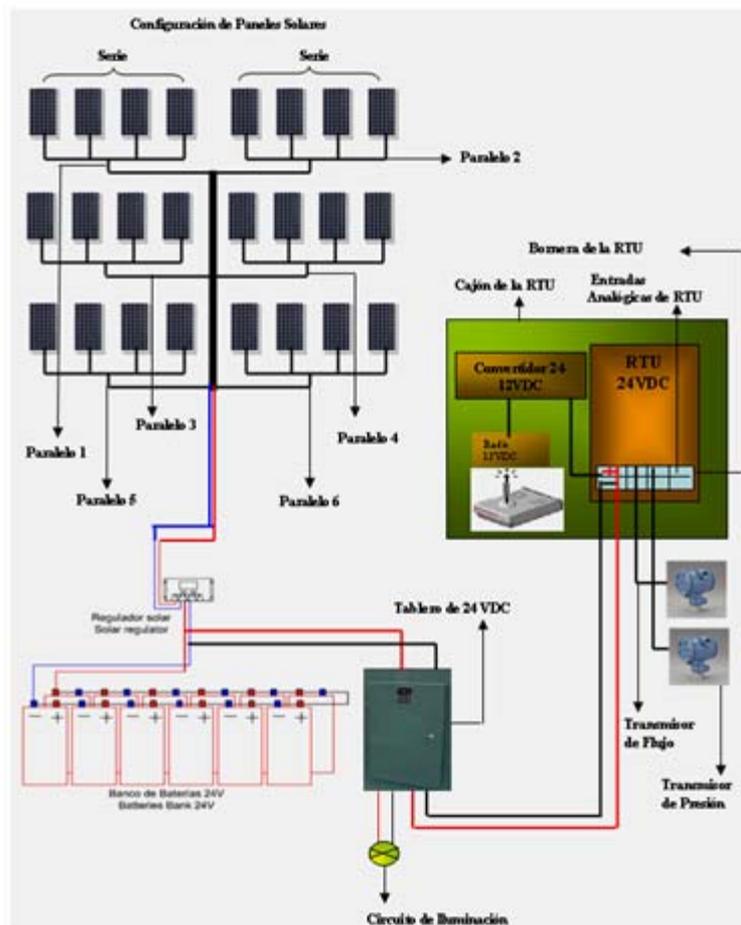


Figura 3.6 Configuración energética del sistema fotovoltaico del FUL-27.

El estado y las condiciones de funcionamiento de los equipos que se encuentran en el pozo, se menciona a continuación:

- ❖ **Panel Solar:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, con un tiempo de utilización de 9 años, el conductor empleado es #8 AWG, 75°C, 600 V.
- ❖ **Regulador Solar - Cargador de Batería:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, regulando la intensidad de corriente de carga hacia las baterías.
- ❖ **Baterías:** Presentan sulfatación en los bornes, algunas celdas de baterías presentan daños que impiden la entrega de energía hacia la carga, están dispuestas sobre un armazón de cabillas a 10 cm. del suelo, el conductor utilizado para la entrada de alimentación es #8 AWG, 75°C, 600 V, para

puentes de conexión entre celdas es #8 AWG, 75°C, 600 V; el funcionamiento óptimo de los acumuladores ha sido durante 4 años.

- ❖ **RTU:** Presenta buen estado de funcionamiento, estableciendo comunicación efectiva con los equipos de campos (Transmisor de flujo y de presión).
- ❖ **Convertidor 24-12 VDC:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, trabajando en su rango de voltaje de conversión y alimentando el radio transmisor.
- ❖ **Radio MDS:** Se encuentra en óptimo funcionamiento, transmitiendo hacia SCADA todas las presiones y flujos registrada por la RTU.

### 3.5 Infraestructura energética del sistema fotovoltaico de los pozos inyectoros de agua.

A lo largo de las secciones 3.5.1 y 3.5.3 se plasmarán los valores de voltaje, corriente y potencia, nominales y medidos de cada uno de los equipos que integran el sistema fotovoltaico de los pozos FUL-42 y FUL-88 pertenecientes a Macolla 5, como también el FUL-18 y FUL-27. En el anexo A, se muestra un respaldo de cada una de las mediciones que serán señaladas en las secciones 3.5.1 y 3.5.3.

Se tiene, en cuenta que durante el recorrido realizado para el levantamiento en campo de la información técnica de los pozos inyectoros de agua, se encontró que los valores de voltaje, corriente y potencia nominales del panel solar, regulador solar, son iguales para cada uno de los pozos. Estos valores se obtuvieron mediante la inspección visual de los datos especificados en la placa de cada equipo. Los valores nominales de voltaje, corriente y potencia del panel solar, para el Ful-42 – Ful-88 (Macolla 5), Ful 18 y Ful-27 se muestran en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Valores nominales de panel solar en cada pozo

Ful-42 y Ful-88 (Macolla 5)	$V_{Nom}$ (Volts)	$I_{Nom}$ (Amp)	$P_{Panel}$ (Watts)

<b>Ful 18</b>	18.8	4.72	85
<b>Ful-27</b>	18.8	4.72	85

Donde:  $V_{Nom}$  : Es el Voltaje nominal por panel solar.

$I_{Nom}$  : Es la Corriente nominal por panel solar.

$P_{Panel}$  : Es la Potencia nominal por panel solar.

Los valores nominales de voltaje, corriente y potencia del regulador solar, para el Ful-42 – Ful-88 (Macolla 5), Ful-18 y Ful-27 se muestran en la tabla 3.3:

Tabla 3.3 Valores nominales del regulador solar en cada pozo

<b>Pozos</b>	<b><math>V_{Nom}</math> (Volts)</b>	<b><math>I_{Nom}</math> (Amp)</b>	<b><math>P_{Nom}</math> (Watts)</b>
<b>Ful-42 y Ful-88 (Macolla 5)</b>	24	40	960
<b>Ful 18</b>	24	40	960
<b>Ful-27</b>	24	40	960

Donde:  $V_{Nom}$ : Es el voltaje nominal de trabajo del regulador solar.

$I_{Nom}$  : Es la corriente nominal máxima, que permite el regulador solar.

$P_{Nom}$  : Es la potencia nominal del regulador solar.

A su vez se encontró en este recorrido, que la capacidad de las baterías utilizadas, es igual en todos los pozos, la cual se muestra en la tabla 3.4:

Tabla 3.4 Capacidad de las baterías utilizadas en los pozos

<b>Pozos</b>	<b>C(Ah/100h)</b>
<b>Ful-42 ;Ful-88 (Macolla 5)</b>	393
<b>Ful 18</b>	393
<b>Ful-27</b>	393

Donde:  $C$  (Ah/100h): Es la capacidad de la batería en Ah (Amperios-hora)

### **3.5.1 Infraestructura energética para los pozos Ful-42 y Ful-88, pertenecientes a Macolla 5.**

En esta sección se realizaron mediciones que permitieron obtener valores de voltaje, corriente y potencia de los diferentes equipos que conforman el sistema fotovoltaico de un pozo inyector; entre estos equipos se encuentran: Panel Solar, Regulador Solar, Baterías.

#### **3.5.1.1 Valores medidos del panel solar**

En esta prueba los valores de voltaje y corriente del panel solar, se obtuvieron por las mediciones realizadas en el regulador solar. Para medir el voltaje del panel solar con la configuración en serie ( $V_{\text{PanelS}}$ ), se procedió a conectar un multímetro digital (Modalidad de Voltaje) en los bornes positivo (Fv+) y negativo (FV-) de la matriz fotovoltaica; mientras que para la corriente de la configuración en paralelo ( $I_{\text{ConfP}}$ ) de los paneles solares, se midió colocando una pinza amperimétrica DC en el conductor acoplado al borne positivo de la matriz fotovoltaica (Fv+). En las figura 3.7 y 3.8 se ilustran estas mediciones.

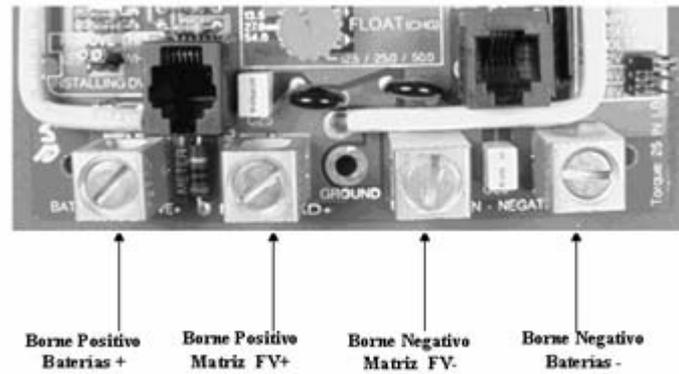


Figura 3.7: Arquitectura interna del regulador solar.

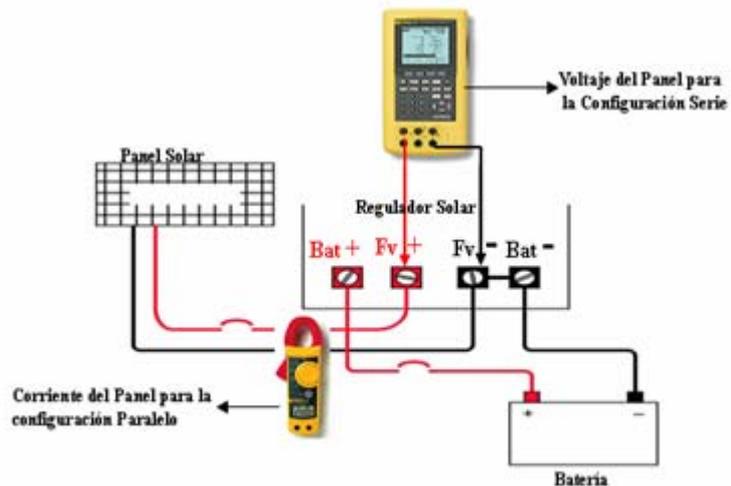


Figura 3.8: Mediciones del panel solar realizadas en el regulador solar

Los resultados de las mediciones expuestas anteriormente, se pueden observar en la tabla 3.5, que se muestra a continuación:

Tabla 3.5 Valores medidos del panel solar

<b>Ful-42; Ful-88</b>	<b><math>V_{\text{PanelS}}</math> (Volts)</b>	<b><math>I_{\text{ConfP}}</math> (Amp)</b>	<b><math>P_{\text{Panel}}</math> (Watts)</b>
<b>Nominal</b>	37.6	19	714
<b>Medido</b>	36.2	17.5	634

Donde:  $V_{\text{PanelS}}$  : Es el voltaje del panel solar por la configuración en serie.

$I_{\text{ConfP}}$  : Es la corriente del panel solar por la configuración en paralelo.

$P_{\text{Panel}}$  : Es la potencia de la configuración de los paneles solares

### **3.5.1.2 Valores medidos del regulador solar – cargador de baterías:**

Los valores de voltaje y corriente del regulador solar, se obtuvieron por las mediciones realizadas en dicho regulador. Para obtener las mediciones de voltaje de entrada del regulador ( $V_R$ ), se efectuó el procedimiento ejecutado en la sección 3.5.1.1, es decir, se conectó un multímetro digital (Modalidad de Voltaje) entre el borne positivo (Fv+) y negativo (Fv-) de la matriz fotovoltaica; mientras que, para medir el voltaje de salida se colocó el multímetro en los bornes (Positivo Bat+ y Negativo Bat-) del regulador solar destinados para la conexión de las baterías. En la figura 3.8 se ilustran estas mediciones.

Para la medición de las corrientes de entrada y salida en el regulador solar, se procedió a trabajar con las baterías cargadas y descargadas, tomando en cuenta que:

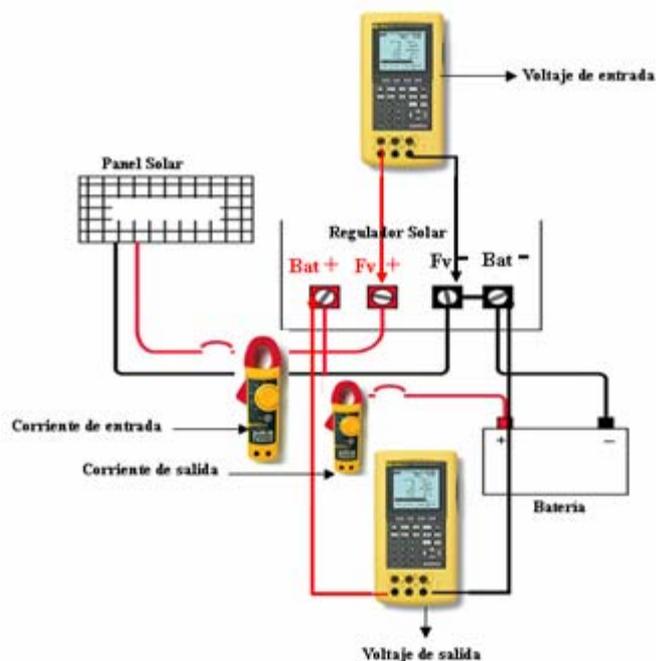


Figura 3.9: Mediciones del regulador solar.

- a) **Para medir los valores de corriente de entrada y salida del regulador con las baterías cargadas ( $IR_{BatC}$ ):** Se colocó una pinza amperimétrica DC en el conductor acoplado al borne positivo (Bat +) del regulador solar, destinado para la conexión de las baterías (Ver figuras 3.9), obteniendo así la corriente salida del regulador; mientras que para la corriente de entrada, se colocó la pinza amperimétrica en el conductor acoplado al borne positivo (FV+) del regulador solar, destinado para la conexión de la matriz fotovoltaica. En figura 3.9 se ilustran estas mediciones.
- b) **En la medición de las corrientes de entradas y salida del regulador con las baterías descargadas ( $IR_{BatD}$ ):** se realizó la desconexión de cada una de las celdas de baterías, hasta un máximo de 12 celdas del total de 20 baterías que conforman el banco de baterías, simulando de esta manera la descarga de las baterías. Ver figura 3.10.

Los valores de las corrientes de entrada y salida, se obtuvieron bajo el procedimiento efectuado en la sección 3.5.1.2.a.

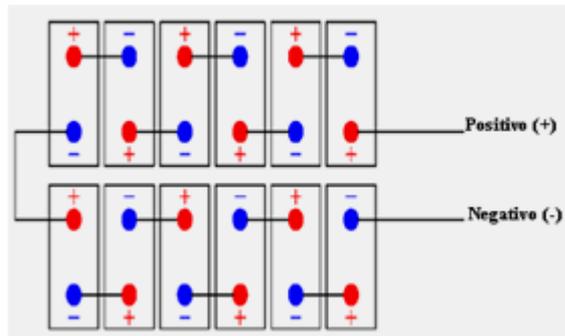


Figura 3.10 Desconexión de baterías en el banco de baterías

Los resultados de las mediciones expuestas anteriormente, se pueden observar en la tabla 3.6, que se muestra a continuación:

Tabla 3.6 Valores medidos del regulador solar

<b>Ful-42; Ful-88</b>	<b><math>V_R</math> (Volts)</b>	<b><math>I_{R_{BatC}}</math> (Amp)</b>	<b><math>I_{R_{BatD}}</math> (Amp)</b>
<b>Entrada</b>	36.2	17.5	17.5
<b>Salida</b>	30.6	1.07	4.5

Donde:  $V_R$  : Es el voltaje del regulador.

$I_{R_{BatC}}$  : Es la corriente del regulador con las baterías cargadas.

$I_{R_{BatD}}$  : Es la corriente del regulador con las baterías descargadas.

### 3.5.1.3 Valores medidos en las baterías

Para las mediciones realizadas en el banco de baterías y las baterías que lo conforman, se efectuaron pruebas que permitieron estudiar el comportamiento de dichas baterías. Entre estas se destacan, las efectuadas con el panel solar conectado y desconectado.

### 3.5.1.3.1 Valores medidos en el banco de baterías con panel solar conectado.

Los valores de voltaje y corriente del banco de baterías se obtuvieron por mediciones realizadas en dicho banco de baterías. Cabe destacar que para garantizar un comportamiento efectivo de las baterías, se desconectó su carga (RTU, equipos de campo e iluminación).

- a) El voltaje del banco ( $V_{\text{Banco}}$ ) de baterías, se obtuvo colocando un multímetro (Modalidad voltaje) en los terminales de entrada (Positivo+ y Negativo-) de dicho banco. En la figura 3.11, se observa esta medición.

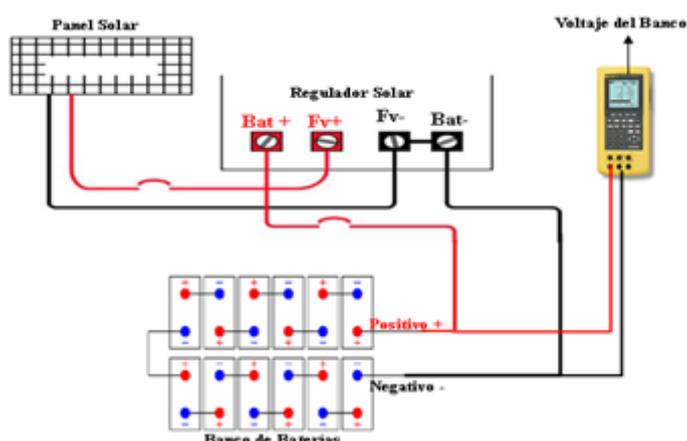


Figura 3.11 Mediciones en el banco de baterías

- b) La corriente del banco ( $I_{\text{Banco}}$ ) y del banco con las baterías cargadas ( $I_{\text{BancoBatC}}$ ), se obtuvieron colocando en las terminales de entrada (Positivo+ y Negativo-) del banco de baterías una resistencia con impedancia variable desde 1 a 50 Ohm y de potencia de 500 Watts. En esta resistencia se realizaron variaciones de 2 en 2  $\Omega$ , partiendo de los 50  $\Omega$  hasta 1.5  $\Omega$  (Observar figura 3.12). Debe tenerse en cuenta que para cada una de estas variaciones se obtuvieron diferentes valores de voltaje y corriente.

Para medir los voltajes se incorporo el multímetro digital en las terminales de entrada positiva y negativa del banco de baterías, mientras que las corrientes

del banco de baterías ( $I_{\text{Banco}}$ ) y del banco con las baterías cargadas ( $I_{\text{BancoBatC}}$ ), se obtuvieron colocando una pinza amperimetrica DC en el conductor acoplado al borne positivo del banco de baterías, Observar figura 3.12.

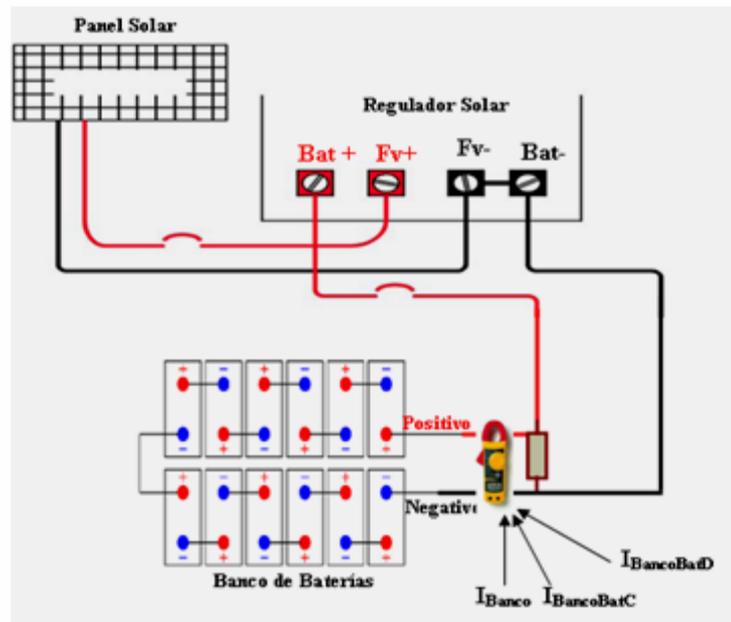


Figura 3.12 Mediciones realizadas en el banco de baterías

Los valores de voltajes y corrientes medidos por cada variación de resistencia se muestran en la tabla 3.7. Las corrientes del banco de baterías ( $I_{\text{Banco}}$ ) y del banco con las baterías cargadas ( $I_{\text{BancoBatC}}$ ), se obtuvieron para la resistencia de  $1.5 \Omega$ , con un valor de corriente de 16.5 Amp.

Tabla 3.7 Valores obtenidos por variaciones de la resistencia

<b>R (ohm)</b>	<b>V (Volts)</b>	<b>I (Amp)</b>
36	29,9	0,83
34	29,9	0,88
50	29,9	0,6
32	29,9	0,93
48	29,9	0,62
30	29,9	1
46	29,9	0,65
28	29,9	1,07
44	29,9	0,68
26	29,9	1,15
42	29,9	0,71
24	29,9	1,24
40	29,9	0,75
22	29,9	1,36
38	29,9	0,79
20	29,9	1,49

18	29,8	1,66
16	29,8	1,86
14	29,8	2,13
12	29,8	2,48
10	29,7	2,97
8	29,6	3,7
6	29,5	4,92
4	29,3	7,32
2	28,6	14,3
1.5	28.3	16.5

Donde:  $R$  : Es la resistencia variable adaptada a las terminales del banco

$V$  : Es el voltaje del banco de baterías para las diferentes variaciones.

$I$  : Es la corriente del banco de baterías para las diferentes variaciones.

c) **Para la medición de la corriente del banco con las baterías descargadas** ( $I_{\text{BancoBatD}}$ ); se mantuvo la resistencia variable conectada a las terminales entrada del banco de baterías y ajustada al valor de  $1.5 \Omega$ , a su vez, se simuló la descarga de las baterías (Como se mencionó en la sección 3.5.1.2 b) y se conecto la pinza amperimetrica DC en el conductor acoplado al borne positivo de dicho banco de baterías. En la figura 3.12, se observa esta medición.

