

DETECCION DE FALLAS A TIERRA EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Melitón Ángeles Martínez
Director
Prelxaid S de RL de CV
mangeles@prelmaid.com

Francisco Javier José Ángeles
Diseño y Desarrollo
Prelxaid S de RL de CV
javier@prelmaid.com

RESUMEN: En los últimos tiempos se están incrementado los Sistemas de Aprovechamiento de la energía Solar, que básicamente mediante celdas fotovoltaicas transforman la energía luminosa del sol en energía eléctrica, esta energía eléctrica se manifiesta en voltaje de corriente continua. Al incrementarse el nivel de tensión de los sistemas fotovoltaicos (SFV) también se incrementan las posibilidades de fallas, tanto entre positivo y negativo como fallas a tierra en estos sistemas. Las fallas de positivo a negativo se pueden eliminar mediante elementos de sobrecorriente (fusibles), no así las fallas a tierra que podrían ser corrientes menores que las de carga.

La detección de fallas a tierra en sistemas de corriente alterna (c.a.) es muy común, sin embargo en sistemas de corriente directa (c.d.) no es tan común, por lo que en este trabajo se presenta una alternativa para detectar este tipo de fallas y dependiendo de la magnitud de la corriente de falla puede optarse por generar dos tipos de señal de salida, una señal de alarma para corrientes de baja magnitud o una señal para apertura de interruptor cuando la magnitud de la corriente sobrepase cierto nivel.

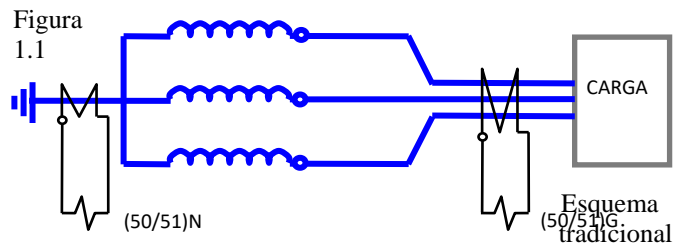
Como no se puede detectar la corriente de falla a tierra de manera directa, se aplica una forma indirecta mediante la comparación de los campos magnéticos que producen la corriente que sale del positivo contra la corriente que retorna al negativo de una fuente de c.d., es decir detectando el campo magnético que produce la corriente diferencial que sale de la fuente que finalmente circulará por la tierra.

I. INTRODUCCION:

Es imperante la necesidad de reducir el consumo de combustibles contaminantes y utilizar cada vez mas las energías naturales como la de viento y el sol. Esto nos conduce a la construcción de centrales fotovoltaicas (FV). Los módulos FV transforman la energía solar en energía eléctrica en formato de corriente continua o corriente directa.

Mientras mayor sea la potencia generada se requiere contar con una gran cantidad de celdas fotovoltaicas que se precisa conectar en serie con lo cual se incrementa la tensión de generación en c.d., por otro lado también se precisa tener varios grupos de celdas fotovoltaicas que se conectan en paralelo. El voltaje de operación de un SFV depende de la cantidad de módulos FV que se pongan en serie alcanzando voltajes entre 120 y 500 Vcd. Estos sistemas FV pueden operar aterrizados o flotantes, ambas modalidades presentan ventajas y desventajas, pero en cualquier caso es muy importante detectar las fallas a tierra.

La detección de fallas a tierra en los sistemas de corriente alterna es muy común, no así la detección de fallas en los sistemas de corriente continua. Para la detección de fallas a tierra en sistemas aterrizados de c.a. es muy importante que la conexión de la fuente trifásica sea en estrella y además esté conectado a tierra sólidamente o a través de una impedancia cuando los valores de la corriente de falla sea muy elevada. En la figura 1.1 se muestra un diagrama para la detección de estas fallas a tierra en c.a.



para detección de fallas en sistemas trifásicos de c.a.