Los resultados de todas las mediciones expuestas anteriormente, se pueden observar en la tabla 3.8, que se muestra a continuación:

Tabla 3.8 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar conectado

<b>Ful-42; Ful-88</b>	<b><math>V_{\text{Banco}}</math> (Volts)</b>	<b><math>I_{\text{Banco}}</math> (Amp)</b>	<b><math>I_{\text{BancoBatC}}</math> (Amp)</b>	<b><math>I_{\text{BancoBatD}}</math> (Amp)</b>
<b>Nominal</b>	24	39.3	19	14.25
<b>Medido</b>	30.6	16.5	16.5	13

Donde:  $V_{\text{Banco}}$  : Es el voltaje del banco de baterías.

$I_{\text{Banco}}$  : Es la corriente del banco de baterías.

$I_{\text{BancoBatC}}$  : Es la corriente del banco con las baterías cargadas.

$I_{\text{BancoBatD}}$  : Es la corriente del banco con las baterías descargadas.

### 3.5.1.3.2 Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado

En esta prueba, la disposición en serie de las celdas de batería permitió medir solamente los valores de voltaje de cada una de las baterías que conforman el banco de baterías. En este caso se obtuvo que:

El voltaje por baterías ( $V_{\text{MedCeldas}}$ ), se midió colocando el multímetro digital, entre los terminales positivo y negativo de cada una de las baterías que conforman el banco. En la figura 3.13, se observa esta medición.

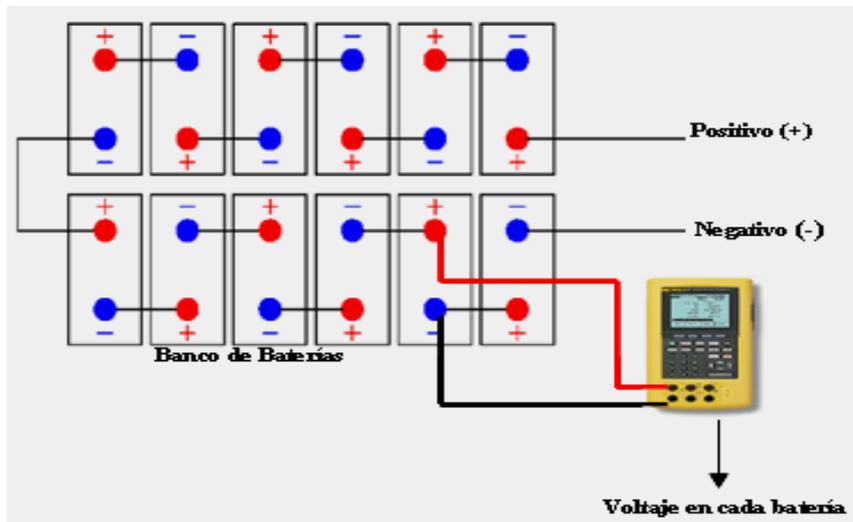


Figura 3.13 Medición de voltaje en cada batería que conforman el banco

Los resultados de las mediciones expuestas anteriormente, se pueden observar en la tabla 3.9, que se muestra a continuación:

Tabla 3.9 Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado

<b>Baterías Ful-42, Ful-88</b>	<b><math>V_{\text{NomCeldas}}</math> (Volts)</b>	<b><math>V_{\text{MedCeldas}}</math> (Volts)</b>
1	1.2	1.5
2	1.2	1.53
3	1.2	1.52
4	1.2	1.54
5	1.2	1.53
6	1.2	1.53
7	1.2	1.52
8	1.2	1.51
9	1.2	1.52
10	1.2	1.52
11	1.2	1.52
12	1.2	1.48
13	1.2	1.51

Tabla 3.9 Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado (continuación)

<b>Baterías Ful-42, Ful-88</b>	<b><math>V_{\text{NomCeldas}}</math> (Volts)</b>	<b><math>V_{\text{MedCeldas}}</math> (Volts)</b>
14	1.2	1.52
15	1.2	1.48
16	1.2	1.44
17	1.2	1.49
18	1.2	1.50
19	1.2	1.53
20	1.2	1.52

Donde:  $V_{\text{NomCeldas}}$  : Es el voltaje nominal por celdas de Baterías.

$V_{\text{MedCeldas}}$  : Es el voltaje medido por celdas de Baterías.

### **3.5.1.3.3 Valores medidos en el banco de baterías con panel solar desconectado.**

Las mediciones obtenidas con el panel solar desconectado, se realizaron en el banco de baterías con la conexión de la carga mínima (RTU) y máxima (RTU, equipos de campo e Iluminación); ofreciendo de esta manera un comportamiento real (Trabajo en horas nocturnas) del banco de baterías y de cada una de las

baterías que lo conforman. Estas mediciones permitieron obtener diferentes valores de voltajes y corrientes. Entre ellos se destacan:

- a) El voltaje del banco ( $V_{\text{Banco}}$ ) de baterías, se midió bajo el procedimiento efectuado en la sección 3.5.1.3.1 a, Observar figura 3.14.
- b) La corriente del banco ( $I_{\text{Banco}}$ ) se midió exactamente igual a la  $I_{\text{Banco}}$  que se midió en las baterías con el panel solar conectado (sección 3.5.1.3.1 b)

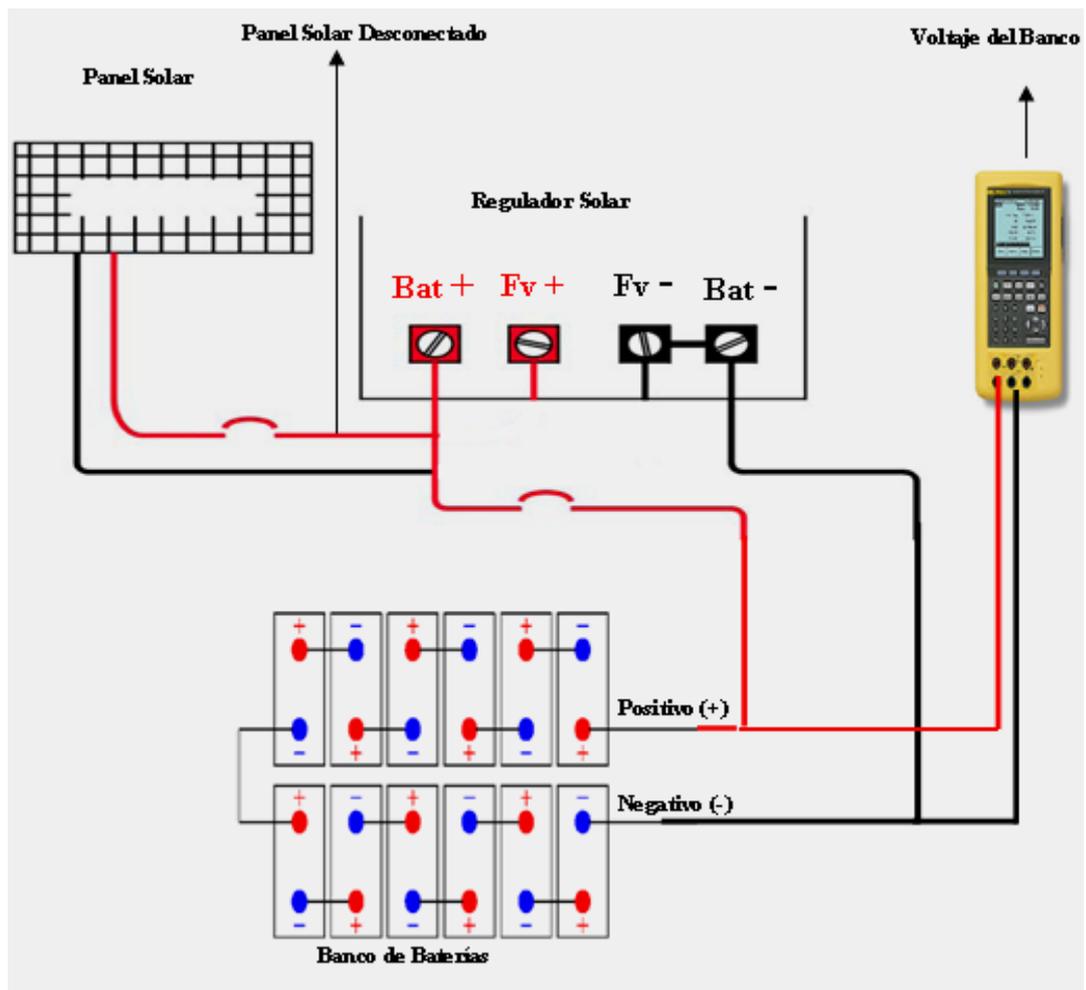


Figura 3.14 Mediciones en el banco de baterías con el panel solar desconectado

- c) La corriente del banco mínima ( $I_{\text{BancoMin}}$ ), se midió al conectar la carga mínima (RTU) y colocar la pinza amperimétrica en el conductor acoplado al borne positivo de la batería. Observar figura 3.15.

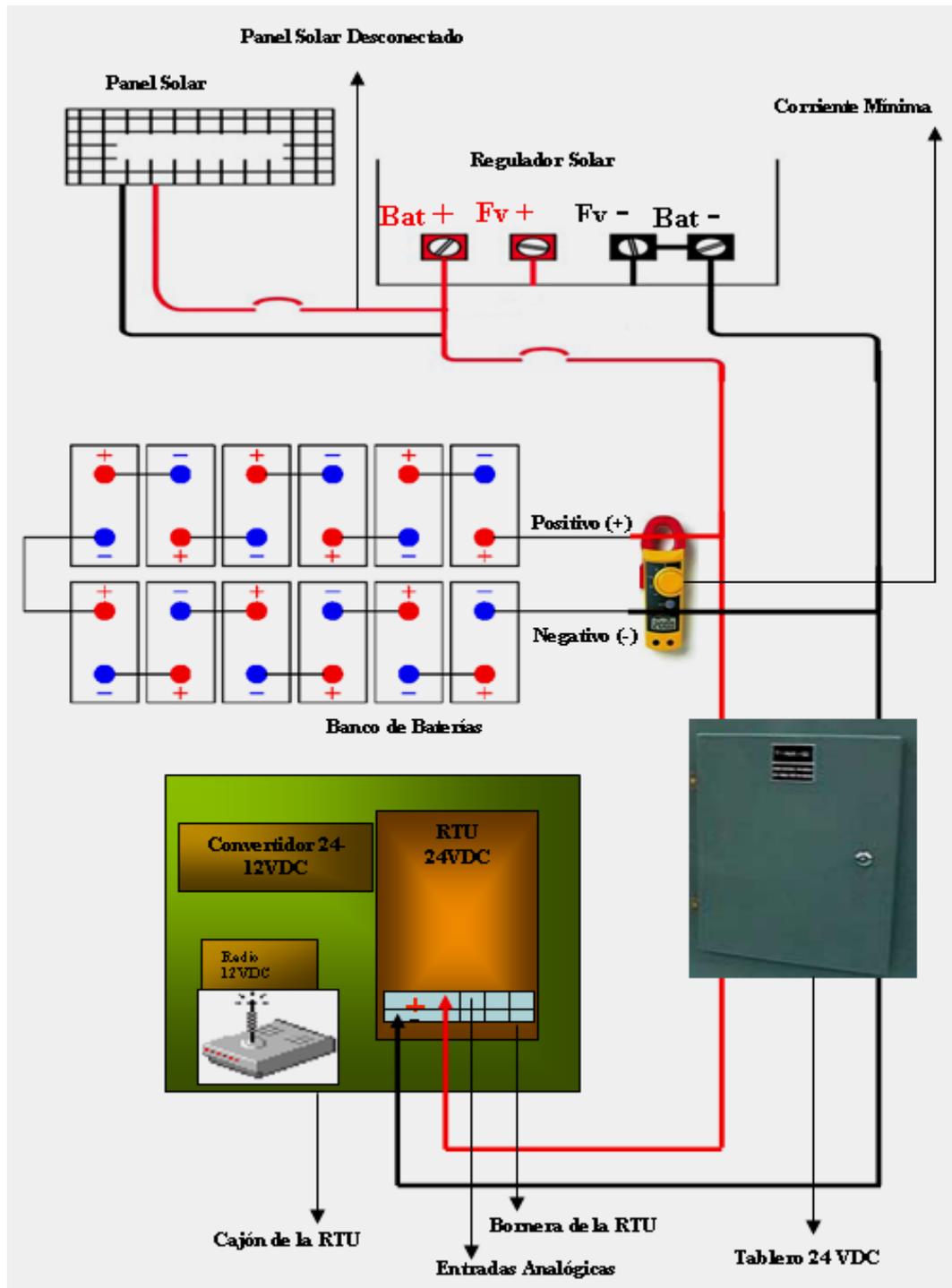


Figura 3.15 Medición de la corriente mínima en el banco de baterías.

- d) La corriente del banco de baterías máxima ( $I_{\text{BancoMax}}$ ), se obtuvo al conectar la carga máxima (RTU, equipos de campo e Iluminación) y colocar la pinza

amperimétrica en el conductor acoplado al terminal positivo del banco de batería. Observar figura 3.16.

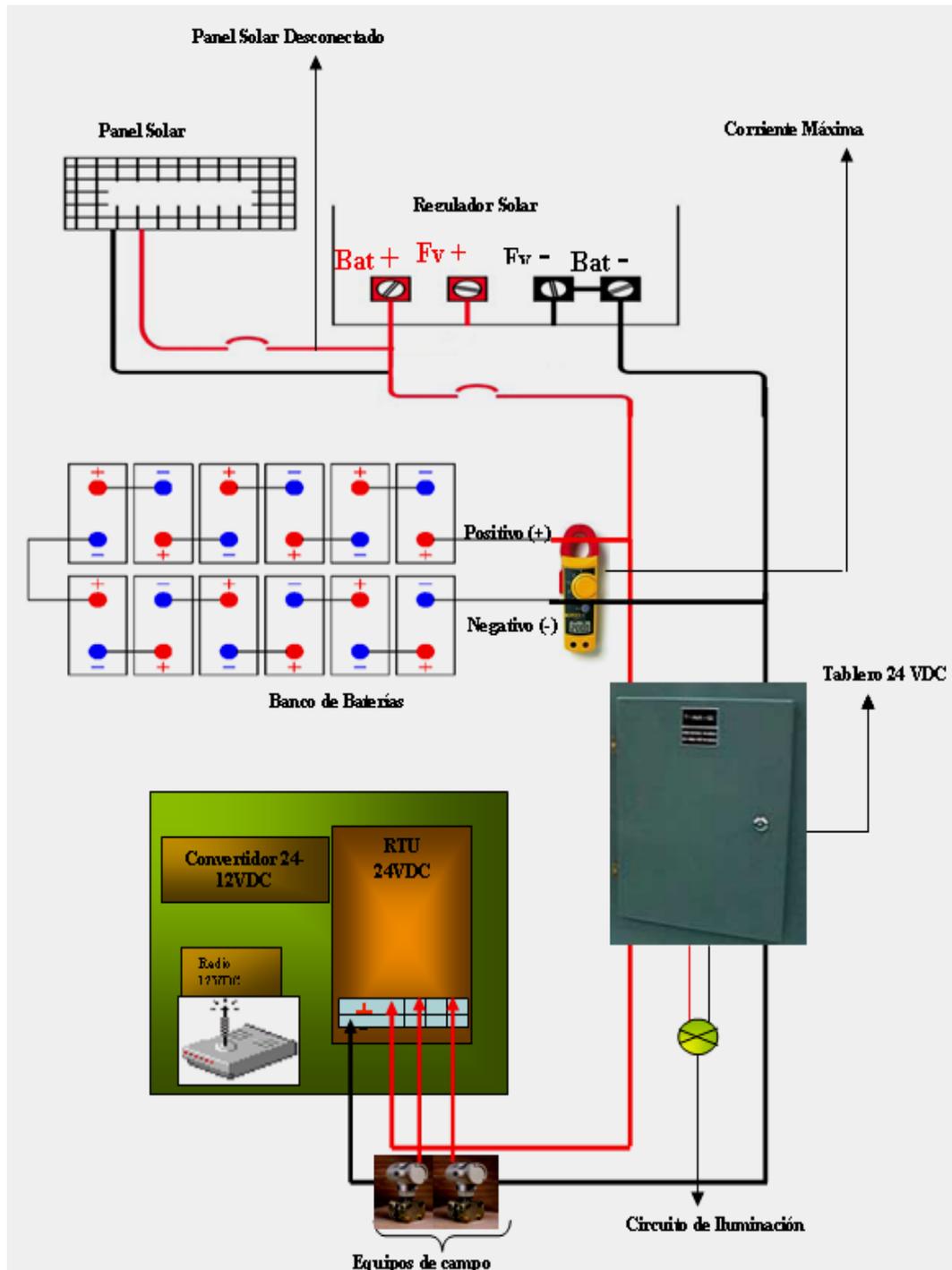


Figura 3.16 Medición de la corriente máxima en el banco de baterías.

Los resultados de las mediciones expuestas anteriormente, se observan en la tabla 3.10, que se muestra a continuación:

Tabla 3.10 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar desconectado.

<b>Ful-42; Ful-88</b>	<b><math>V_{\text{Banco}}</math> (Volts)</b>	<b><math>I_{\text{Banco}}</math> (Amp)</b>	<b><math>I_{\text{BancoMin}}</math> (Amp)</b>	<b><math>I_{\text{BancoMax}}</math> (Amp)</b>
<b>Nominal</b>	24	39.3	0.5	19
<b>Medido</b>	28	16.5	0.5	0.7

Donde:  $V_{\text{Banco}}$  : Es el voltaje del banco de baterías.

$I_{\text{Banco}}$  : Es la corriente del banco de baterías.

$I_{\text{BancoMin}}$  : Es la corriente del banco de baterías con la carga mínima.

$I_{\text{BancoMax}}$  : Es la corriente del banco de baterías con la carga máxima.

#### 3.5.1.3.4 Valores medidos en cada batería con el panel solar desconectado

Al igual que en la sección 3.5.1.3.2 (Mediciones realizadas en cada batería con el panel solar conectado); se efectuó la conexión del multímetro, entre los bornes positivo y negativo de cada batería que conforman el banco de baterías, midiendo de esta manera, el voltaje de cada batería. Observar figura 3.13.

Los resultados de las mediciones expuestas anteriormente, se pueden observar en la tabla 3.11, que se muestra a continuación:

Tabla 3.11 Valores medidos en cada batería con el panel solar desconectado

<b>Baterías Ful-42, Ful-88</b>	<b><math>V_{\text{NomCeldas}}</math> (Volts)</b>	<b><math>V_{\text{MedCeldas}}</math> (Volts)</b>
1	1.2	1.49
2	1.2	1.52
3	1.2	1.52
4	1.2	1.50

Tabla 3.11 Valores medidos en cada batería con el panel solar desconectado

<b>Baterías Ful-42, Ful-88</b>	<b><math>V_{\text{NomCeldas}}</math> (Volts)</b>	<b><math>V_{\text{MedCeldas}}</math> (Volts)</b>
5	1.2	1.49
6	1.2	1.50
7	1.2	1.52
8	1.2	1.51
9	1.2	1.50
10	1.2	1.50
11	1.2	1.52
12	1.2	1.48
13	1.2	1.50
14	1.2	1.51
15	1.2	1.52
16	1.2	1.40
17	1.2	1.49
18	1.2	1.48
19	1.2	1.50
20	1.2	1.50

Donde:  $V_{\text{NomCeldas}}$  : Es el voltaje nominal por celdas de baterías.

$V_{\text{MedCeldas}}$  : Es el voltaje medido por celdas de baterías.

### **3.5.2 Análisis de las mediciones obtenidas en los pozos Ful 42 y Ful-88 (Macolla 5)**

Una vez obtenida las mediciones de cada uno de los equipos que integran el sistema fotovoltaico de los pozos Ful-42 y Ful-88 pertenecientes a Macolla 5, se pudo notar que:

#### **3.5.2. Análisis de las mediciones obtenidas en el panel solar.**

La inyección de voltaje y corriente que realiza un panel solar hacia las baterías, dependerá de la configuración energética (Arreglo Fotovoltaico) de los módulos fotovoltaicos y de la radiación solar recibida (Captación de Energía), por lo tanto, el diseño de las configuraciones en paralelo y agrupaciones en serie (Por

cada configuración en paralelo) de los paneles solares, se realiza con la finalidad de producir un aumento en la corriente y voltaje respectivamente, que serán inyectados hacia el sistema de acumulación, de acuerdo a la corriente de carga exigida por la batería.

A través de las mediciones realizadas en el panel solar y los valores mostrados en la tabla 3.5 (Sección 3.5.1.1), se puede apreciar claramente como el arreglo fotovoltaico de los paneles solares de Macolla 5, generan un voltaje para la configuración en serie ( $V_{\text{Panels}}$ ) de 36.2 Volts y una corriente para la configuración en paralelo ( $I_{\text{ConfP}}$ ) de 17.5 Amps, valores que indican, que existe un funcionamiento y una captación excelente de energía por dichos paneles. En el anexo A se muestra un respaldo de estas mediciones.

### **3.5.2.2 Análisis de las mediciones obtenidas en el regulador solar.**

El regulador solar, es un regulador de voltaje-cargador de batería configurado para trabajar a 24 Volts y con baterías Ni-Cd, con un rango máximo de corriente de entrada de 40Amp. Este regulador ha sido diseñado para detectar los bajos o altos niveles de voltaje y corriente de las baterías y con ello realizar la inyección o disminución de voltaje y corriente necesaria hacia las baterías, con la finalidad de mantenerlas en un estado óptimo de funcionamiento, es decir:

- a) Si las baterías se encuentra descargadas o en vías de descarga (Están en funcionamiento), el regulador detecta esos bajos niveles de carga y permite el paso de corriente (proveniente del panel solar) hacia la batería por un tiempo determinado; cuando la batería se carga por completo, automáticamente el regulador solar detiene el suministro de corriente y continúa el ciclo de trabajo de las baterías. Esto se realiza con la finalidad de evitar sobrecarga en las baterías.

- b) Este regulador de voltaje- cargador de baterías, también se caracteriza por mantener las baterías dentro del límite de descarga especificado por el fabricante, y así evitar las sobredescargas.

En macolla 5, el registro de valores medidos en el regulador solar, indican que los ciclos de inyección o disminución de voltajes y corriente por dicho equipo se cumplen con toda normalidad, como garantía se encuentran los valores de  $V_{REntrada} = 36.2\text{Volts}$ ,  $V_{RSalida} = 30.6\text{Volts}$ ,  $I_{RBatC} = 1.07\text{ Amps}$  e  $I_{RBatD} = 4.5\text{ Amps}$  medidos y señalados en la tabla 3.6 (Sección 3.5.1.2), El primer valor, es el voltaje de entrada del regulador solar que proviene del panel solar, el segundo es el voltaje de salida del regulador solar y hace referencia al voltaje regulado, el tercero es la corriente del regulador con las baterías cargadas e indica que las baterías se encuentran a un 90% de la capacidad de carga nominal adaptada o ajustada de 19 Ah (Punto que será abordado en la sección 3.5.2.3), por ende, el regulador solar realiza la inyección de corriente necesaria para alcanzar la capacidad de carga. El cuarto valor es la corriente del regulador con las baterías descargadas e indica que las baterías se han descargado considerablemente, por lo tanto, necesitan una mayor inyección de corriente para completar su carga e iniciar nuevamente su ciclo de trabajo.

### **3.5.2.3 Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías.**

El sistema de respaldo de energía utilizado en los pozos Ful-42 y Ful-88 (Macolla 5), son baterías de Ni- Cd de 1.2 Volts c/u con una de capacidad de carga de 393Ah/100h (En el anexo C, tablas C.2.1 y C.2.2, se encuentran las especificaciones técnicas ofrecidas por el fabricante).

Las baterías Ni-Cd, generalmente se cargan una intensidad de corriente del 10% de su capacidad (Especificada por el fabricante), por un tiempo de carga de 5 horas. Para estas baterías de 393 Ah, ese 10%, es equivalente a una intensidad de corriente de carga 39.3Amp. Cabe destacar que estas baterías al no recibir la

corriente de carga señalada por el fabricante, su capacidad disminuye de acuerdo a la intensidad de corriente de carga que recibe en ese momento (“Capacidad adaptada o ajustada”), lo que trae como consecuencia un bajo rendimiento en su funcionamiento y el descenso del periodo de vida útil.

“Se habla de capacidad adaptada o ajustada, cuando la capacidad de la batería disminuye de acuerdo a la intensidad de corriente de carga máxima que genera la configuración energética de los paneles solares, hacia el sistema de acumulación (Baterías) y que es inferior a las especificada por el fabricante”. En este caso la configuración energética de paneles solares, permite generar solamente 19A de corriente de carga hacia el sistema de acumulación, por lo tanto, la capacidad de la batería disminuye a 190 Ah. Debe tenerse en cuenta que la corriente de 19 A, es el 10% de capacidad de corriente equivalente de una batería con capacidad de 190 Ah.

Las baterías Ni-Cd para mantener su periodo de vida útil, disponen para su funcionamiento un margen de corriente, que les permite realizar consecutivamente los ciclos de carga y descarga, este viene especificado por el fabricante en porcentajes (%), el destinado para estas baterías es de 25% con respecto a la corriente de carga nominal (39.3 A), por lo tanto, se establece un rango de corriente de trabajo entre 29.5 Amps y 39.3 A, disponiendo así de 9.83 A para los ciclos de carga y descarga. Este porcentaje de profundidad de descarga de 25%, también se ve afectado, cuando las baterías son cargadas por corrientes inferiores a las nominales (Nuevas condiciones nominales), es decir, corrientes de cargas inferiores a 39.3 A, en ese momento el porcentaje profundidad de descarga de 25%, se ajusta a la corriente de carga que reciben las baterías, corriente generada por la configuración energética de los paneles solares. Para este caso, la intensidad de corriente generada por los paneles solares hacia el sistema de acumulación, resulta ser 19 A, por lo tanto, el porcentaje de profundidad de descarga de 25%, establecerá el rango de corriente de trabajo entre 14.25 A y 19 A, disponiendo así de una intensidad de corriente de 4.75 A para lo ciclos de carga y descarga. Debe

tenerse en cuenta, que un sistema de acumulación funcionado bajo estas condiciones (Nuevas condiciones nominales), a futuro puede sufrir descargas por debajo, del rango de corriente de descarga nominal (29.5 A) y las nominal adaptada (14.25 A).

Las baterías Ni-Cd están diseñadas para trabajar a temperaturas desde  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta  $45^{\circ}\text{C}$ , pero su mejor desempeño se obtiene a  $25^{\circ}\text{C}$ . Estas logran recibir el 100% de su carga nominal si son cargadas a temperaturas entre  $20$  y  $25^{\circ}\text{C}$ , a temperaturas inferiores la carga se reduce un poco y a temperaturas más elevadas ( $45^{\circ}\text{C}$ ) solo se alcanza el 70% de la carga nominal, todas estas especificaciones son establecidas por el fabricante. [12]

Los valores de voltaje y corriente obtenidos de las mediciones realizadas en el banco de baterías y las baterías que lo conforman, con el panel solar conectado y desconectado, muestran claramente un comportamiento poco óptimo de dichas baterías:

### **3.5.2.3.1 Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías con panel solar conectado**

1) **Con el panel solar conectado** (Ver tabla 3.8 sección 3.5.1.3.1) se observó: que el voltaje del banco ( $V_{\text{Banco}} = 30.6$  Volts) es óptimo para el funcionamiento de las baterías, mientras que las corrientes del banco ( $I_{\text{Banco}} = 16.5$  Amps) y del banco con las baterías cargadas ( $I_{\text{BancoBatC}} = 16.5$  Amps) muestran un desempeño poco óptimo, ya que las baterías se cargan y se mantienen en funcionamiento con intensidades de corrientes inferiores a las nominales, es decir, la intensidad de corriente de carga se encuentran por debajo del 10% (3.93 A) de la capacidad de la batería, especificada por el fabricante, siendo esto una desventaja para el buen funcionamiento de la batería.

- 2) La corriente del banco con las baterías descargadas ( $I_{\text{BancoBatD}}=13$  Amps), muestra como las baterías han sufrido una descarga por de bajo de las condiciones nominales (29.5 Amps) y las adaptadas o alteradas ( $I_{\text{BancoBatD}}=14.25$  Amps), ya que no reciben la corriente de carga nominal especificada por el fabricante.
- 3) A través de los valores señalados en la tabla 3.9 (Sección 3.5.1.3.2), se puede observar como las baterías que conforman al banco, reciben los 1.2 Volts por celdas tomando en cuenta el voltaje de flotación, es decir, alcanzan los 1.5 Volts totales por baterías, especificado por el fabricante.

#### **3.5.2.3.2 Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías con panel solar desconectado**

- 1) **Con el panel solar desconectado** (Ver tabla 3.10 sección 3.5.1.3.3) se presencié el funcionamiento de las baterías en horas nocturnas. Durante este periodo de tiempo se observó, que el voltaje del banco de baterías ( $V_{\text{Banco}}$ ) desciende abruptamente a 28 Volts, ya que las baterías no son cargadas completamente, es decir, no reciben el 100% de la corriente de carga especificada por el fabricante (39.3 Amps), esto genera como consecuencia un funcionamiento deficiente en dichas horas.
- 2) La corriente del banco mínima ( $I_{\text{BancoMin}}= 0.5$  Amps) y máxima ( $I_{\text{BancoMax}}= 0.7$  Amps) muestra que el consumo realizado por los equipos conectado a las baterías, (RTU) para la corriente mínima y (RTU, equipos de campo e iluminación) para la corriente máxima, es el esperado por el fabricante, pero no logra ser respaldado por el sistema de acumulación durante las horas nocturnas (6:00PM-6:00AM), ya que el porcentaje de descarga (25%) adaptado o ajustado a la intensidad de corriente de carga de 19 A (Nuevas condiciones nominales), alcanza a cubrir únicamente que 4.75 Amps, de corriente de funcionamiento en el ciclo de descarga, es decir, se dispone de

una corriente muy baja (4.75 Amps) para respaldar el consumo de 6 Ah (0.5 A x 12 h) exigido por la carga mínima y 8.4 Ah (0.7 A x 12 h) para la carga máxima, por toda la noche.

- 3) Los valores señalados en la tabla 3.11 (Sección 3.5.1.3.4), muestran como las baterías que conforman al banco, continúan manteniendo los 1.2 Volts por celdas tomando en cuenta el voltaje de flotación, para así alcanzar los 1.5 Volts totales por baterías especificado por el fabricante.

### 3.5.3 Infraestructura energética para los pozos Ful-18 y Ful-27

A largo de las siguientes secciones, se mostraran los valores de las mediciones realizadas en cada uno de los equipos que integran el sistema fotovoltaico de los pozos Ful-18 y Ful-27 (Panel Solar, Regulador solar, Baterías).

Cabe destacar, que los valores de las mediciones de voltaje, corriente y potencia medidos para los pozos Ful-18 y Ful-27, se obtuvieron repitiendo el procedimiento efectuado en cada uno de los equipos estudiados en la infraestructura energética del FUL-42 y FUL-88 (Macolla 5) sección 3.5.1.

#### 3.5.3.1 Valores medidos del panel solar

Los valores de voltaje y corriente de los pozos Ful-18 y Ful-27 mostrado en la tabla 3.12 y 3.13 respectivamente, se midieron efectuando el procedimiento señalado en la sección 3.5.1.1, correspondiente al panel solar, obteniendo así:

Tabla 3.12 Valores medidos en el panel solar para el Ful-18

<b>Ful-18</b>	<b>V<sub>PanelS</sub> (Volts)</b>	<b>I<sub>ConfP</sub> (Amps)</b>	<b>P<sub>Panel</sub> (Watts)</b>
<b>Nominal</b>	75.2	28.32	2130
<b>Medido</b>	73.4	27.5	2019

Tabla 3.13 Valores medidos en el panel solar para el Ful-27

<b>Ful-27</b>	<b>V<sub>PanelS</sub> (Volts)</b>	<b>I<sub>ConfP</sub> (Amps)</b>	<b>P<sub>Panel</sub> (Watts)</b>
<b>Nominal</b>	75.2	28.32	2130
<b>Medido</b>	60	26	1560

Donde:  $V_{\text{PanelS}}$  : Es el voltaje del panel solar por la configuración en serie.

$I_{\text{ConfP}}$  : Es la corriente del panel solar por la configuración en paralelo.

$P_{\text{Panel}}$  : Es la potencia de la configuración de los paneles solares

### 3.5.3.2 Valores medidos en el regulador de voltaje – cargador de baterías.

Para la medición de los valores de voltaje y corriente de los pozos Ful-18 y Ful-27, mostrados en la tabla 3.14 y 3.15 respectivamente, se realizó el procedimiento descrito en la sección 3.5.1.2, correspondiente al regulador solar-cargador de baterías.

Tabla 3.14 Valores medidos en el regulador solar para el Ful-18

<b>Ful-18</b>	<b>V<sub>R</sub> (Volts)</b>	<b>I<sub>BatC</sub> (Amps)</b>	<b>I<sub>BatD</sub> (Amps)</b>
<b>Entrada</b>	73.4	27.5	27.5
<b>Salida</b>	30.3	1.65	6.0

Tabla 3.15 Valores medidos en el regulador solar para el Ful-27

<b>Ful-27</b>	<b>V<sub>R</sub> (Volts)</b>	<b>I<sub>BatC</sub> (Amps)</b>	<b>I<sub>BatD</sub> (Amps)</b>
<b>Entrada</b>	60	26	26
<b>Salida</b>	24	2.5	6.0

Donde:  $V_R$  : Es el voltaje del regulador.

$I_{BatC}$  : Es la corriente del regulador con las baterías cargadas.

$I_{BatD}$  : Es la corriente del regulador con las baterías descargadas.

### 3.5.3.3 Valores medidos en las baterías

Al igual que en macolla 5 las pruebas realizadas en el banco de baterías con el panel solar conectado y desconectado, permitieron adquirir diferentes valores para los pozos Ful-18 y Ful-27, entre estos destacan:

#### 3.5.3.3.1 Valores medidos en el banco de baterías con panel solar conectado

Tomando en cuenta el procedimiento descrito y efectuado en la infraestructura energética de macolla 5 sección 3.5.1.3.1, las corrientes del banco ( $I_{Banco}$ ) y del banco con las baterías cargadas ( $I_{BancoBatC}$ ) para el Ful-18, se alcanzaron en la resistencia de  $1.5 \Omega$  con un valor de 25 Amps (Observar tabla 3.15), mientras que para el Ful-27 la resistencia que permitió obtener las mencionadas corrientes resultó ser  $1.5 \Omega$ , con una corriente de 23 Amps (observar tabla 3.16).

La resistencia utilizada para alcanzar las corrientes mencionadas anteriormente ( $I_{Banco}$ ,  $I_{BancoBatC}$ ), varía desde 1 a  $50 \Omega$  con una potencia 700 Watts.

Tabla 3.16 Valores obtenidos por variaciones de la resistencia para el Ful-18

<b>R (Ohm)</b>	<b>V (Volts)</b>	<b>I (Amps)</b>
50	29,9	0,6
48	29,9	0,62
46	29,9	0,65
44	29,9	0,68
42	29,9	0,71

Tabla 3.16 Valores obtenidos por variaciones de la resistencia para el Ful-18

<b>R (Ohm)</b>	<b>V (Volts)</b>	<b>I (Amps)</b>
40	29,9	0,75
38	29,9	0,79
36	29,9	0,83
34	29,9	0,88
32	29,9	0,93
30	29,9	1
28	29,9	1,07
26	29,9	1,15
24	29,9	1,24
22	29,9	1,36
20	29,9	1,49
18	29,8	1,66
16	29,8	1,86
14	29,8	2,13
12	29,8	2,48
10	29,7	2,97
8	29,6	3,7
6	29,5	4,92
4	29,3	7,32
2	28,6	14,3
1.5	27,5	25

Tabla 3.17 Valores obtenidos por variaciones de la resistencia para el Ful-27

<b>R (Ohm)</b>	<b>V (Volts)</b>	<b>I (Amps)</b>
50	29,9	0,6
48	29,9	0,62
46	29,9	0,65
44	29,9	0,68
42	29,9	0,71

Tabla 3.17 Valores obtenidos por variaciones de la resistencia para el Ful-27

<b>R (Ohm)</b>	<b>V (Volts)</b>	<b>I (Amps)</b>
40	29,9	0,75
38	29,9	0,79
36	29,9	0,83
34	29,9	0,88
32	29,9	0,93
30	29,9	1
28	29,9	1,07
26	29,9	1,15
24	29,9	1,24
22	29,9	1,36
20	29,9	1,49
18	29,8	1,66
16	29,8	1,86
14	29,8	2,13
12	29,8	2,48
10	29,7	2,97
8	29,6	3,7
6	29,5	4,92
40	29,9	0,75
38	29,9	0,79
36	29,9	0,83

Donde: R : Es la resistencia variable adaptada a las terminales del banco

V : Es el voltaje del banco de baterías para las diferentes variaciones.

I : Es la corriente del banco de baterías para las diferentes variaciones

En la tabla 3.18 y 3.19 se muestran los valores medidos para los pozos Ful-18 y Ful-27, obtenidos bajo el procedimiento descrito y efectuado en la sección 3.5.1.3.1 (Valores medidos en el banco de baterías con panel solar conectado en Macolla5).

Tabla 3.18 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar conectado para el Ful-18

<b>Ful-18</b>	<b><math>V_{\text{Banco}}</math> (Volts)</b>	<b><math>I_{\text{Banco}}</math> (Amp)</b>	<b><math>I_{\text{BancoBatC}}</math> (Amp)</b>	<b><math>I_{\text{BancoBatD}}</math> (Amp)</b>
<b>Nominal</b>	24	39.3	28.32	21.24
<b>Medido</b>	30.3	25	25	20

Tabla 3.19 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar conectado para el Ful-27

<b>Ful-27</b>	<b><math>V_{\text{Banco}}</math> (Volts)</b>	<b><math>I_{\text{Banco}}</math> (Amp)</b>	<b><math>I_{\text{BancoBatC}}</math> (Amp)</b>	<b><math>I_{\text{BancoBatD}}</math> (Amp)</b>
<b>Nominal</b>	24	39.3	28.32	21.24
<b>Medido</b>	24	23	23	19

Donde:  $V_{\text{Banco}}$  : Es el voltaje del banco de baterías.

$I_{\text{Banco}}$  : Es la corriente del banco de baterías.

$I_{\text{BancoBatC}}$  : Es la corriente del banco con las baterías cargadas.

$I_{\text{BancoBatD}}$  : Es la corriente del banco con las baterías descargadas.

### 3.5.3.3.2 Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado

Los diferentes valores de voltajes en cada batería para los pozos Ful-18 y Ful-27, que se muestran en la tabla 3.17 y 3.18 respectivamente, se obtuvieron tomando en cuenta el procedimiento descrito y efectuado en la infraestructura energética de macolla 5, sección 3.5.1.3.2,.

Tabla 3.20 Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado para el Ful-18

<b>Baterías Ful-18</b>	<b>V<sub>NomCeldas</sub> (Volts)</b>	<b>V<sub>MedCeldas</sub> (Volts)</b>
1	1.2	1.45
2	1.2	1.44
3	1.2	1.13
4	1.2	1.42
5	1.2	1.41
6	1.2	1.49
7	1.2	1.55
8	1.2	1.59
9	1.2	1.48
10	1.2	1.50
11	1.2	1.44
12	1.2	1.49
13	1.2	1.16
14	1.2	1.50
15	1.2	1.49
16	1.2	1.49
17	1.2	1.36
18	1.2	1.50
19	1.2	1.41
20	1.2	1.50

Tabla 3.21 Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado para el Ful-27

<b>Baterías Ful- 27</b>	<b>V<sub>NomCeldas</sub> (Volts)</b>	<b>V<sub>MedCeldas</sub> (Volts)</b>
1	1.2	1.3
2	1.2	1.3
3	1.2	1.3
4	1.2	1.38
5	1.2	1.31
6	1.2	1.30
7	1.2	0.04
8	1.2	1.3
9	1.2	0.03
10	1.2	1.30
11	1.2	1.30
12	1.2	1.29
13	1.2	1.31

Tabla 3.21 Valores medidos en cada batería con el panel solar conectado para el Ful-27

<b>Baterías Ful- 27</b>	<b>V<sub>NomCeldas</sub> (Volts)</b>	<b>V<sub>MedCeldas</sub> (Volts)</b>
14	1.2	1.31
15	1.2	1.31
16	1.2	1.33
17	1.2	1.10
18	1.2	1.34
19	1.2	1.29
20	1.2	1.30

Donde:  $V_{\text{NomCeldas}}$  : Es el voltaje nominal por celdas de Baterías.

$V_{\text{MedCeldas}}$  : Es el voltaje medido por celdas de Baterías.

### 3.5.3.3.3 Valores medidos en el banco de baterías con panel solar desconectado.

En la tabla 3.22 y 3.23 se muestran diferentes valores de voltajes y corrientes, medidos en el banco de baterías con panel solar desconectado en los pozos Ful-18 y Ful-27 respectivamente, obtenidos bajo el procedimiento descrito en la en la infraestructura energética de Macolla 5, sección 3.5.1.3.3.

Tabla 3.22 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar desconectado

<b>Ful-18</b>	<b>V<sub>Banco</sub> (Volts)</b>	<b>I<sub>Banco</sub> (Amp)</b>	<b>I<sub>BancoMin</sub> (Amp)</b>	<b>I<sub>BancoMax</sub> (Amp)</b>
<b>Nominal</b>	24	39.3	0.5	28.32
<b>Medido</b>	29	25	0.5	0.7

Tabla 3.23 Valores medidos en el banco de baterías con el panel solar desconectado.

<b>Ful-27</b>	<b>V<sub>Banco</sub> (Volts)</b>	<b>I<sub>Banco</sub> (Amp)</b>	<b>I<sub>BancoMin</sub> (Amp)</b>	<b>I<sub>BancoMax</sub> (Amp)</b>
<b>Nominal</b>	24	39.3	0.5	28.32
<b>Medido</b>	24	23	0.5	0.7

Donde:  $V_{\text{Banco}}$  : Es el voltaje del banco de baterías.

$I_{\text{Banco}}$  : Es la corriente del banco de baterías.

$I_{\text{BancoMin}}$  : Es la corriente del banco de baterías con la carga mínima.

$I_{\text{BancoMax}}$  : Es la corriente del banco de baterías con la carga máxima.

### 3.5.3.3.4 Valores medidos en cada batería con el panel solar desconectado

Los valores de voltajes de cada batería, de los pozos del Ful-18 y Ful-27, se midieron, efectuado el procedimiento en la infraestructura energética de Macolla 5, sección 3.5.1.3.4. Estos valores se muestran en la tabla 3.24 y 3.25.