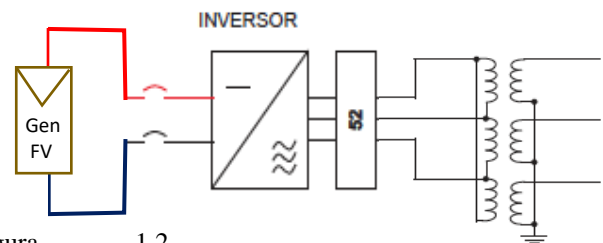


Figura 1.2
Sistema Fotovoltaico

Un SFV cuenta con los elementos básicos mostrados en la figura 1.2.

El modulo FV transforma la energía luminosa en energía eléctrica en formato de c.d. Un interruptor termo magnético (ITM) enlaza el modulo FV con el Inversor.

El inversor convierte la c.d a c.a. pudiendo ser monofásico o trifásico. La salida del inversor se conecta a un transformador trifásico con la relación adecuada para conectarse a la red eléctrica existente.

I.1 Causas de las fallas. El medio ambiente influye de manera directa en el deterioro del aislamiento de los cables que interconectan los módulos FV mediante las altas temperaturas, los rayos UV, ambientes muy secos, o demasiado húmedos al grado de que los conductores pueden quedar sumergidos en el agua; pero también de manera indirecta mediante sobretensiones inducidas por las corrientes de las descargas atmosféricas. Otras causas pueden ser, el envejecimiento del aislamiento, malas conexiones, daño mecánico durante la instalación, roedores etc.

II. FUNDAMENTOS TEORICOS.

Para que existan las fallas a tierra es necesario que haya un flujo de una corriente circulando por tierra, para lo cual es necesario que existan 2 condiciones. Primera que haya un camino para que circule la corriente y segunda que haya una diferencia de potencial que haga circular dicha corriente. Por lo tanto la detección de las fallas a tierra se logra detectando la corriente que circula por ella.

II.1 Los Sistemas de c.d.

Los sistemas de c.d. pueden operar generalmente en tres formas:

- Flotante. Figura 2.1, en este arreglo no es posible detectar fallas a tierra ya que no hay un vía para la circulación de la corriente.
- Aterrizando uno de los polos, generalmente se aterriza el negativo. Figura 2.2, en este arreglo aunque hay una conexión a tierra se antoja difícil discriminar en cual circuito se ha presentado una falla cuando hay mas de un circuito.
- Aterrizamiento a través de un divisor de tensión. Figura 2.3, este es el arreglo que nos permite discriminar cual circuito tiene la falla cuando hay varios circuitos a supervisar ya que en esta se presentan las dos condiciones necesarias para que circulen las corrientes de fallas a tierra.

II.2. El Detector de Flujo Diferencial.

El arreglo mostrado en la figura 1 para detección de fallas a tierra utiliza transformadores de corriente que permiten detectar la magnitud de la corriente de falla es aplicable solo en sistemas de c.a, pero no es aplicable en sistemas de c.d.

Por lo tanto; una forma de detectar la corriente de falla a tierra en sistemas de c.d. es comparando la magnitud de la corriente que sale del positivo de la fuente con la corriente que retorna al negativo, al llevar a cabo la comparación de estas corrientes estaríamos detectando la diferencia entre ambas corrientes, es decir la corriente diferencial (I_{dif}). Retomando el hecho de que no podemos medir directamente esta corriente diferencial, lo tenemos que lograr de forma indirecta detectando y comparando el campo magnético producido por la corriente del positivo ($\emptyset+$) con el campo magnético producido por la corriente del negativo ($\emptyset-$), la diferencia entre estos campos corresponderá al campo magnético producido por la corriente diferencial.

$$I_{dif} = [I+] - [I-]$$

$$\emptyset_{dif} = [\emptyset+] - [\emptyset-]$$

En la practica esto se logra arrollando sobre un núcleo toroidal los dos conductores que llevan el positivo y el negativo de manera que los flujos que produzcan las corrientes queden en oposición uno del otro, de esta manera los flujos se anulan si las corrientes son iguales y solo circulara por el núcleo el flujo diferencial (\emptyset_{dif}) producido por la corriente diferencial. Figura 2.4

La siguiente etapa consiste en cuantificar el valor del flujo diferencial mediante un sensor de Efecto Hall colocado en un entrehierro del toroide, la salida del sensor proporciona una señal eléctrica en mili-volts proporcional al flujo magnético diferencial. Figura 2.5.

La salida del sensor se procesa para que a predeterminado valor active un contacto para alarma o para abrir un interruptor.

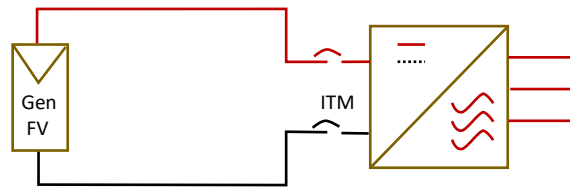


Figura 2.1: Sistema Flotante

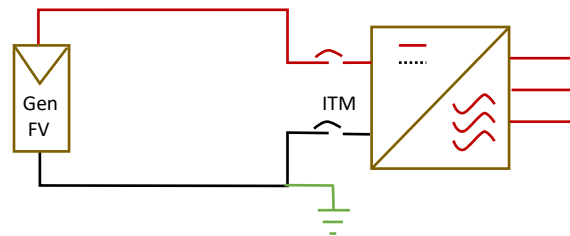


Figura 2.2: Sistema con Negativo Aterrizado.

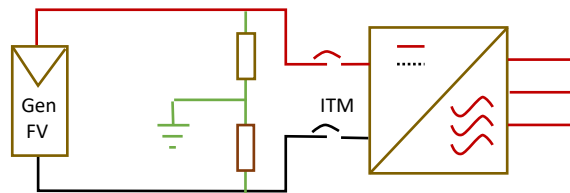


Figura 2.3: Sistema Aterrizado mediante un divisor de tensión.

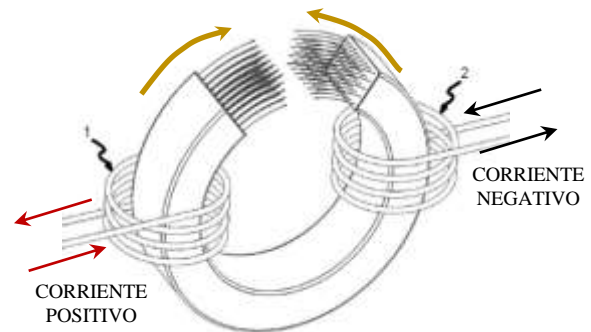
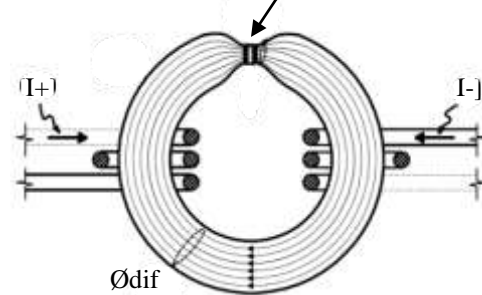


Figura 2.4: Núcleo Toroidal con arrollamientos y flujos magnéticos.

SENSOR DE EFECTO HALL



Figura

2.5: Detección del Flujo Magnético Diferencial.

Un dispositivo detector de corriente diferencial como el descrito le llamamos Detector Diferencial Magnético (MDD) se puede aplicar para detección de fallas a tierra en sistemas de corriente directa, tendría una sensibilidad de 10 mili-amperes y su principio de funcionamiento se muestra en figura 2.6