Tabla 3.24 Valores medidos en cada batería con el panel solar desconectado para el Ful-18

<b>Baterías Ful-18</b>	<b><math>V_{\text{NomCeldas}}</math> (Volts)</b>	<b><math>V_{\text{MedCeldas}}</math> (Volts)</b>
1	1.2	1.44
2	1.2	1.37
3	1.2	1.37
4	1.2	0.24
5	1.2	1.35
6	1.2	1.45
7	1.2	1.37
8	1.2	1.37
9	1.2	1.38
10	1.2	1.37
11	1.2	1.36
12	1.2	1.38
13	1.2	1.35
14	1.2	1.43
15	1.2	1.37
16	1.2	1.38
17	1.2	1.38
18	1.2	1.38
19	1.2	1.37
20	1.2	1.37

Tabla 3.25 Valores medidos en cada batería con el panel solar desconectado para el

Ful-27

<b>Baterías Ful-27</b>	<b><math>V_{\text{NomCeldas}}</math> (Volts)</b>	<b><math>V_{\text{MedCeldas}}</math> (Volts)</b>
1	1.2	1.32
2	1.2	1.29
3	1.2	1.28
4	1.2	0.47
5	1.2	1.29
6	1.2	1.29
7	1.2	1.29
8	1.2	1.29
9	1.2	0.01
10	1.2	1.28
11	1.2	1.29
12	1.2	0.01
13	1.2	1.28
14	1.2	0.02
15	1.2	1.28
16	1.2	1.29
17	1.2	1.29
18	1.2	1.28
19	1.2	0.43
20	1.2	1.30

Donde:  $V_{\text{NomCeldas}}$  : Es el voltaje nominal por celdas de baterías.

$V_{\text{MedCeldas}}$  : Es el voltaje medido por celdas de baterías.

### **3.5.4 Análisis de las mediciones obtenidas en los pozos Ful 18 y Ful-27.**

#### **3.5.4.1 Análisis de las mediciones obtenidas en el panel solar par los pozos Ful 18 y Ful-27.**

- a) Los valores señalados en la tabla 3.12 sección 3.5.3.1, muestran como la configuración energética de los paneles solares (6 configuraciones de módulos fotovoltaicos en paralelo, cada una de las configuraciones con 4 paneles solares en serie) del pozo Ful-18, alcanza un voltaje para la configuración en serie ( $V_{\text{Panels}}$ ) de 73.4 Volts y una corriente par la configuración en paralelo

( $I_{\text{ConfP}}$ ) de 27.5 Amp, valores indicativo de que existen una buena captación de energía y excelente funcionamiento de los paneles.

- b) Las mediciones realizadas en el panel solar y los valores señalados en la tabla 3.13, Sección 3.5.3 1 para el Ful-27, muestran claramente como el arreglo fotovoltaico de los paneles solares (6 configuraciones de módulos fotovoltaicos en paralelo, cada una de las configuraciones con 4 paneles solares en serie) con un clima nublado, alcanza un voltaje para la configuración en serie ( $V_{\text{PanelS}}$ ) de 60 Volts y una corriente para la configuración en paralelo ( $I_{\text{ConfP}}$ ) de 26 Amps, valores que indican que existe una captación de energía y funcionamiento regular de los paneles solares. En el anexo A, se muestra el soporte técnico de estas mediciones.

#### **3.5.4.2 Análisis de las mediciones obtenidas en el regulador solar para los pozos Ful 18 y Ful-27.**

El funcionamiento del regulador solar en el Ful-18 y Ful-27 es exactamente igual al presentado en Macolla 5 (sección 3.5.2.2), pero su comportamiento es diferente, es decir:

- a) En el Ful-18 los valores de voltaje de entrada ( $V_{\text{REntada}}$ ) de 73.4 Volts, voltaje de salida del regulador ( $V_{\text{RSalida}}$ ) de 30.3 Volts, la corriente del regulador con las baterías cargadas ( $I_{\text{RBatC}}$ ) de 1.65 Amps y corriente con las baterías descargadas ( $I_{\text{RBatD}}$ ) de 6 Amps, señalados en la tabla 3.14 (Sección 3.5.3.2); muestran el desempeño efectivo que realiza el equipo en la regulación del voltaje y la inyección de corriente hacia el sistema de acumulación. El primer valor de corriente ( $I_{\text{RBatC}}$ ) ubica a las baterías con un nivel de carga del 88-90% con respecto a la capacidad adaptada (28.32 Amps), es por ello que el paso de corriente que efectúa el regulador hacia dichas baterías es mínimo; mientras que el segundo las sitúa en un margen de

descarga considerable, por lo que necesitan un flujo de corriente mayor, que permita completar la capacidad carga e iniciar nuevamente su ciclo de trabajo.

- b) En el pozo Ful-27, se observo el gran desempeño que realiza el regulador de voltaje cargador de baterías, en su regulación y en la inyección de corriente. Como muestra de este comportamiento, se encuentran los valores señalados en la tabla 3.15 (Sección 3.5.3.2); los cuales reflejan el cambio del voltaje de entrada ( $V_{REntada}$ ) de 60 Volts a 24 Volts (Voltaje de salida del regulador  $V_{RSalida}$ ). A su vez se presencia la inyección de corriente de 2.5 Amps ( $I_{RBatC}$ ) hacia las baterías, necesaria para alcanzar el 100% de la capacidad de carga adaptada (28.32 Amps), ya que estas se encuentran a 85% de dicha capacidad adaptada. Al mismo tiempo se visualiza la descarga considerable presentada en el sistema de acumulación, por lo que se efectúa la inyección de corriente de 6 Amps.

#### **3.5.4. Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías para los pozos Ful 18 y Ful-27.**

El sistema de acumulación, utilizado en los pozos Ful-18 y Ful-27 es exactamente igual al presentado en Macolla 5 (Baterías de Ni- Cd de 1.2 Volts c/u con capacidades de corriente de 393Ah/100h), por ende las características de las baterías señaladas en la sección 3.5.2.3 y detalladas en el anexo C (Ver tablas C.2.1 y C.2.2, especificaciones técnicas ofrecidas por el fabricante), se corresponden también para este sistema de respaldo de energía.

Cabe destacar que la capacidad de las baterías en los pozos Ful-18 y Ful-27, esta adaptada de acuerdo a la intensidad de corriente de carga, generada por la configuración energética de los paneles solares de cada uno de los pozos, es decir, a 28.32 Amp.

Los valores de voltaje y corriente obtenidos de las mediciones realizadas en el banco de baterías y las baterías que lo conforman, con el panel solar conectado y desconectado en los pozos Ful-18 y Ful-27, muestran claramente un comportamiento poco favorable de dichas baterías. Considerando este comportamiento, se establece lo siguiente:

#### **3.5.4.3.1 Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías con el panel solar conectado y desconectado para el pozo Ful 18**

##### **1) Para el pozo Ful-18 con el panel solar conectado, se observó:**

- a) Los valores de voltaje y corriente mostrados en la tabla 3.18 de la sección 3.5.3.3.1, señalan un comportamiento de las baterías similar al de Macolla 5, con la diferencia que el voltaje del banco ( $V_{\text{Banco}} = 30.6$  Volts) es óptimo para el trabajo de las baterías, mientras que las corrientes del banco de baterías ( $I_{\text{Banco}} = 25$  Amps) y del banco con las baterías cargadas ( $I_{\text{BancoBatC}} = 25$  Amps) expresan un desempeño no favorable, ya que estas se cargan y se mantienen en funcionamiento con intensidades de corrientes inferiores a las nominales (Carga nominal adaptada), es decir, sus intensidades de corriente se encuentran por debajo del 10% de la capacidad de corriente de carga especificada por el fabricante (39.3 Amps).
- b) La corriente del banco de baterías con las baterías descargadas ( $I_{\text{BancoBatD}} = 20$  Amps), muestra como las baterías se han descargado por debajo de las condiciones nominales (29Amps) y las adaptadas ( $I_{\text{BancoBatD}} = 21.24$  Amps), ya que no reciben la corriente de carga especificada por el fabricante.
- c) A través de los valores señalados en la tabla 3.20 (Sección 3.5.3.3.2), se observa como las baterías que conforman al banco de baterías, reciben

los 1.2 Volts por celdas tomando en cuenta el voltaje de flotación, es decir, alcanzan los 1.5 Volts totales por baterías especificado por el fabricante.

## 2) Para el pozo Ful-18 con el panel solar desconectado

- a) Los valores de voltaje y corriente señalados en la tabla 3.22 sección 3.5.3.3.3, reflejan el funcionamiento de las baterías en horas nocturnas. En este periodo de tiempo se presencio, que el voltaje del banco ( $V_{\text{Banco}}$ ) desciende a 29 Volts, voltaje que es aceptable para ofrecer un buen desempeño en esas horas, pero considerando que las baterías son cargadas con corrientes inferiores a las especificadas por el fabricante, el voltaje de 29 Volts de las baterías, puede descender un poco más y afectar el funcionamiento que presenta el sistema de acumulación en las horas nocturnas.
- b) Al igual que en Macolla 5, la corriente del banco mínima ( $I_{\text{BancoMin}} = 0.5 \text{ Amp}$ ) y máxima ( $I_{\text{BancoMax}} = 0.7 \text{ Amp}$ ) muestra que el consumo realizado por los equipos conectado a las baterías; (RTU) para la corriente mínima y (RTU, equipos de campo e iluminación) para la corriente máxima es el esperado por el fabricante durante las horas nocturnas (6:00PM- 6:00AM). En estas horas, el sistema de acumulación respalda solamente el consumo de 6 Amps ejercido por la carga mínima, quedando desasistida la carga máxima de 8.74 Amps, ya que el porcentaje de descarga (25%) adaptado o ajustado (A las nuevas condiciones nominales), alcanza a cubrir únicamente que 7.08 Amps de corriente de funcionamiento en el ciclo de descarga.
- c) A través de los valores señalados en la tabla 3.24 (Sección 3.5.3.3.4.), se puede presenciar como las baterías que conforman al banco, mantienen los 1.2 Volts por celdas tomando en cuenta el voltaje de flotación, es

decir, alcanzan los 1.5 Volts totales por baterías especificado por el fabricante, a excepción de la batería N° 4, la cual se encuentra dañada.

### 3.5.4.3.2 Análisis de las mediciones obtenidas en las baterías con el panel solar conectado y desconectado para el pozo Ful 27

#### 1) Para el pozo Ful-27 con el panel solar conectado, se observo:

- a) Que el voltaje del banco de baterías ( $V_{\text{Banco}}$ ) de = **24 Volts** (Ver tabla 3.19 sección 3.5.3.3.1), es un poco bajo, pero aceptable para el funcionamiento del sistema fotovoltaico. Esto se debe a que existen celdas de baterías dañadas. Las corrientes del banco ( $I_{\text{Banco}} = \mathbf{23 \text{ Amps}}$ ), del banco con las baterías cargadas ( $I_{\text{BancoBatC}} = \mathbf{23 \text{ Amps}}$ ), y del banco con las baterías descargadas ( $I_{\text{BancoBatD}} = \mathbf{19 \text{ Amps}}$ ) presentan un comportamiento exactamente igual al pozo Ful-18, mencionado en la sección. 3.5.4.3.1, punto “1 a”.
- b) Las mediciones realizadas en cada una de las baterías que conforman el banco de baterías del pozo Ful-27 (Ver tabla 3.21 Sección 3.5.3.3.2), muestran que existen algunas baterías dañadas y otras que reciben los 1.2 Volts por celdas tomando en cuenta el voltaje de flotación, es decir, alcanzan los 1.5 Volts totales por baterías especificado por el fabricante.

#### 2) Para el pozo Ful-27 con el panel solar desconectado, se observo:

- a) A través de panel solar desconectado se presencio que los valores del voltaje del banco de baterías ( $V_{\text{Banco}}$ ) de 24 Volts, corriente del banco mínima ( $I_{\text{BancoMin}} = \mathbf{0.5 \text{ Amps}}$ ) y máxima ( $I_{\text{BancoMax}} = \mathbf{0.7 \text{ Amps}}$ ) señalados en las tablas 3.23 de la sección 3.5.3.3.3, muestran un comportamiento en horas nocturnas exactamente igual al presentado en pozo Ful-18, expuesto en la sección. 3.5.4.3.1, punto “2 b”.

- b) En la tabla 3.25 de la Sección 3.5.3.3.4, se observan los valores de las mediciones realizadas en cada una de las baterías que conforman el banco de baterías del pozo Ful-27. A través de estos valores se presencia el daño de algunas baterías y la alimentación efectiva que reciben otras (se mantienen entre los 1.2-1.5 Volts especificado por el fabricante).

### **3.6 Monitoreo de los parámetros eléctricos de baterías y panel solar a través SCADA.**

Con el propósito de presenciar la deficiencia de energía, que existe en el sistema de energía (Baterías y Panel Solar), del sistema fotovoltaico de los pozos inyectores de agua durante las horas nocturnas, se utilizara el SCADA como herramienta básica para visualizar, estudiar (Capítulo IV) y analizar (Capítulo V) el comportamiento que presentan los parámetros eléctricos (Voltajes) de las baterías y panel solar. Para obtener este monitoreo, se han seleccionado como pozo piloto el Ful-42 y Ful-88 (Macolla 5), ya que manejan una inyección de 18.500 BDA (Barriles diarios de agua) y se encuentra en una zona de fácil acceso. A su vez se ha realizado un arreglo en la RTU con un circuito (Divisor de tensión).

Con la búsqueda en la supervisión de los parámetros eléctricos de baterías y panel solar de Macolla 5, se realizo la migración del protocolo de comunicación de 4-20 mA a modo HART entre los equipos de campo (Transmisores de Presión y Flujo) y la RTU. Este cambio se efectúo con la finalidad de habilitar las entradas analógicas (3 IN Ai) de la RTU, y acoplar el circuito (Divisor de Tensión) que permitirá captar los niveles de tensión de las baterías y paneles solares, los cuales serán monitoreados en SACADA. Cabe destacar que este circuito permite, que las tensiones provenientes de las baterías y paneles solares se mantengan dentro del rango de valores de voltajes de trabajo (De 0 a 5 Volts), permitidos por las entradas analógicas de la RTU.

### 3.6.1 Desconexión de los equipos de campo y conexión de la tarjeta HDI (Hart Device Interface)

Para lograr el cambio del protocolo de comunicación, se desconectaron los equipos de campo de las entradas analógicas de la RTU (Observar figura 3.17) y se adaptó la tarjeta HDI (Hart Device Interface) al puerto serial “D”, de la tarjeta multifunción de la RTU. En la figura 3.18 se observa esta conexión.

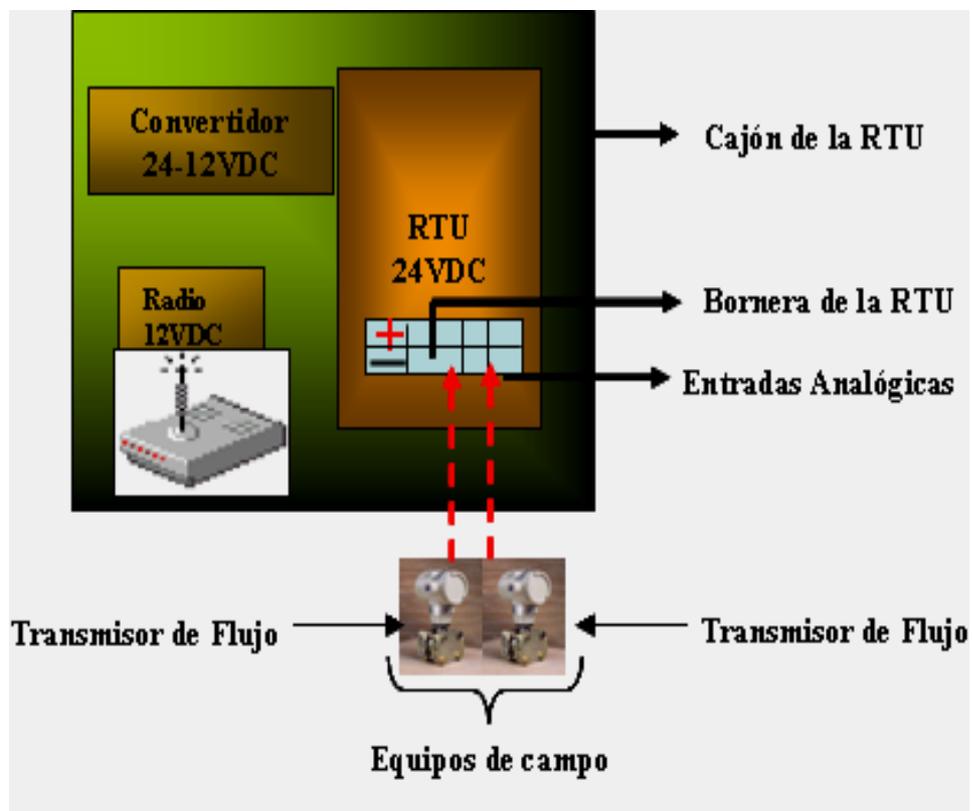


Figura 3.17 Desconexión de equipos de las entradas analógicas de la RTU.

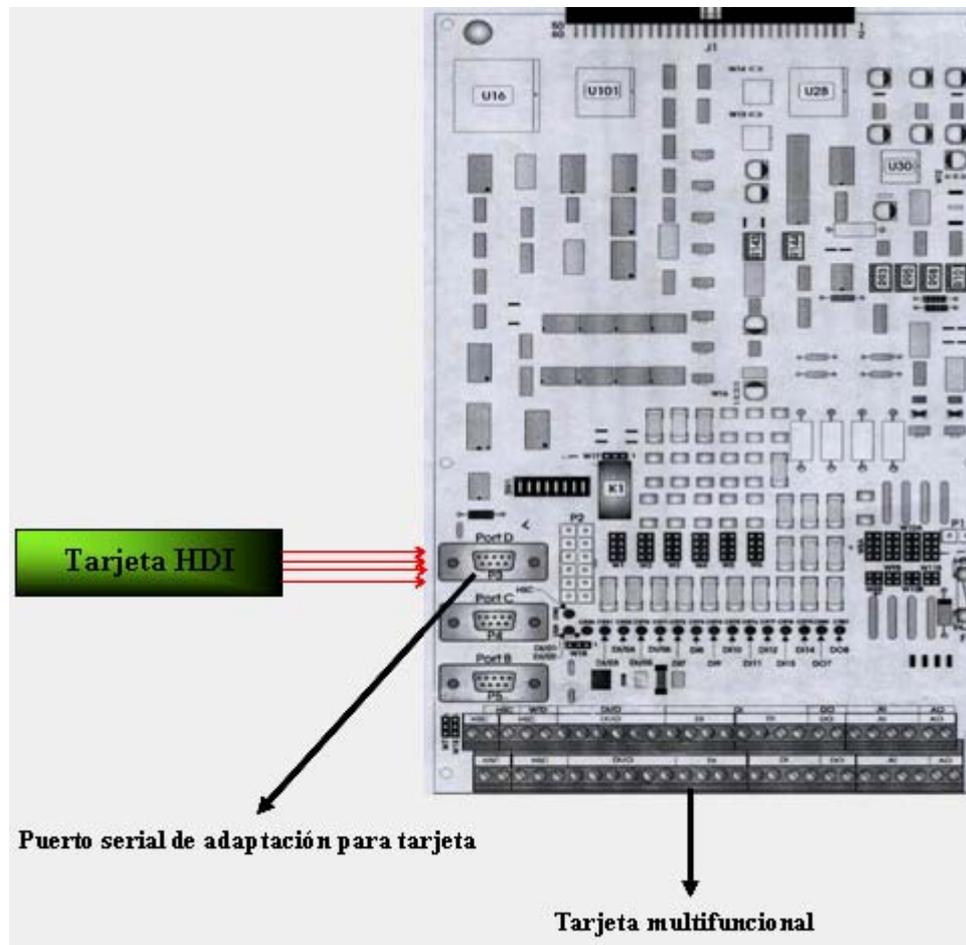


Figura 3.18 Conexión de la tarjeta HDI a la RTU

### 3.6.2 Configuración de los pines (Jumpers) en la RTU

Internamente la RTU posee un número de pines (Jumpers) que le permiten mantener diferentes comunicaciones con los equipos de campo, entre ellas se encuentran la de 1 a 5 Volts (Modo HART) y la de 4-20 mA. Para este caso fue necesario realizar la configuración en los jumpers (W8A/8B), los cuales permitieron preparar a la RTU para la comunicación HARD (1 a 5 Volts). Obsérvese figura 3.19

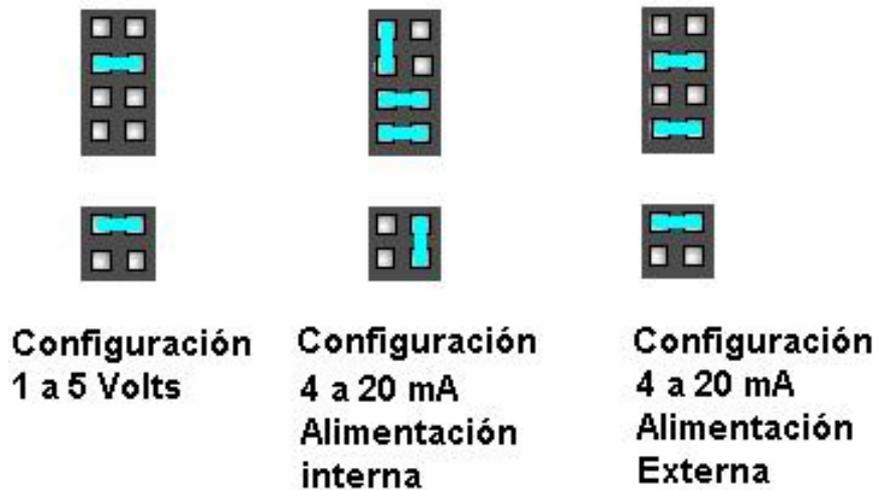


Figura 3.19. Configuración de los pines (Jumpers) en la RTU.