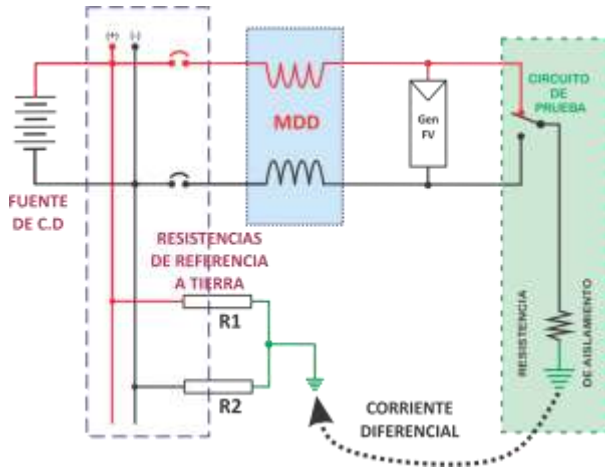


Figura 2.6: Principio de funcionamiento del detector de fallas a tierra.

III. DESARROLLO.

Un SFV contiene elementos como los mostrados en la figura 3.1, en donde se observan varias ramas conectadas a una sola barra de c.d., cada rama se conecta a la barra mediante un ITM, de esta barra se alimenta el inversor que convierte la c.d. en c.a para conectarse a la red existente de 60 Hz.

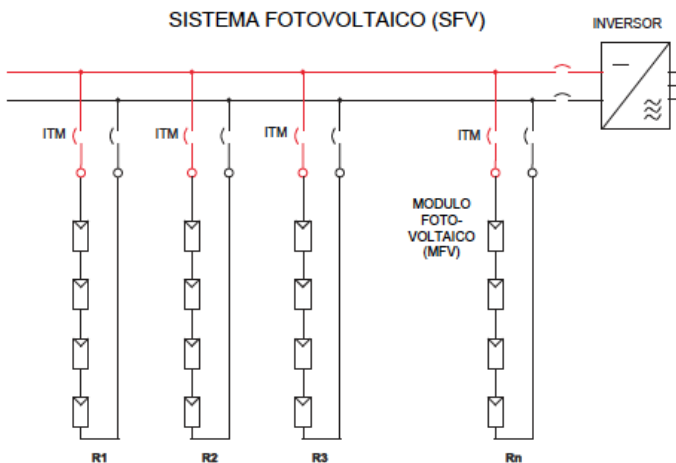


Figura 3.1 Ramas de Generadores Fotovoltaicos con protección por ITM.

Las corrientes de fallas de corto-circuito entre (+) y (-) son detectadas y liberadas por la actuación de los ITM ya que generalmente serán superiores a las corrientes de la carga mientras que las fallas a tierra se pueden condicionar para que sean menores a 1.0 A, la forma de condicionar o limitar la corriente de falla a tierra es mediante el aterrizamiento del sistema como se muestra en la figura 2.3, las resistencias del divisor de tensión funcionan como limitadores de la corriente de falla.

Resulta muy conveniente aterrizar el SFV para reducir a valores de mili-amperes la corriente de falla reduciendo con ello la potencia disipada y la posibilidad de sobrecalentamiento de conductores y otros componentes del SFV por donde circularía dicha corriente, al grado de que el sistema podría seguir funcionando sin la necesidad de una apertura del ITM.

Una simplificación de la figura 3.1 y referenciado a tierra nos permite visualizar la trayectoria de la corriente de falla como se muestra en la figura 3.2.

La figura 3.3 nos permite visualizar que si se tiene una falla de (+) directo a tierra, es decir que el valor de $R_f = 0$, la resistencia R_2 es la que limita la corriente de falla, por lo tanto se trata de encontrar el valor de R_2 para que la corriente de falla no exceda de 1.0 A.

$$\begin{aligned} I_f &\leq 1.0 \text{ A} \\ I_f &= V_F / R_2 \\ R_2 &= V_F / I_f \end{aligned}$$

Si valor de I_f es igual a 1 y el voltaje de operación del SFV fuera de 240 V

$$\begin{aligned} I_f &= 1.0 \text{ A} \\ V_F &= 240 \text{ V} \\ R_2 &= 240 / 1 \\ R_2 &= 240 \text{ Ohms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{La potencia disipada en } R_2 \text{ sera } (I_f)^2 * R_2 \\ P_2 &= 1^2 * 240 \\ P_2 &= 240 \text{ W} \end{aligned}$$