### 3.6.3 Conexión de los equipos de campo hacia la tarjeta HDI

Una vez realizado el arreglo en los pines, se estableció la conexión de los equipos de campo hacia la tarjeta HDI, configurando estos últimos al modo de comunicación HART, a través de un equipo también denominado HART (Obsérvese figura 3.20). En esta configuración cada equipo recibe una dirección específica que puede ir desde 1 hasta 15, ya que el máximo de equipos que se pueden conectar en este bus de comunicación son 15. De esta manera se garantiza el envío organizado, de todas las presiones y flujos registrados en el pozo.



Figura 3.20. Conexión y configuración de los equipos de campo.





## **CAPÍTULO IV**

### **ESTUDIO DE LOS PARAMETROS ELÉCTRICOS A TRAVÉS DE SCADA**

#### **4.1 Generalidades**

En este capítulo se realizará, un estudio detallado del comportamiento que presenta el sistema de energía (Baterías y Paneles solares) del sistema fotovoltaico, de los pozos inyectoros de agua, específicamente los pozos Ful 42 y Ful 88 (Pozos pilotos), pertenecientes a Macolla 5.

El sistema de energía de los pozos inyectoros de agua, involucran parámetros eléctricos que ayudan a definir su comportamiento. Para estudiar estos parámetros eléctricos y con ello el sistema de energía, se usó el software SCADA, del cual, se obtuvieron tendencias de voltaje de batería y panel solar

A su vez se usó el programa Excel, para el desarrollo de tendencias (Gráficos) de voltaje de baterías y panel solar, señalando un comportamiento más explícito que el obtenido por SCADA.

Debe tenerse en cuenta que el uso de SCADA, ha sido orientado bajo las estrictas normas de la empresa: PDVSA-AIT, Jusepín, Estado Monagas. En el anexo D, se describe el procedimiento para obtener las tendencias a través de SCADA.

## 4.2 Tendencias del voltaje de baterías

El estudio de supervisión (Monitoreo) realizado en Macolla 5 mediante SCADA, se efectuó durante 27 días; partiendo desde el 14/11/07 hasta el 11/12/07. Las tendencias del voltaje de baterías que se muestran desde las figuras 4.1 hasta la 4.6, involucran los días 14, 15, 16, 17, 18, 27 de Noviembre del 2007. El resto de visualizaciones se encuentran incluidas en el anexo E. Debe tenerse en cuenta, que cada unas de las tendencias que se muestran en este capítulo y en el anexo se plasmaron por orden cronológico.

El estudio de los parámetros eléctricos del sistema de energía, condujo a realizar una captura de datos (Lectura de valores de tendencias, ver anexo E), para diferentes intervalos de tiempo en cada tendencia de voltaje de baterías obtenida por SCADA. Estas capturas se encuentran ubicadas después de cada tendencia y se muestran desde las tablas 4.1 hasta la 4.6, el resto se encuentran dispuestas de la misma manera en el anexo D.



Figura 4.1 Tendencia del voltaje de baterías para el día 14/11/07

Tabla 4.1 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 14/11/07

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Voltaje (Volts)</b>
14/11/2007	12:00 a.m.	23,2
14/11/2007	04:00 a.m.	20,8
14/11/2007	06:00 a.m.	19,3
14/11/2007	07:30 a.m.	18,9
14/11/2007	12:00 p.m.	29,4
14/11/2007	06:00 p.m.	25,7



Figura 4.2 Tendencia del voltaje de baterías para el día 15/11/07

Tabla 4.2 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 15/11/07

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Voltaje (Volts)</b>
15/11/2007	12:00 a.m.	23
15/11/2007	04:00 a.m.	20,5
15/11/2007	06:00 a.m.	19,1

Tabla 4.2 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 15/11/07

Día	Hora	Voltaje (Volts)
15/11/2007	07:30 a.m.	18,9
15/11/2007	12:00 p.m.	30,5
15/11/2007	06:00 p.m.	25,6



Figura 4.3 Tendencia del voltaje de baterías para el día 16/11/07

Tabla 4.3 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 16/11/07

Día	Hora	Voltaje (Volts)
16/11/2007	12:00 a.m.	23,1
16/11/2007	04:00 a.m.	21,1
16/11/2007	06:00 a.m.	19,2
16/11/2007	07:30 a.m.	18,9
16/11/2007	12:00 p.m.	30,7
16/11/2007	06:00 p.m.	25,5



Figura 4.4 Tendencia del voltaje de baterías para el día 17/11/07

Tabla 4.4 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 17/11/07

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Voltaje (Volts)</b>
17/11/2007	12:00 a.m.	22,9
17/11/2007	04:00 a.m.	20,3
17/11/2007	06:00 a.m.	18,7
17/11/2007	07:30 a.m.	24,6
17/11/2007	12:00 p.m.	28,5
17/11/2007	06:00 p.m.	25,4



Figura 4.5 Tendencia del voltaje de baterías para el día 18/11/07

Tabla 4.5 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 18/11/07

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Voltaje (Volts)</b>
18/11/2007	12:00 a.m.	22,5
18/11/2007	04:00 a.m.	18,9
18/11/2007	06:00 a.m.	18,9
18/11/2007	07:30 a.m.	21,8
18/11/2007	12:00 p.m.	32,2
18/11/2007	06:00 p.m.	25,4



Figura 4.6 Tendencia del voltaje de baterías para el día 27/11/07

Tabla 4.6 Captura de datos del voltaje de baterías para el día 27/11/07

Día	Hora	Voltaje (Volts)
27/11/2007	12:00 a.m.	21,3
27/11/2007	04:00 a.m.	18,8
27/11/2007	06:00 a.m.	18,8
27/11/2007	07:30 a.m.	18,8
27/11/2007	12:00 p.m.	27,6
27/11/2007	06:00 p.m.	25,9

### 4.3 Tendencias del voltaje de panel solar obtenidas a través de SCADA

Al igual, que en la sección 4.2, el estudio de supervisión realizado en Macolla 5 mediante SCADA para las tendencias del voltaje de panel solar, se efectuó durante 27 días; partiendo desde el 14/11/07 hasta el 11/12/07. Las tendencias del voltaje de panel solar que se muestran desde las figuras 4.7 hasta la 4.9, parten del día 14/11/07 hasta el 16/11/07. El resto de visualizaciones se

encuentran incluidas en el anexo F. Debe tenerse en cuenta, que cada unas de las tendencias que se muestran en este capítulo y en el anexo se plasmaron por orden cronológico.

De la misma maneras que en la sección 4.2 El estudio de los parámetros eléctricos del sistema de energía, condujo a realizar una captura de datos (Lectura de valores de tendencias, ver anexo F), para diferentes intervalos de tiempo, en cada tendencia del voltaje de panel solar obtenida por SCADA. Estas capturas se encuentran ubicadas después de cada tendencia y se muestran desde las tablas 4.7 hasta la 4.9. El resto de las tendencias se encuentran dispuestas de la misma manera en el anexo F.

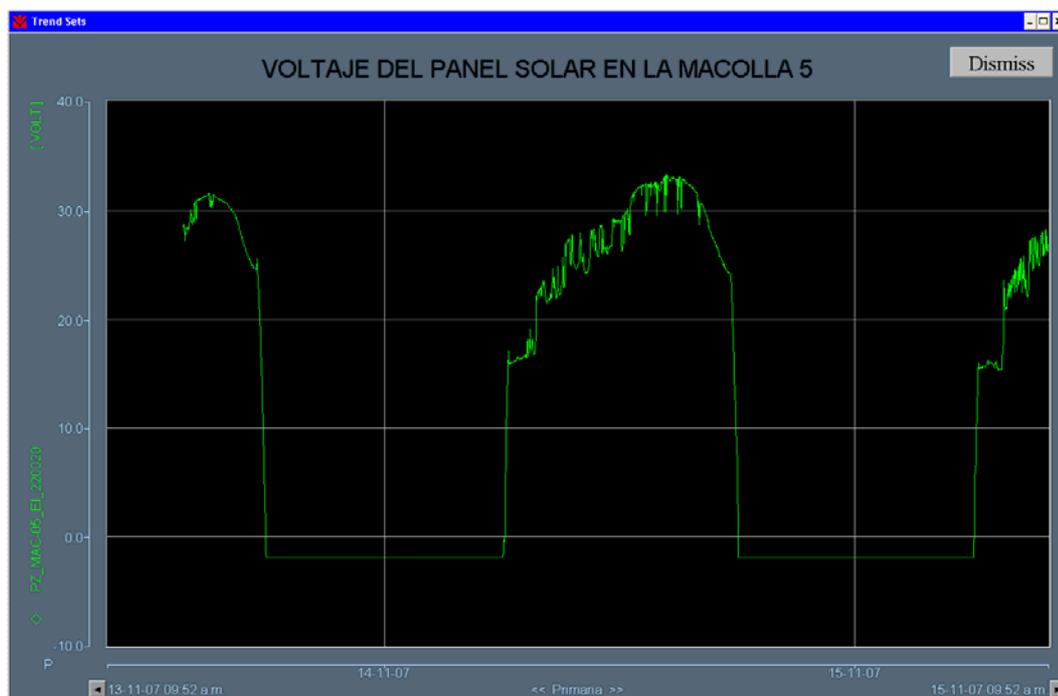


Figura 4.7 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 14/11/07

Tabla 4.7 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 14/11/07

Día	Hora	Voltaje (Volts)
14/11/2007	06:00a.m.	-1,8

14/11/2007	07:30 a.m.	17,8
------------	------------	------

Tabla 4.7 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 14/11/07

Día	Hora	Voltaje (Volts)
14/11/2007	12:00 p.m.	28,3
14/11/2007	02:00 p.m.	31,8
14/11/2007	06:00 p.m.	7,9

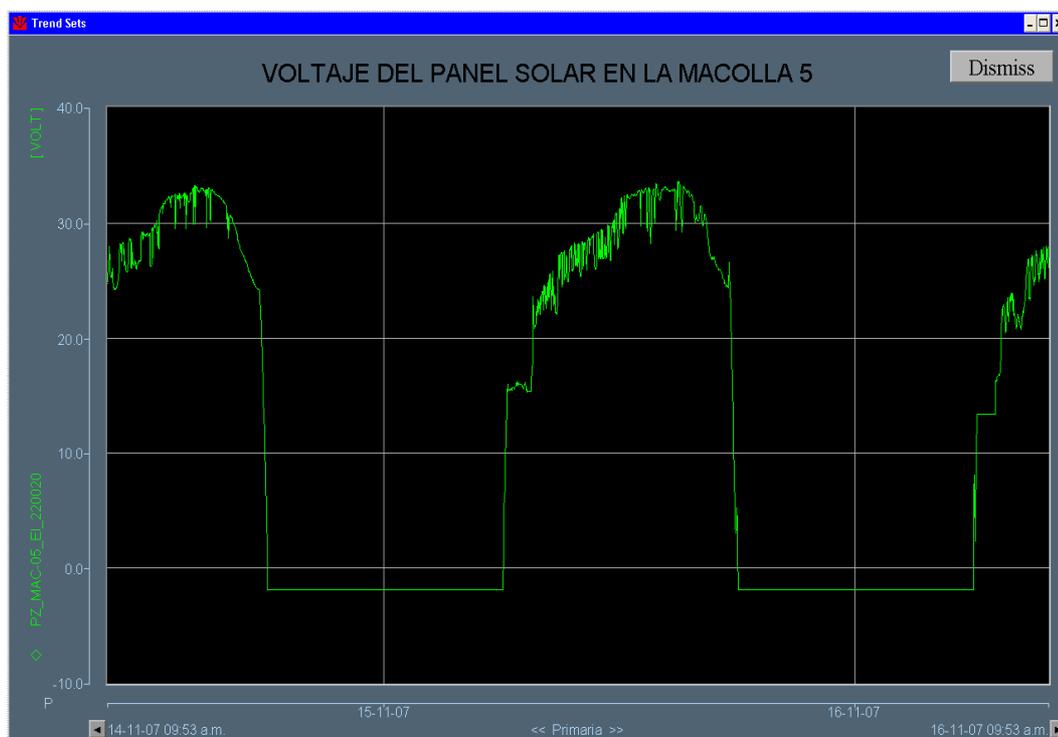


Figura 4.8 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 15/11/07

Tabla 4.8 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 15/11/07

Día	Hora	Voltaje (Volts)
15/11/2007	06:00a.m.	-1,8
15/11/2007	07:30 a.m.	16,3
15/11/2007	12:00 p.m.	29
15/11/2007	02:00 p.m.	32,5

15/11/2007	06:00 p.m.	3,6
------------	------------	-----

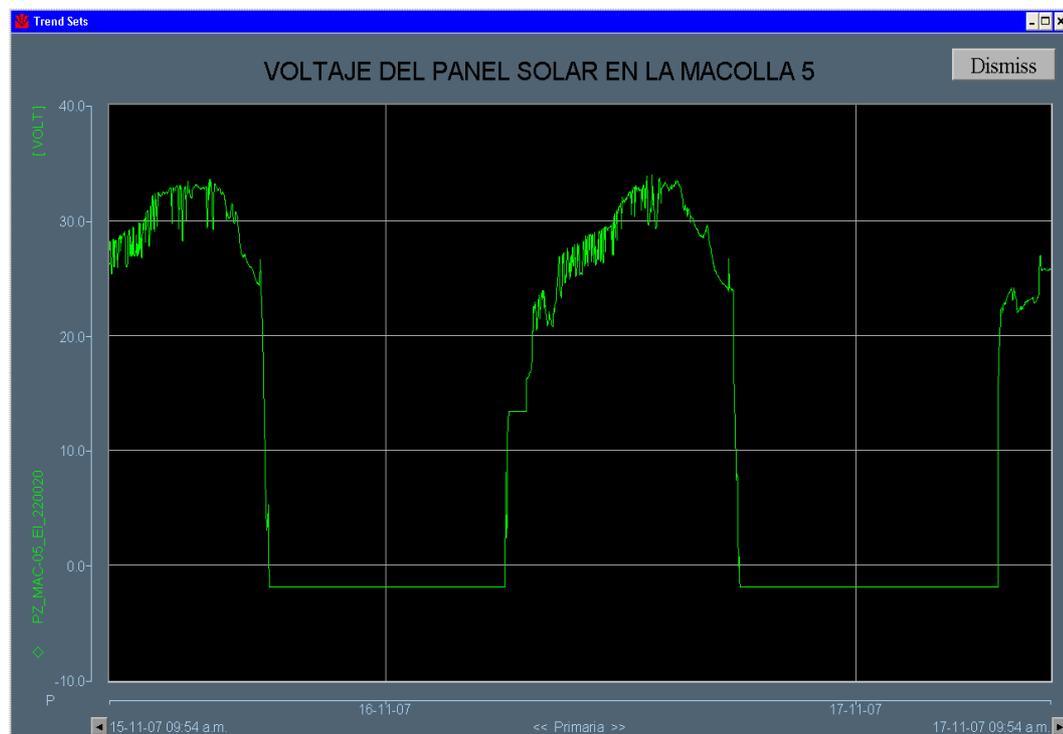


Figura 4.9 Tendencia del voltaje del panel solar para el día 16/11/07

Tabla 4.9 Captura de datos del voltaje del panel solar para el día 16/11/07

Día	Hora	Voltaje (Volts)
16/11/2007	06:00a.m.	-1,8
16/11/2007	07:30 a.m.	22,2
16/11/2007	12:00 p.m.	31,8
16/11/2007	02:00 p.m.	33,5
16/11/2007	06:00 p.m.	0,6

#### **4.4 Tendencias del voltaje de batería y panel solar obtenidas por EXCEL**

Las tendencias del parámetro eléctrico del sistema de energía (Baterías y Paneles Solares) del sistema fotovoltaico de Macolla 5 obtenidas a través de SCADA, muestran un comportamiento gráfico poco explícito; es por ello, que la herramienta Excel, ha sido de gran utilidad para el desarrollo de un comportamiento mas detallado.

Las tendencias del voltaje de batería y panel solar desarrolladas a través de Excel, que se señalan en las secciones 4.4.1 y 4.4.2 y en los anexos G y H respectivamente, fueron realizadas por los valores adquiridos de la captura de datos efectuada en cada una de las tendencias obtenidas del SCADA, tanto para las baterías como en el panel solar.

La diferencia de comportamiento entre las tendencias mostradas por SCADA (Señalados en la sección 4.2 y 4.3) y Excel, se debe a que en las primeras se ilustran los gráficos del parámetro eléctrico en estudio por cada minuto registrado, mientras que la segunda (Tendencias obtenidas por Excel) lo muestra para determinados periodos de tiempo (Horas, extraídas de la captura de datos).

##### **4.4.1 Tendencias del voltaje de baterías obtenidas por Excel**

Las tendencias del voltaje de baterías obtenidas por Excel, señaladas desde la figura 4.10 hasta la 4.15, muestran el comportamiento detallado de las tendencias del voltaje de baterías obtenidas a través de SCADA, para los días 14, 15, 16, 17, 18 y 27 de Noviembre del 2007, el resto se ubican en el anexo G.

En esta sección, las capturas de datos no se mostrarán después de cada tendencia, ya que dichas capturas de datos, son señaladas en la sección 4.2 y en el anexo G.

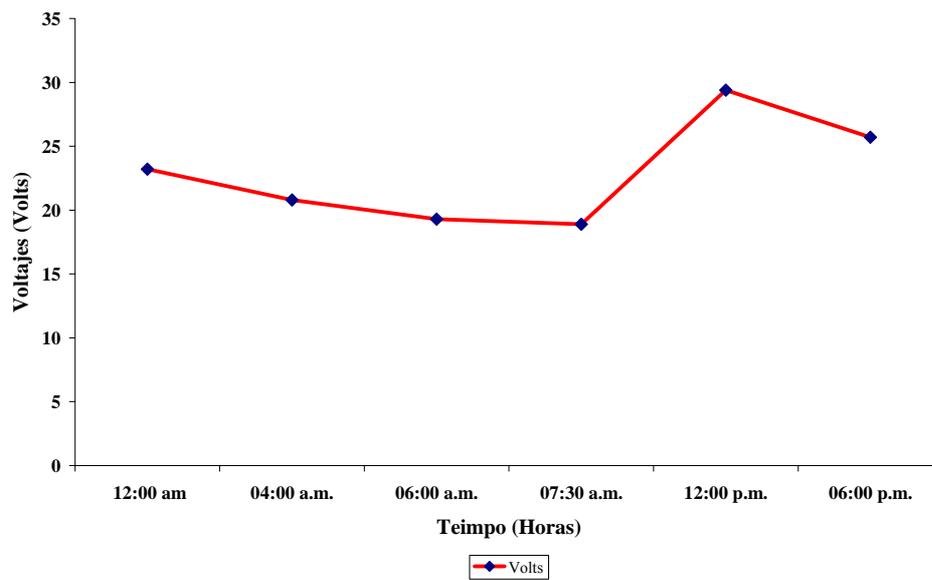


Figura 4.10 Tendencia del voltaje de baterías para el 14/11/07.

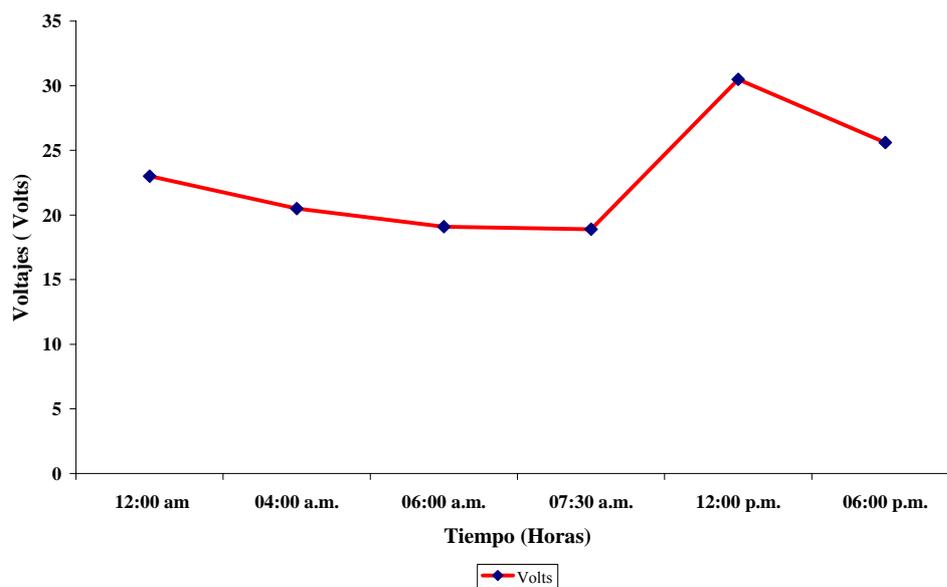


Figura 4.11 Tendencia del voltaje de baterías para el 15/11/07.

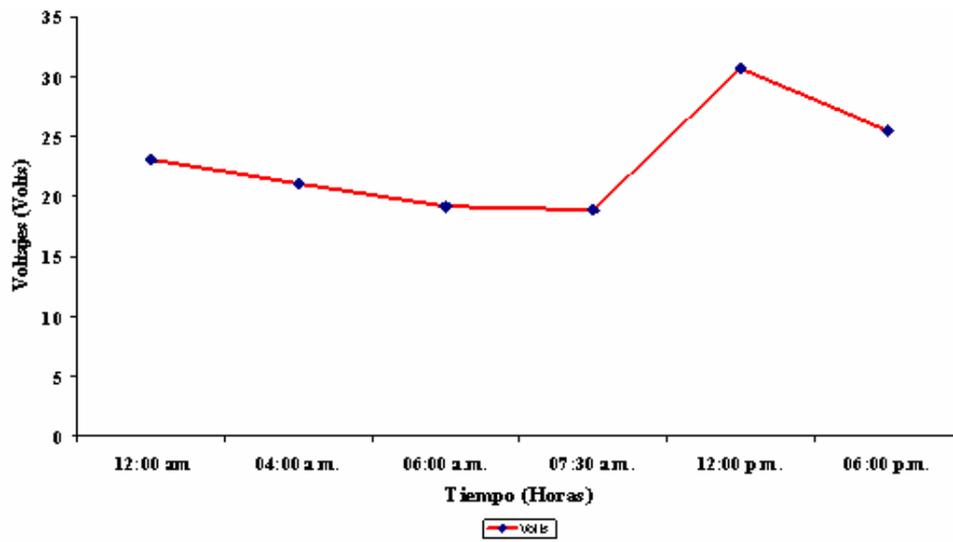


Figura 4.12 Tendencia del voltaje de baterías para el 16/11/07

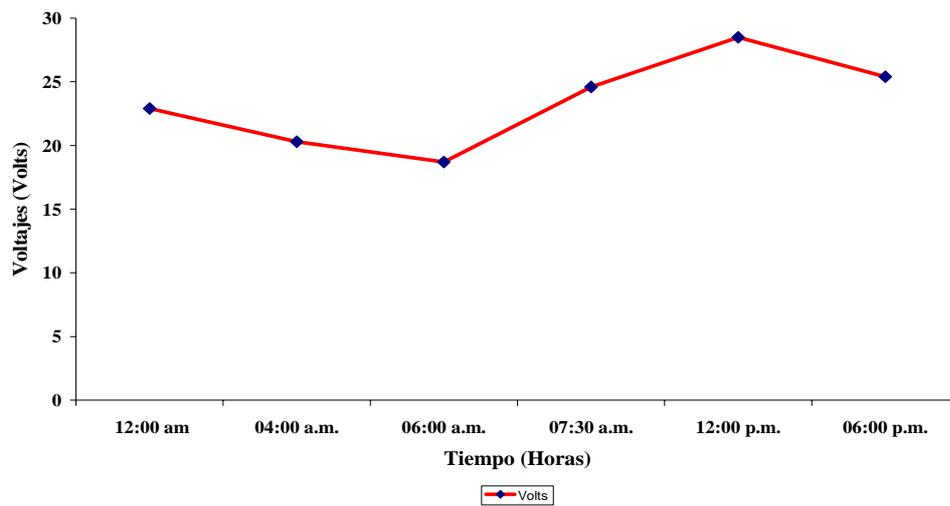


Figura 4.13 Tendencia del voltaje de baterías para el 17/11/07

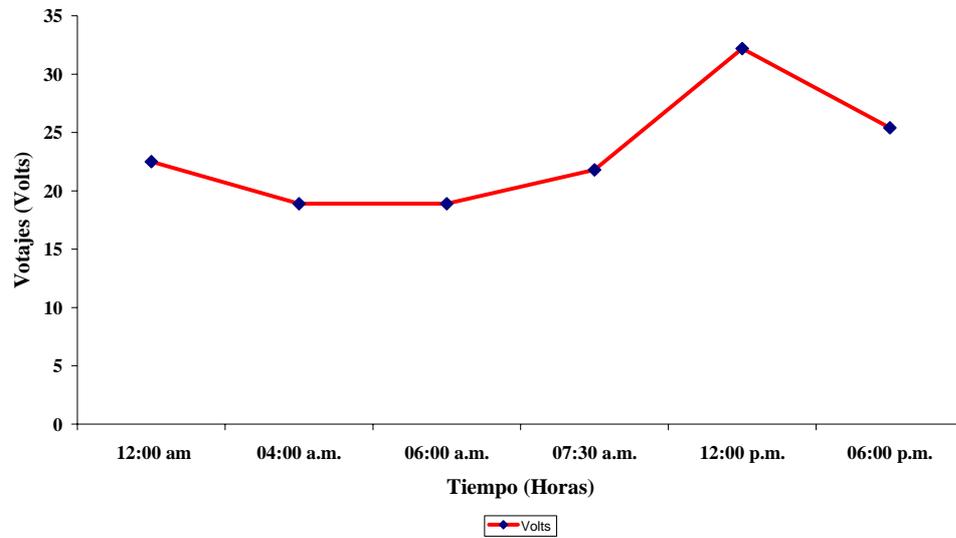


Figura 4.14 Tendencia del voltaje de baterías para el 18/11/07

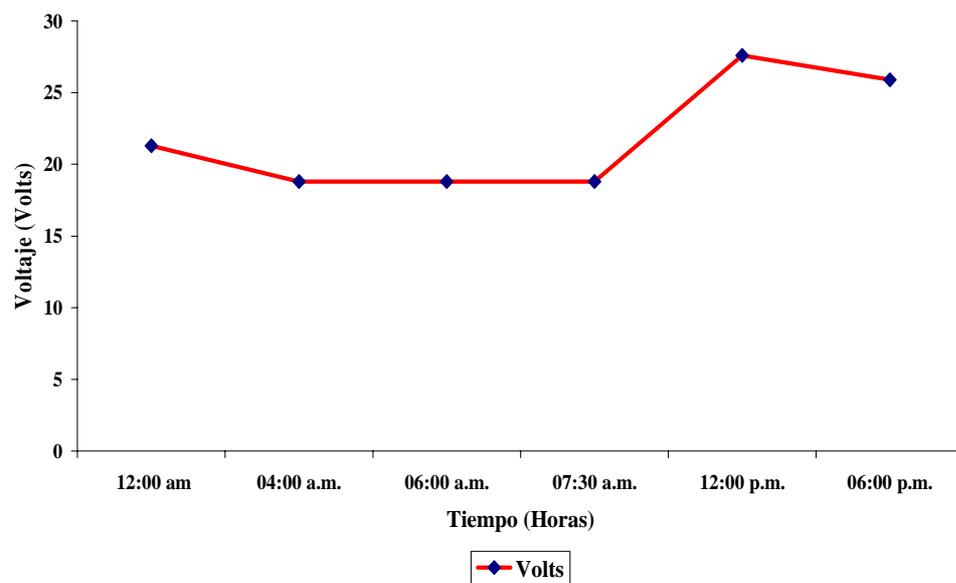


Figura 4.15 Tendencia del voltaje de baterías para el 27/11/07

#### 4.4.2 Tendencias del voltaje del panel solar obtenidas por Excel

En esta sección, se define a través de Excel un comportamiento más explícito de las tendencias del voltaje del panel solar obtenidas por SCADA en función de la radiación solar percibida por dichos paneles solares. Debe tenerse en cuenta que la radiación solar, es un parámetro fundamental para definir el

funcionamiento óptimo o no, de los módulos fotovoltaicos. En el capítulo V, se establecen los análisis respectivos a este punto.

Cabe destacar que el SCADA no ofrece la función de observatorio Meteorológico, es por ello, que las tendencias del voltaje de panel solar señaladas en la sección 4.3, involucran únicamente el voltaje del panel solar. Por lo tanto se ha utilizado la Estación Meteorológica de los Altos Mirandinos como fuente de suministro de la radiación solar incidente sobre la tierra, específicamente la zona de VENEZUELA. [13]

Las Tendencias del voltaje de panel solar en función de la radiación solar obtenidas por Excel, se muestran desde la figuras 4.16 has la 4.18, el resto de visualizaciones se ubican en el anexo H.

Las capturas de datos que se encuentra desde la tabla 4.10 hasta la 4.12, ubicadas después de cada tendencia voltaje del panel solar y que se señalan en esta sección y en los anexos H, se le han incorporado la radiación solar percibida por los paneles solares.

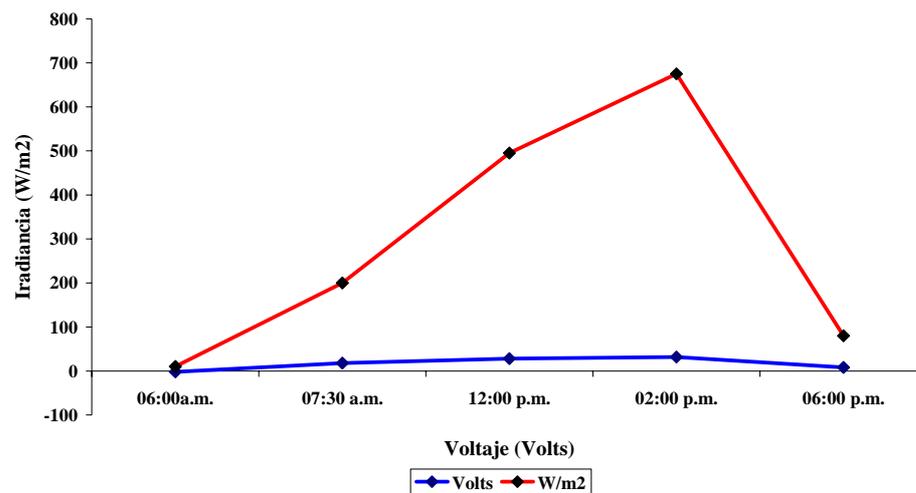


Figura 4.16 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 14/11/07

Tabla 4.10 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 14/11/07

Día	Hora	Voltaje (Volts)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )
14/11/2007	06:00a.m.	-1,8	10
14/11/2007	07:30 a.m.	17,8	200
14/11/2007	12:00 p.m.	28,3	495
14/11/2007	02:00 p.m.	31,8	675
14/11/2007	06:00 p.m.	7,9	80

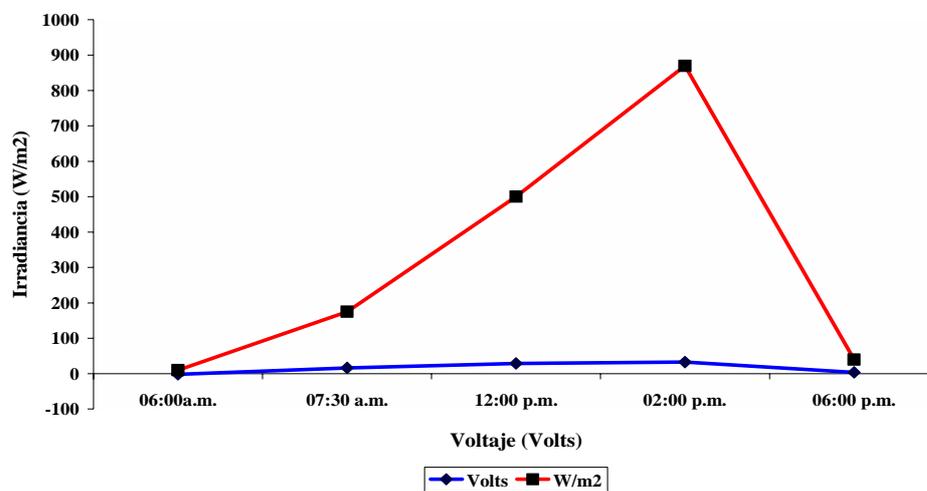


Figura 4.17 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 15/11/07

Tabla 4.11 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 15/11/07

Día	Hora	Voltaje (Volts)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )
15/11/2007	06:00a.m.	-1,8	10
15/11/2007	07:30 a.m.	16,3	175
15/11/2007	12:00 p.m.	29	500
15/11/2007	02:00 p.m.	32,5	870
15/11/2007	06:00 p.m.	3,6	40

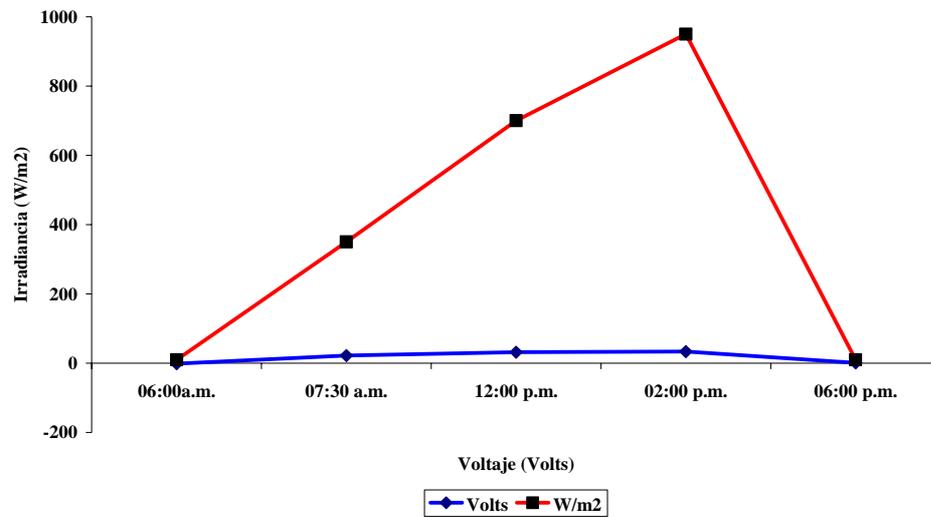


Figura 4.18 Tendencia del voltaje del panel solar Vs radiación solar para el 16/11/07

Tabla 4.13 Captura de datos del voltaje del panel solar y radiación solar para el 16/11/07

Día	Hora	Voltaje (Volts)	Radiación (W/m²)
16/11/2007	06:00a.m.	-1,8	10
16/11/2007	07:30 a.m.	22,2	350
16/11/2007	12:00 p.m.	31,8	700
16/11/2007	02:00 p.m.	33,5	950
16/11/2007	06:00 p.m.	0,6	10

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS DE LOS PARAMETROS ELÉCTRICOS A TRAVÉS DE SCADA**

#### **5.1 Generalidades**

El estudio de los parámetros eléctricos a través de SCADA y Excel realizado en el capítulo IV, se efectuó durante 27 días; partiendo desde el 14/11/07 hasta el 11/12/07, por lo tanto, en este capítulo, se desarrollan los análisis de las tendencias del voltaje de batería y panel solar obtenidos a través de SCADA y Excel, como parte del estudio de los parámetros eléctricos, del sistema de energía, de los sistemas fotovoltaicos, de los pozos Ful-42 y Ful-88 (Pozos pilotos), pertenecientes a Macolla 5.

A lo largo de cada sección de análisis en las tendencias del voltaje de batería y panel solar obtenidos por SCADA, se elaborarán planteamientos que mencionan horas que no están incluidas en las capturas de datos, pero si en los gráficos. Esto se debe a que las horas señaladas en las capturas se consideraron como ideales para definir el funcionamiento óptimo o no del sistema de energía del sistema fotovoltaico.

#### **5.2 Descripción de la pantalla gráfica de las tendencias del voltaje de baterías obtenidas por SCADA.**

Para precisar un comportamiento más explícito de las tendencias obtenidas del SCADA que se muestran a lo largo de la sección 5.2.1, se realizará una breve descripción de su pantalla gráfica.

En la pantalla gráfica de las tendencias del voltaje de baterías (Ver Figura 5.1), se observa un eje “x” que representa los diferentes valores de tiempo (Días, horas y minutos) y un eje “Y”, que indica los valores de voltaje. La pantalla a su vez esta dividida en tres columnas; la primera se ubica de izquierda a derecha y señala el día anterior estudiado, la segunda es el centro de la pantalla y muestra el día en estudio y la tercera esta a la derecha e ilustra el próximo día a estudiar. Generalmente el comportamiento de las tendencias a analizar, será el situado sobre la segunda columna, es decir, la pantalla central. (Observar Figura 5.1).

En esta pantalla central se muestran los comportamientos óptimos y deficientes de las baterías. Los primeros están representados por una curva descendente que parte del día anterior, hasta la línea de 20Volts del día en estudio, y a su vez por una curva ascendente que se inicia desde la línea de 20Volts del día en estudio (Observar Figura 5.1). Las deficiencias están representadas por una curva que desciende bajo la línea de 20Volts del día en estudio; en la mayoría de los casos esta curva continúa proyectándose con una línea recta paralela a la de 20Volts. (Observar Figura 5.1)



Figura 5.1 Descripción de la pantalla gráfica

Eje Y

Eje X

### **5.3 Análisis de las tendencias del voltaje de baterías, obtenidas por SCADA.**

De acuerdo al comportamiento gráfico observado en la tendencia del voltaje de las baterías de Macolla 5, obtenida por SCADA para el día 14/11/07 (Ver Capítulo IV, sección 4.2, figura 4.1) y a la captura de datos realizada para ese gráfico (Ver Capítulo IV, sección 4.2, tabla 4.1), se puede apreciar claramente el funcionamiento que presentan las baterías sin la conexión de los paneles solares. Este funcionamiento se puede considerar ligeramente óptimo desde las 6:00 PM del día anterior (13/11/07) hasta las 4:59 AM del día (14/11/07), ya que las baterías se mantienen trabajando con niveles de tensión que fluctúan entre los 25-20 Volts.

El comportamiento se hace un poco desfavorable a partir de las 5:00AM hasta las 7:30AM del día (14/11/07), debido a que se genera un descenso de voltaje (Deficiencia de energía) en el sistema de acumulación, que varía entre 19 y 18Volts. A partir de las 7.31AM el sistema de acumulación restablece su funcionamiento por la presencia de voltajes superiores a 20Volt, garantizando de esta manera un trabajo óptimo durante el resto de el día (14/11/07). Estos comportamientos óptimos y deficientes se manifiestan exactamente igual, en los días 15, 16, de Noviembre del 2007, señalados en las figuras y tablas 4.2, 4.3 respectivamente (Ver Capítulo IV, sección 4.2); como también para los días 21 de Noviembre del 2007 y 04, 10, de Diciembre del 2007. (Ver figuras y tablas E.3, E.15, E.21, del Anexo E).

Para el día 17/11/07 (Observar figura y tabla 4.4 del Capítulo IV, sección 4.2), el funcionamiento ligeramente óptimo en el sistema de acumulación se presenta exactamente igual al día 14/11/07, pero correspondido al día 17/11/07, es decir, las baterías se mantienen trabajando desde las 6:00 PM del día anterior (16/11/07) hasta las 4:59 AM del día (17/11/07), con niveles de tensión que fluctúan entre los 25-20 Volts. La deficiencia de energía o descenso de voltaje

entre 19 y 18 Volts presentada en las baterías, se produce entre las 5:00AM hasta las 6:59AM y el incremento de voltaje a 20Volts en el sistema de acumulación para respaldar el funcionamiento durante el día se obtiene a partir de 7:00AM. Estos comportamientos se mantienen igual para los días 20, 22, 30 de Noviembre del 2007 y 01, 02, 03, 06, de Diciembre del 2007 (Ver figuras y tablas E.2, E.4, E.11, E.12, E.13, E.14, E.17 respectivamente, en el Anexo E).

Para el día 18/11/07 (Observar figura y tabla 4.5 del Capítulo IV, sección 4.2), el sistema de acumulación presenta un funcionamiento óptimo diferente a los días anteriores. Este se ubica desde las 6:00PM del pasado día (17/11/07), hasta las 3:59AM del día 18/11/07. El comportamiento desfavorable o deficiencia de energía en las baterías, se manifiesta con el descenso de voltaje entre 19 y 18 Volts, desde las 4:00AM hasta las 6:59AM, mientras que el incremento de voltaje a 20 Volts para restablecer el funcionamiento óptimo durante el día, se inicia a partir de las 7:00AM. Dichos comportamientos se presenta exactamente igual para los días 19, 23, 24, 25, 26, 28, 29, de Noviembre del 2007 y 05, 08, 09 de Diciembre del 2007 (Ver figuras y tablas E.1, E.5, E.6, E.7, E.8, E.9, E.10, E.16, E.19, E.20 respectivamente, en el Anexo E).

Para el día 27/11/07 (Observar figura y tabla 4.6 del Capítulo IV, sección 4.2) el funcionamiento óptimo del sistema de acumulación, inicia exactamente igual al día 18/11/07, pero correspondido al día 27/11/07, es decir, desde las 6:00PM del pasado día (26/11/07), hasta las 3:59AM del día 27/11/07, mientras que la deficiencia de voltaje entre 19 y 18 Volts presentada en las baterías, ocurre desde las 4:00AM hasta las 7:30AM y el incremento de voltaje a 20 Volts para restablecer el funcionamiento óptimo durante el día, se inicia a partir de las 7:31AM. Cabe destacar que estos comportamientos se manifiestan igual para los días 07, 11 de Diciembre del 2007 (Ver figuras y tablas E.18, E.22 respectivamente, en el Anexo E).

Cabe destacar que los funcionamientos óptimos en el sistema de acumulación, comprendidos en las horas de 6:00 PM a 4:59AM y 6:00 PM a 3:59AM para cada uno de los días estudiados y mencionados anteriormente, permiten un funcionamiento efectivo de la RTU con el SCADA; mientras que las deficiencias de energía o descenso de voltaje presentadas en las baterías en los diferentes horarios (de 5:00AM a 7:30AM, 5:00AM a 6:59AM, 4:00AM a 6:59AM, 4:00AM a 7:30AM) para cada uno de los días estudiados y analizados anteriormente; origina como consecuencia la pérdida de comunicación de la RTU con el SCADA, limitando así a la RTU realizar el envío de todas la presiones y flujo de agua registradas en el pozo, hacia SCADA; también, impidiéndole a este ultimo ejecutar acciones de supervisión y control hacia Macolla 5 (Pozos Ful- 42 y Ful- 88, pozos pilotos). Debe tenerse en cuenta que la deficiencia de energía presentada en el sistema de acumulación en las horas nocturnas, se debe a que las batería no son cargadas completamente, es decir, no reciben los 39.3 Amps de corriente de carga especificado por el fabricante, ya que la configuración energética de los paneles solares de Macolla 5 (Ver capítulo III sección 3.4.1 y sección 3.5.1.1), generan una intensidad de corriente de carga máxima de 19 Amps. Por lo tanto la capacidad de la batería de 393 Ah disminuye a 190 Ah y el porcentaje de profundidad de descarga de 25% equivalente a 9.83 Amp (Especificado por el fabricante) desciende a 4.75 Amps, resultando así la intensidad de corriente de 4.75 Amps, insuficiente para respaldar el consumo exigido por la carga durante las horas nocturnas (Ver capítulo III sección 3.5.2.3).

El aumento del voltaje a 20 Volts, en el sistema de acumulación a las horas de 7:00 AM y 7:31 AM, permite restablecer el sistema de comunicación entre la RTU y el SCADA, garantizándole así al SCADA las operaciones de supervisión y control sobre los pozos Ful-42 y Ful-88. Debe tenerse en cuenta que el incremento de voltaje sobre los 20 Volts, se origina por la captación de luz solar en los paneles solares.

#### 5.4 Descripción de la pantalla grafica de las tendencias del voltaje del panel solar, obtenidas por SCADA

La descripción realizada en la pantalla gráfica de las tendencias del voltaje de baterías obtenidas por SCADA (Ver Sección 5.2), es similar a la que presenta el panel solar, con la variante, que en la pantalla gráfica de las tendencias del voltaje del panel solar (Ver Figura 5.2), existe un funcionamiento óptimo que se describe con una curva que asciende de la línea de 10 Volts y se extiende sobrepasando la línea de los 30 Volts. A su vez se genera un descenso de voltaje representado por una curva que desciende de la línea de los 30Volts hacia la de 0 Volts. (Observar Figura 5.2). Debe tenerse en cuenta que esta descripción esta realizada hacia la pantalla central.



Eje Y

Figura 5.2 Descripción de la pantalla grafica

Eje X

### **5.5 Análisis de las tendencias del voltaje de panel solar, obtenidas por SCADA.**

El comportamiento gráfico de las tendencias del voltaje de panel solar obtenida por SCADA y la captura de datos realizada para el día 14/11/07 (Ver Capítulo IV, sección 4.3, figura y tabla 4.7), muestran claramente el funcionamiento óptimo que presentan los paneles, producto de la radiación solar recibida.

El funcionamiento óptimo, se hace efectivo a partir de las 7:00-7:30AM hasta las 2:30PM, en este intervalo de tiempo, se observa como el voltaje del panel solar aumenta en función de la radiación solar recibida; mientras que, a partir de las 2:31 PM se comienza a generar un descenso de voltaje (Considerable) en los módulos fotovoltaicos, producto de la disminución de la radiación solar. Este descenso de voltaje se mantiene hasta las 6:00PM, momentos en donde, dicha radiación solar es muy baja. Debe tenerse en cuenta, que este comportamiento es exactamente igual para el resto de las tendencias del voltaje de panel solar obtenidas por SCADA, que se muestran en las figuras y tablas 4.8, 4.9 del Capítulo IV, sección 4.3 y las tendencias incluídas en el Anexo F.

### **5.6 Análisis de las tendencias del voltaje de baterías y panel solar, obtenidas por EXCEL.**

Debe tenerse en cuenta, que el desarrollo de las tendencias de voltaje de baterías y panel solar a través de Excel (Ver sección 4.4.1 y 4.4.2 del Capítulo IV), se realizó con la finalidad de mostrar un comportamiento mas detallado que el ofrecido por las tendencias del voltaje de baterías y panel solar obtenidas a través de SCADA, por lo tanto, los análisis pertinentes a esta sección, son exactamente iguales a los plasmados en la sección 5.3 y 5.5, sin embargo, en la sección 5.7 y 5.8, se establecen algunos señalamientos.

### **5.6.1 Análisis de las tendencias del voltaje de baterías obtenidas por EXCEL.**

Al igual como se mencionó en la sección 5.3, para el día 14/11/07 (Ver figura 4.10 del Capítulo IV, sección 4.4.1) el funcionamiento óptimo en las baterías se presenta desde las 6:00PM del día anterior (13/11/07) hasta las 4:59AM del día 14/11/07, mientras que la deficiencia de energía en el sistema de acumulación, se genera entre las 5:00AM y 7:30AM. Este comportamiento se manifiesta exactamente igual para los días 15, 16 de Noviembre del 2007 señalados en la figura 4.11 y 4.12 del Capítulo IV, sección 4.4.1, como también para el 21/11/07 y el 04, 10 de Diciembre del 2007, señalados en las figuras G.3, G.15, G.20 del Anexo G.

Para el día 17/11/07 (Ver figura 4.13 del Capítulo IV, sección 4.4.1), el funcionamiento ligeramente óptimo en el sistema de acumulación se presenta exactamente igual al día 14/11/07, pero correspondido al día 17/11/07, es decir, las baterías se mantienen trabajando desde las 6:00 PM del día anterior (16/11/07) hasta las 4:59 AM del día (17/11/07). El descenso de voltaje o deficiencia de energía presentada en las baterías, se produce entre las 5:00AM hasta las 6:59AM y el incremento de voltaje a 20Volts en el sistema de acumulación, para respaldar el funcionamiento durante el día, se obtiene a partir de 7:00AM. Estos comportamientos se mantienen igual para los días. 20, 22, 30 de Noviembre del 2007 y 01, 02, 03, 06, de Diciembre del 2007 (Ver figuras G.2, G.4, G.11, G.12, G.13, G.14, G.17 respectivamente, en el Anexo G).

Para el día 18/11/07 (Ver figura 4.14 del Capítulo IV, sección 4.4.1), el funcionamiento óptimo en el sistema de acumulación se ubica desde las 6:00PM del pasado día (17/11/07), hasta las 3:59AM del día 18/11/07, y la deficiencia en las baterías se manifiesta, desde las 4:00AM hasta las 6:59AM, mientras que el incremento de voltaje a 20 Volts para restablecer el funcionamiento óptimo de las baterías durante el día, se inicia a partir de las 7:00AM. Dichos comportamientos se presentan exactamente igual para los días 19, 23, 24, 25, 26, 28, 29, de

Noviembre del 2007 y 05, 08, 09 de Diciembre del 2007, (Ver figuras G.1, G.5, G.6, G.7, G.8, G.9, G.10, G.16, G.19, G.20, respectivamente en el Anexo G).

Para el día 27/11/07 (Ver figura 4.15 del Capítulo IV, sección 4.4.1) el funcionamiento óptimo en el sistema de acumulación, se mantiene con un horario de trabajo igual al día 18/11/07, es decir, desde las 6:00PM del pasado día (26/11/07), hasta las 3:59AM del día 27/11/07; mientras que el descenso de voltaje en las baterías, ocurre desde las 4:00AM hasta las 7:30AM y el incremento de voltaje a 20 Volts para restablecer el funcionamiento óptimo en el sistema de acumulación, se inicia a partir de las 7:31AM. Estos comportamientos son exactamente iguales para los días 07, 11 de Diciembre del 2007 (Ver figuras G.18, G.21, en el Anexo G).

### **5.6.2 Análisis de las tendencias del voltaje del panel solar, obtenidas por EXCEL**

Retomando el planteamiento establecido en la sección 5.5, se puede acotar nuevamente que para el día 14/11/07 (Ver figura 4.16 del Capítulo IV, sección 4.4.2) el funcionamiento óptimo de los paneles solares en función de la radiación solar, se hace efectivo desde 7:00-7:30AM hasta las 2:30 PM, en estos intervalos de tiempo se observa como se genera un aumento del voltaje en los paneles solares, producto de la incidencia e incremento de la radiación solar en los módulos fotovoltaicos, mientras que a partir de las 2:31PM se comienza a generar un descenso de voltaje (Considerable) en los paneles, debido a la disminución de la radiación solar hacia dichos módulos fotovoltaicos. Este comportamiento se mantiene exactamente igual en los días 15, 16 de Noviembre del 2007 (Ver figura 4.17, 4.18 y tablas 4.11 y 4.12 del Capítulo IV, sección 4.4.2); como también para las tendencias del voltaje del panel solar señaladas desde la figura H.1 hasta la H.25 en el Anexo H.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA DE MEJORAS A CORTO Y MEDIANO PLAZO.**

#### **6.1 Generalidades**

Con base a los análisis de las mediciones obtenidas en Macolla 5, específicamente en el panel solar (Capítulo III sección 3.5.2.1), baterías con el panel solar conectado y desconectado (Capítulo III sección 3.5.2.3), y al estudio y análisis de las tendencias del voltaje de baterías obtenidas por SCADA, establecidas en el Capítulo IV, sección 4.2 y Capítulo V, sección 5.3 respectivamente, se puede apreciar claramente la deficiencia de energía que existe en el sistema de acumulación, durante las horas nocturnas. Considerando estas dificultades, en este capítulo se presenta una propuesta orientada, hacia el redimensionamiento de los paneles solares y la integración de nuevas baterías.

A su vez, se hará una evaluación económica dirigida hacia el redimensionamiento de los paneles solares y la integración de nuevas baterías.

#### **6.2 Descripción de la problemática actual.**

Como bien se conoce el sistema de acumulación instalado actualmente en Macolla 5, esta constituido por baterías Ni-Cd de 393Ah/100h, que se cargan con una intensidad de corriente del 10% de la capacidad de la batería, es decir, 39.3 Amps, por un tiempo de carga de 5 horas, con un porcentaje de profundidad de descarga del 25% ( Equivalente a 9.83 Amps) para los ciclos de Carga/Descarga, una máxima profundidad de descarga del 80% equivalente a 4 días de autonomía y un periodo de vida útil de 10 años. Todas estas especificaciones ofrecidas por el fabricante, son alteradas por la configuración energética de los paneles solares que presenta Macolla 5. Dicha configuración, esta conformada por 8 Paneles Solares,

con 4 configuraciones en paralelo de módulos fotovoltaicos, cada una de estas configuraciones agrupa 2 paneles en serie (Ver Capítulo III, sección 3.4.1). Debe tenerse en cuenta que de acuerdo a los valores nominales y medidos del panel solar, señalados en la tabla 3.2 y 3.5, de la sección 3.5 y 3.5.1.1 del capítulo 3; el arreglo fotovoltaico genera una intensidad de corriente de carga máxima de 19 Amps hacia el sistema de acumulación (Inferior al 10% señalado por el fabricante), lo que trae como consecuencia la disminución y ajuste de la capacidad de la batería, el porcentaje de profundidad de descarga, a la intensidad de corriente de 19 Amps; ofreciendo de esta manera un funcionamiento deficiente de las baterías durante las horas nocturnas y la disminución de su periodo de vida útil.

El funcionamiento deficiente en el sistema de acumulación durante las horas nocturnas, se observa, cuando el voltaje de baterías disminuye bajo los 20 Volts (Ver Capítulo IV, sección 4.2 y Capítulo V, sección 5.3), en ese momento el voltaje de dicha batería no es suficiente para mantener alimentada a la Unidad Terminal Remota (RTU). Es decir, se produce la desconexión de la RTU con el SCADA, limitando así a la RTU, realizar el envío de todas las presiones y flujos registradas en el pozo hacia el SCADA; también impidiéndole a este último efectuar acciones de supervisión y control sobre los pozos Ful-42 y Ful-88, pertenecientes a Macolla 5.

Debe tenerse en cuenta que las acciones de supervisión y control del SCADA hacia Macolla 5, están dirigidas a la apertura o cierre de válvulas de los pozos inyectoros de agua (Pozos Ful 42- Ful 88), los cuales, realizan la inyección o disminución de barriles de agua hacia los pozos de crudo. Con esta inyección de agua se logra mantener la presión en el pozo de crudo y elevar dicho crudo a la superficie.

### 6.3 Propuesta de mejoras a corto y mediano plazo

Con la búsqueda de un mejor funcionamiento y rendimiento en el sistema de acumulación (Baterías) durante las horas nocturnas, se presentará en esta sección, una propuesta orientada hacia el redimensionamiento de los paneles solares e integración de nuevas baterías. Para el desarrollo de esta propuesta se utilizarán las siguientes normas:

- ❖ **ANSI/ IEEE 928 Recommended Criteria for Terrestrial Photovoltaic Power Systems**
- ❖ **ANSI/ IEEE 1145 Recommended Practice for Installation and Maintenance of Nickel Cadmium Batteries for Photovoltaic Systems.**

#### 6.3.1 Redimensionamiento de los paneles solares.

Considerando que la configuración energética presentada en macolla 5, (Descrita en la sección 6.2), no genera la intensidad de corriente de carga requerida por el sistema de acumulación, se realizará en esta sección, un redimensionamiento en los paneles solares que permita generar la intensidad de corriente de carga exigida por las baterías. Para proponer el redimensionamiento, se realizan los siguientes cálculos, basado en la norma **ANSI/ IEEE 928**:

El número de paneles solares, que establecerán la nueva configuración energética, estará determinado por el siguiente método de cálculo:

$$N_{PSolar} = \frac{ERCC}{EPS} \quad 6.1$$

Siendo ERCC:

$$ERCC = \frac{ETCC}{R} \quad 6.2$$

$$R = (1 - Kb - Kc - Kv) \times \left[ 1 - \frac{KaxN}{Pd} \right] \quad 6.3$$

Donde:

$N_{PSolar}$  : Es el número de paneles solares.

$ERCC$  : Es la energía real consumida por la carga.

$ETCC$  : Es la energía teórica consumida por la carga.

$EPS$  : Es la energía del panel solar.

$R$  : Es el rendimiento global de la instalación fotovoltaica.

$Kb$  : Es el coeficiente de pérdidas por el acumulador.

0.05 En sistemas que no demanden descargas intensas.

0.1 En sistemas con descargas profundas.

$Kc$  : Es el coeficiente de pérdidas en el convertidor.

0.05 Para convertidores seneoidales puro, trabajando en régimen óptimo.

0.1 En otras condiciones de trabajo, lejos del óptimo.

$Kv$  : Es el coeficiente de pérdidas varias. Agrupa otras perdidas como (Rendimiento de red, efecto joule, otras).

0.05-0.15 Como valores de referencia.

$Ka$  : Es el coeficiente de autodescarga diario

0.002 Para baterías de baja autodescarga Ni-Cd.

0.005 Para baterías de Plomo Acido (Las más habituales)

0.012 Para baterías de alta autodescarga (Arranque de automóviles)

$N$  : **Es el número de días de autonomía de la instalación:** Serán los días en que la instalación deberá operar bajo una irradiación solar mínima (Días nublados continuos), en los que se va consumir más energía de la que el

sistema fotovoltaico puede ser capaz de generar .Esta autonomía se ubica entre 4-10 días.

*Pd* : **Profundidad de descarga máxima de la batería.** Esta profundidad no excederá el 80 % (referida a la capacidad del acumulador), ya que la eficiencia de esta decrece en gran medida con los ciclos de carga y descarga muy profundos

Debe tenerse en cuenta, que si el resultado de la operación matemática de la ecuación 6.1 no es exacto, se aproximará dicho valor al par superior inmediato.

Se determinará primeramente la energía teórica consumida por la carga, para ello se tiene que:

$$ETCC = E_{RTU} + E_C + E_{EC} + E_{CI} \quad 6.4$$

$$E_{RTU} = V_{RTU} \times I_{TRU} \times t \quad 6.5$$

$$E_C = P_C \times t \quad 6.6$$

$$P_C = P_{ENT} + P_{SAL} \quad 6.7$$

$$P_{ENT} = \frac{P_{SAL}}{\eta} \quad 6.8$$

$$P_{SAL} = V_{SAL} \times I_{SAL} \quad 6.9$$

$$E_{EC} = E_{TF} + E_{TP} \quad 6.10$$

$$E_{TF} = E_{TP} = V \times I \times t \quad 6.11$$

$$E_{CI} = P_{CI} \times t_{CI}$$

6.12

Donde:

$E_{RTU}$  : Es la energía consumida por la RTU

$V_{RTU}$  : Es el voltaje de trabajo de la RTU

$I_{RTU}$  : Es la corriente de trabajo de la RTU

$E_C$  : Es la energía consumida por el convertidor 24-12 V

$P_C$  : Es la potencia del convertidor 24-12 V

$P_{ENT}$  : Es la potencia de entrada del convertidor 24-12 V

$P_{SAL}$  : Es la potencia de salida del convertidor 24-12 V

$\eta$  : Es la eficiencia del convertidor 24-12 V

$V_{SAL}$  : Es el voltaje de salida del convertidor 24-12 V

$I_{SAL}$  : Es la corriente de salida del convertidor 24-12 V

$E_{EC}$  : Es la energía consumida por los equipos de campo

$E_{TF}$  : Es la energía del transmisor de flujo

$E_{TP}$  : Es la energía del transmisor de presión

$V$  : Es el voltaje de trabajo del transmisor

$I$  : Es la corriente de trabajo del transmisor

$E_{CI}$  : Es la energía consumida por el circuito iluminación

$P_{CI}$  : Es la potencia del circuito iluminación

$t$  : Es el tiempo de trabajo de cada equipo

$t_{CI}$  : Es el tiempo de trabajo del circuito de iluminación

Debe tenerse en cuenta, que el circuito de iluminación esta constituido por dos luminarias de 25 W cada una.

Utilizando el método de cálculo anteriormente indicado y los datos señalados a continuación, los valores de energía de la RTU, convertidor 24-12 V, equipos de campo y circuito de iluminación, se obtienen de la siguiente manera:

#### DATOS

$$V_{RTU} = 24 \text{ VDC}$$

$$I_{RTU} = 0.5 \text{ A}$$

$$V_{SAL} = 13.6 \text{ VDC}$$

$$I_{SAL} = 5 \text{ A}$$

$$\eta = 70 \% \text{ (Para una carga conectada entre el } 30 - 100 \% \text{ de su carga máxima)}$$

$$P_{SAL} = 68 \text{ W}$$

$$P_{ENT} = 97.14 \text{ W}$$

$$P_C = 165.14 \text{ W}$$

$$V = 24 \text{ V}$$

$$I = 20 \text{ mA}$$

$$t = 24 \text{ h/día}$$

$$P_{CI} = 50 \text{ W}$$

$$t_{CI} = 12 \text{ h/día}$$

$$\text{Energía de la RTU} \rightarrow E_{RTU} = 24 \times 0.5 \times 24 = 288 \text{ Wh/día}$$

$$\text{Energía del convertidor 24-12 V} \rightarrow E_C = 165.14 \times 24 = 3963.36 \text{ Wh/día}$$

$$\text{Energía de equipos de campo} \rightarrow E_{EC} = (24 \times 20 \times E - 3 \times 24) \times 4 = 46.08 \text{ Wh/día}$$

**Energía del circuito de iluminación**  $\rightarrow E_{CI} = 50 \times 12 = 600 \text{ Wh/día}$

La energía teórica consumida por la carga ( $ETCC$ ), queda expresada de la siguiente manera:

$$ETCC = 288 + 3963.36 + 46.08 + 600 = 4897.44 \text{ Wh/día}$$

Seguidamente, se determinará la energía real consumida por la carga, considerando los múltiples factores de pérdida que existen en una instalación fotovoltaica, para ello, se obtiene:

$$Kb = 0.1; Kc = 0.1; Kv = 0.15; Ka = 0.002; N = 4; Pd = 0.8;$$

$$R = (1 - 0.1 - 0.1 - 0.15) \times \left[ 1 - \frac{0.002 \times 4}{0.8} \right]$$

$$R = 0.644$$

La energía real consumida por la carga expresada a través de la ecuación 6.2, queda como:

$$ERCC = \frac{4897.44}{0.644} = 7604.72 \text{ Wh/día}$$

Se determina seguidamente la energía del panel solar, considerando las 5 horas de radiación solar efectivas, establecidas por el Observatorio Meteorológico de los ANDES de Venezuela.

$$EPS = P_{PS} \times HPS \tag{6.13}$$

Donde:

$EPS$  : Es la energía del panel solar

$P_{PS}$  : Es la potencia del panel solar

$H_{ps}$  : Son las horas de Radiación solar pico efectivas consideradas para la zona

Por lo tanto, se obtiene que:

$$\text{Energía del panel solar} \rightarrow EPS = 85 \times 5 = 425 \text{ Wh / dia}$$

Una vez encontrada la energía real consumida por la carga y la generada por los paneles solares, se obtiene el número de módulos solares, a través de la ecuación 6.1, es decir:

$$\text{Número de Paneles Solares} \rightarrow N_{PSolar} = \frac{7604.72 \text{ Wh / dia}}{425 \text{ Wh / dia}} = 17.89 \approx 18$$

Como se puede observar el resultado obtenido de la operación matemática no es exacto, por lo tanto, se aproxima el número de paneles solares al valor par superior inmediato, que en este caso resulta ser 18.

Debe tenerse en cuenta, que el modelo del panel solar a utilizar en el nuevo arreglo fotovoltaico o configuración energética de paneles solares, es exactamente igual al empleado en la configuración anterior (Ver tabla 6.1), la cual esta descrita también en el capítulo III, sección 3.4.1; por lo tanto, se establece un arreglo fotovoltaico con 9 configuraciones de paneles solares en paralelo, cada una de estas configuraciones agrupadas con 2 módulos solares en serie. En la figura 6.1 se observa el nuevo arreglo fotovoltaico.

Tabla 6.1 Características técnicas del panel solar

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>V<sub>Nom</sub> (Volts)</b>	<b>I<sub>Nom</sub> (Amps)</b>	<b>P<sub>Panel</sub> (Watts)</b>
<b>Panel solar</b>	<b>BP Solar</b>	<b>585f</b>	<b>18.8</b>	<b>4.72</b>	<b>85</b>

Con esta nueva configuración energética de paneles solares, se genera una intensidad de corriente de carga de aproximadamente 42 A hacia el sistema de acumulación, corriente suficiente para mantener alimentada a la batería, con la corriente de carga de 39.3 A, establecida por el fabricante.

Cabe destacar que las baterías no serán sobrecargadas por la corriente generada de 42 Amperios, ya que el regulador solar posee un disipador de calor, que le permite dilapidar los calentamientos producidos por elevadas corrientes. Cuando el disipador llega a la temperatura de funcionamiento seguro, el regulador reduce la corriente y refrigera los transistores y el disipador, logrando así la inyección de corriente hacia las baterías de forma segura.

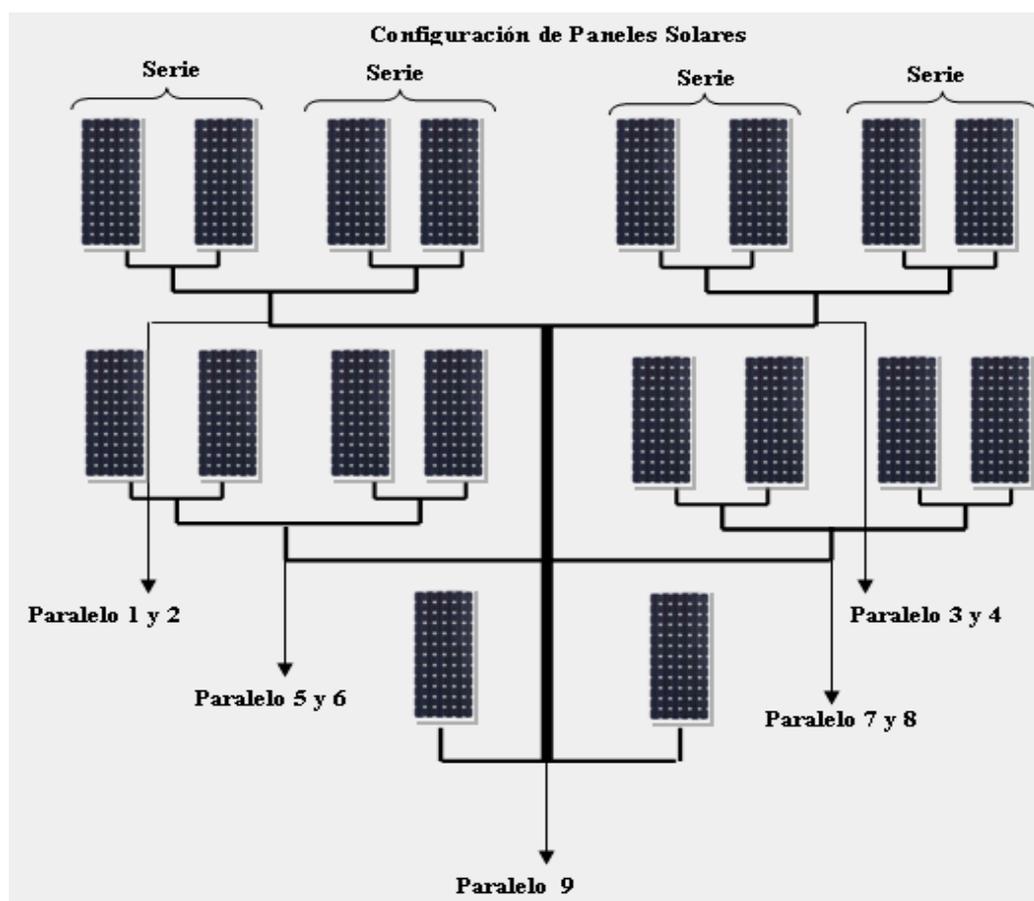


Figura 6.1 Nuevo Arreglo fotovoltaico de pozos FUL-42 y FUL-88 (Macolla 5)

### 6.3.2 Incorporación de nuevas baterías.

Las baterías Ni-Cd instaladas en Macolla 5, presentan características técnicas (ver tabla 6.2), que le permiten establecer un funcionamiento óptimo durante las horas nocturnas. Dentro de estas características, se encuentra el porcentaje de profundidad de descarga, que no es más, que la corriente utilizada por la batería para realizar los consecutivos ciclos de carga y descarga. Esta corriente viene especificada por el fabricante en porcentajes (%), el destinado para estas baterías es de 25% (Equivalente a 9.83 Amp), con respecto a la corriente de carga nominal de 39.3 Amp. Con este porcentaje, se establece un rango de corriente de trabajo entre 29.5 Amp y 39.3 Amp, para los ciclos de carga y descarga.

Tabla 6.2 Características técnicas de las baterías Saft Sunica 38-1

<b>EQUIPO</b>	<b>BATERÍA</b>
<b>Marca</b>	<b>Saft Sunica/Ni-Cd</b>
<b>Modelo</b>	<b>Sun 38-1</b>
<b>Capacidad (Ah/100h)</b>	<b>393</b>
<b>Corriente de Carga 0.1C<sub>5</sub> (A)</b>	<b>39.3</b>
<b>Voltaje por Celda (V)</b>	<b>1.2</b>
<b>Voltaje de Flotación</b>	<b>1.5</b>
<b>%Pd</b>	<b>25 %</b>
<b>%Pdmáx</b>	<b>80 %</b>
<b>Autonomía (Días)</b>	<b>4</b>
<b>Electrolito por Celda (Litros)</b>	<b>4.77</b>

Cabe destacar, que cuando las baterías Ni-Cd son cargadas con la intensidad de corriente de 39.3 A, su capacidad y el porcentaje de profundidad de descarga se mantiene en el tiempo, es decir, ofrecen un funcionamiento óptimo por el tiempo

de vida útil que especifique el fabricante, por lo tanto, cualquier carga conectada al sistema de acumulación, que demande un consumo que no exceda la corriente de 9.83 A disponible para los ciclos de carga y descarga, será respaldada por las baterías Ni-Cd de 393 Ah/100h.

También debe tenerse en cuenta, que si las baterías son cargadas con intensidad de corriente inferior a los 39.3 A, la capacidad de la batería y el porcentaje profundidad de descarga de 25 %, quedaran limitados a la intensidad de corriente de carga, que reciban dichas baterías en ese momento, es decir, la capacidad y el porcentaje profundidad de descarga, disminuirán y se ajustaran de acuerdo a la corriente inyectada hacia el sistema de acumulación.

Tal es el caso, que se presenta actualmente en macolla 5, donde existe un sistema de acumulación, al que se le inyecta una corriente de carga de 19 A, proveniente de la configuración energética de los paneles solares. Con esta corriente de carga de 19 A, la capacidad de la batería de 393 Ah disminuye a 190 Ah y el porcentaje profundidad de descarga de 25 %, equivalente a 9.83 A, se reduce a 4.75 A., que de acuerdo a las mediciones realizadas en las baterías con panel solar desconectado en el capítulo III, sección 3.5.1.3.3, (Ver tabla 3.10). Estos 4.75 A no son suficiente, para respaldar el consumo mínimo y máximo exigido por la carga durante las horas nocturnas, consumos que se muestran a continuación:

$$\text{Consumo mínimo} \Rightarrow 0.5 \times 12 = 6 \text{ Ah}$$

$$\text{Consumo máximo} \Rightarrow 0.7 \times 12 = 8.4 \text{ Ah}$$

Para que las baterías respalden tantos los consumos mínimos y máximos señalados anteriormente, se requiere de una configuración energética de paneles solares que generen la intensidad de corriente de carga de 39.3 A hacia el sistema de acumulación; es por ello, que en la sección 6.3.1, se establece un redimensionamiento en los paneles solares. Pero considerando que las baterías

instaladas actualmente, en los pozos Ful-42 y Ful-88, se han mantenido en funcionamiento con intensidad de corriente de carga de 19 A durante cuatro (4) años, una nueva configuración energética de paneles solares, no garantiza que estas baterías restablezcan sus condiciones nominales para respaldar el consumo mínimo y máximo exigido por la carga, ya que se encuentran totalmente adaptadas a la corriente de 19 A, por lo tanto, se recomienda realizar la sustitución de las baterías instaladas actualmente, por unas nuevas, de igual característica técnica que las usadas actualmente. Las características técnicas de las nuevas baterías que se señalan en la tabla 6.2, están basadas en la norma CEI 62259. En el anexo C, tablas C 2.1 y C 2.2, se ofrecen las especificaciones del fabricante.

#### 6.4 Evaluación Económica del sistema complementario

La propuesta orientada hacia el redimensionamiento de los paneles solares e incorporación de nuevas baterías, establecido como solución a la deficiencia de energía durante las horas nocturnas, presentada en el sistema de energía (Panel solar- Batería), del sistema fotovoltaico de los pozos Ful-42 y Ful-88, pertenecientes a Macolla 5, condujo a realizar una evaluación económica.

En la tabla 6.3 se observa la evaluación económica para el redimensionamiento de los paneles solares e incorporación de nuevas baterías. Las especificaciones técnicas de panel solar y baterías, están señaladas en el anexo C, en las tablas C.1 y C.2 respectivamente.

Tabla 6.3 Evaluación económica 1

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (Bsf)</b>	<b>Precio Total (Bsf)</b>
<b>Panel Solar</b>	18	1.935	34.830
<b>Batería</b>	20	4.500	90.000
<b>Costo total de la inversión →</b>			<b>124.830</b>

A través de la tabla 6.3, se observa que el costo de inversión a realizar para el redimensionamiento de los paneles solares e incorporación de nuevas baterías es de 124.830 Bsf; solamente para los pozos Ful-42 y Ful-88 pertenecientes a Macolla 5,

### **6.5 Configuración energética final de los pozos Ful-42 y Ful-88, pertenecientes a Macolla 5.**

En la figura 6.2, se muestra la configuración energética final de de los pozos Ful-42 y Ful-88, pertenecientes a Macolla 5. Configuración energética realizada en base a la propuesta orientada al redimensionamiento de paneles solares e incorporación de nuevas baterías.

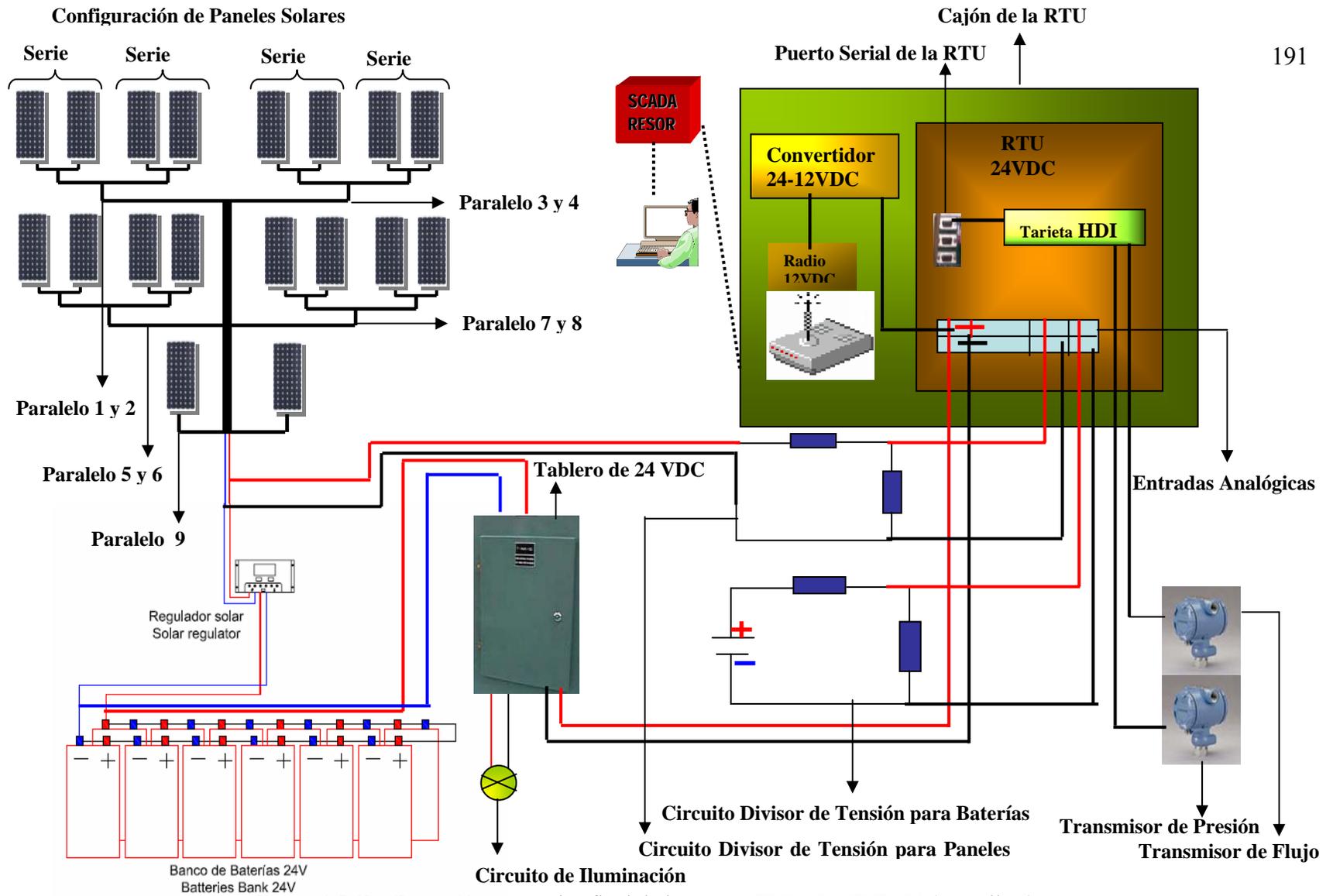


Figura 6.2 Configuración energética final de los pozos FUL-42 y FUL-88 (Macolla 5)

## CONCLUSIONES

Después de haber culminado el trabajo de investigación, se presenta a continuación una serie de conclusiones:

- ❖ El uso y suministro del SCADA, fue orientado bajo las estrictas normas de la empresa: PDVSA-AIT, Jusepín Estado Monagas. Este software fue utilizado como herramienta básica para obtener y analizar las tendencias (Visualizaciones graficas) del voltaje de baterías y panel solar. A su vez, el empleo del programa Excel, resultó de gran utilidad para mostrar un comportamiento mas explícito y detallado de las tendencias del voltaje de baterías y panel solar obtenidas por SCADA.
- ❖ La radiación solar percibida por los paneles solares en cada día de estudio y las horas de radiación solar efectivas de la zona en estudio, se obtuvieron de la Estación Metereológica de los Altos Mirandinos de Venezuela.
- ❖ Las mediciones realizadas en cada uno de los equipos que integran el sistema fotovoltaico, permitieron evaluar con precisión la deficiencia de energía en el sistema de acumulación durante las horas nocturnas.
- ❖ Las baterías Ni-Cd sufren sulfataciones en sus bornes cuando el liquido mantenedor, entra en contacto con el aire.
- ❖ El proceso de carga de las baterías se realiza a corriente constante, ya que a voltaje constante se producen fluctuaciones de corriente elevadas, que ocasionan el daño de la resistencia interna de la batería y con ello la batería completamente.
- ❖ Con el redimensionamiento de los paneles solares e integración de nuevas baterías, se optimiza el funcionamiento del sistema de energía (Panel Solar y

Batería), del sistema fotovoltaico de los pozos inyectores de agua. A su vez, se garantizan las acciones de supervisión y control sobre los pozos Ful-42 y Ful-88 pertenecientes a macolla 5, realizadas por el operador de consola SCADA y de campo.

## RECOMENDACIONES.

Para que los sistemas fotovoltaicos de los pozos inyectoros de agua tengan un funcionamiento automatizado de supervisión y control, seguro y confiable, se recomienda lo siguiente:

- ❖ Realizar el cambio del conductor #10 AWG, 75°C, 600 V por # 8 AWG, 75°C, 600 V, utilizado en la conexión de las terminales de entrada de alimentación al banco de baterías en el pozo Ful-18, ya que al realizar redimensionamiento de los paneles solares, se generará una intensidad de corriente de carga de 39.3 Amps hacia el sistema de acumulación, por lo que, el conductor #10 AWG, 75°C, 600 V, resultaría de muy poca ampacidad.
- ❖ Realizar desmalezamiento en las adyacencias de las casetas de los pozos FUL-42 y FUL-88 (Macolla 5), FUL-18, FUL-27, ya que así, se garantiza un facil acceso a dichos pozos.
- ❖ Revisar el sistema de acumulación una vez cada año o en cada intervalo de rellenado.
- ❖ Comprobar visualmente los niveles de electrolito de las baterías, para asegurarse de que sean superiores al mínimo, y si es necesario rellenarlos únicamente con agua destilada o desionizada.
- ❖ Comprobar la limpieza externa de las baterías y, si es necesario límpielas con un cepillo humedecido en agua. No utilice cepillos de alambres o disolventes de ningún tipo.
- ❖ Las conexiones y tuercas de las baterías deben protegerse contra la corrosión, recubriéndolas con una fina capa de aceite anticorrosivo.

- ❖ Utilizar herramientas con aislamiento, para el ajuste de conexiones en las baterías y equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Cesar A. Martínez D.S. **“Diseño de Políticas y Prácticas de Optimización Aplicables a la Plataforma de Redes en las Áreas de Jusepín-Orocual-Furrial”**. UNEFA, Escuela de Telecomunicaciones, 2007

[2] Bermúdez, C. **“Diseño de un Sistema de Bombeo para una Subestación de Transferencia de Poliducto de Combustible Limpio entre las Ciudades de Puerto la Cruz el Tigre, Estado Anzoátegui”**. UDO, Escuela de Ingeniería Eléctrica, 2006.

[3] Arango José M, Briones Cristina. **“Guía para el Desarrollo de Proyectos de Bombeo de Agua con Energía Fotovoltaica”** Vol 1. Southwest Technology Development Institute New Mexico State University. Marzo del 2001.

[4] Domínguez Salazar José M, Mathison Santos. **“Sistema de Control”, “Curso Tutorial”**, Modulo II. Asset Total Output, C.A. Margarita 2006.

[5] ASIF. **“Energía Solar Fotovoltaica en la Comunidad de Madrid”** 3ª Edición. Madrid- España. Año 2003.

[6] Anguera Hobbies. L. **“Baterías Eléctrica”**. Abril 2007. [http://es.wikipedia.org/wiki/Batería\\_eléctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Batería_eléctrica). Wikimedia Foundation, Inc.

[7] Prosperi Marco, Minelli Claudio. **“Energía Solar Fotovoltaica y Sistemas”**. Año 2006. <http://www.radiaciones.net/Sections-req-viewarticle-artid-92-allpages-1-theme-Printer.html>. CECU.

[8] Arango José M, Briones Cristina. **“Guía para el Desarrollo de Proyectos de Bombeo de Agua con Energía Fotovoltaica”** Vol. 1. Southwest Technology Development Institute New Mexico State University. Marzo del 2001.

[9] Feja.Christof. “**SCADA**”. pAbr2007. [http://es.wikipedia.org/wiki/ SCADA](http://es.wikipedia.org/wiki/SCADA).  
Wikimedia Foundation, Inc.

[10] Manual de Remotas “**Bristol Babcock**”, RTU 3305. Año 1998.

[11] D'Sousa Carmen. “**Sistemas de Control**”. Año 2005.  
<http://www.monografias.com/trabajos11/sisco/sisco.shtml>. Monografías.

[12] Saft Sunica. “**Baterías**”. Julio de 2004. <http://www.saftbateries.com>.  
Corporación INTELEC. C.A.

[13] Altos Mirandinos. “**Estación Meteorológica**”. Enero de 2000.  
<http://www.yv5fih.org.ve/wx37.html>. Observatorio Metrológico de Venezuela.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	<b>ESTUDIO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE POZOS INYECTORES DE AGUA, EN EL AREA JUSEPÍN.</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
BERMÚDEZ MATUTE CARLOS LUÍS.	<b>CVLAC:</b> 15.903.726 <b>E MAIL:</b> cbermudezm@gmail.com
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Sistemas

---

Fotovoltaicos

---

Supervisión

---

Baterías

---

Energía

---

Pozos de Agua

---

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Eléctrica

**RESUMEN (ABSTRACT):**

Los pozos inyectores de agua utilizan para su funcionamiento automatizado de supervisión y control, un sistema fotovoltaico, constituido por un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos, que un correcto dimensionamiento, garantizan que las acciones de supervisión y control sobre los pozos de agua, sea efectiva. lo que genera deficiencias de energía en el sistema de acumulación (Baterías), durante las horas nocturnas. Por lo tanto, para solventar la deficiencia de energía, se estudiarán los sistemas fotovoltaicos, a través de un levantamiento en campo de la información técnica, al mismo tiempo, se efectuarán estudios y análisis de los parámetros eléctricos del sistema de energía a través de SCADA y finalmente se realizará un redimensionamiento en los paneles solares e incorporación de nuevas baterías.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Verena Mercado.	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Escalante, Santiago.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Bermúdez, Melquíades.	ROL	CA	AS X	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

AÑO	MES	DÍA
2009	05	25

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
SistemasFotovoltaicos.doc	Aplicación/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E  
 F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t  
 u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:** Ingeniero Electricista

---

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:** Pregrado

---

**ÁREA DE ESTUDIO:** Departamento de Electricidad

---

**INSTITUCIÓN:** Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui

---

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS**

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajo de grado:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participara al Consejo Universitario”.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Bermúdez M, Carlos L.

**AUTOR**

Verena Mercado

**TUTOR**

Escalante Santiago

**JURADO**

Bermúdez Melquíades

**JURADO**

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**

Mercado Verena