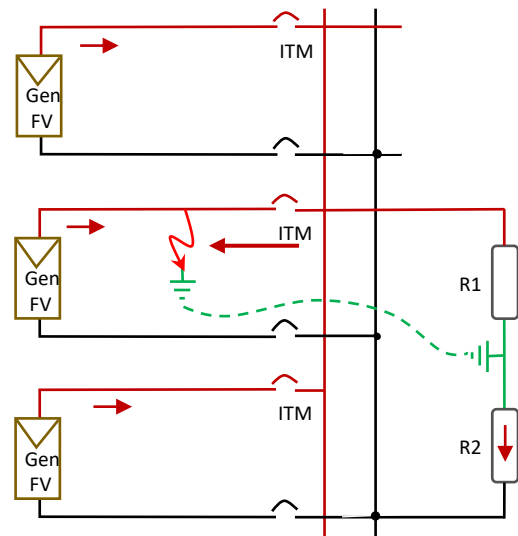


Figura 3.2. Trayectoria de Corriente de falla a tierra.

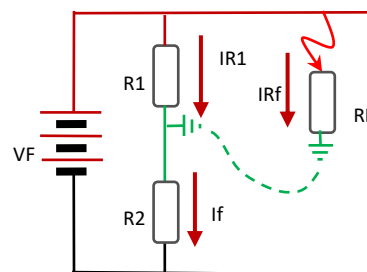


Figura 3.3. Distribución de la corriente de falla.

Para que la tensión del sistema se mantenga balanceado con respecto a tierra es recomendable que los valores de R1 y R2 sean iguales. Para que las corrientes de fallas a tierra no sean mayores a 1.0A, de manera general se puede establecer que los valores de R1 y R2 en ohms sean del mismo valor que la tensión de operación del SFV.

- R1 = R2 = 120 Ohms para 120 Vc.d.
- R1 = R2 = 240 Ohms para 240 Vc.d.
- R1 = R2 = 480 Ohms para 480 Vc.d.

Se pueden determinar los valores de If para diferentes valores de RF y diferentes valores de VF resolviendo el circuito de la figura 3.3, los resultados se muestran en la grafica de la figura 3.4.

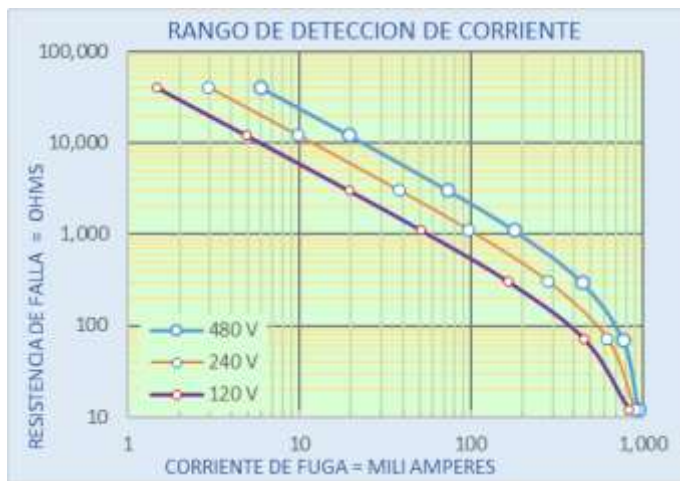


Figura 3.4. Corriente de falla en función de la resistencia de falla, para sistemas de 120, 240 y 480 Vcd.

IV. APLICACIÓN.

Al ser tan extensas las áreas de instalación de los módulos FV en una central, es muy importante que estos sean separados en varios circuitos, para que de esta manera se pueda supervisar de forma independiente cada circuito. Los MDD descritos en la sección 2.2 se pueden aplicar como detectores de fallas a tierra en los SFV.

Una central FV de cualquier capacidad puede ser equipado con detectores de fallas a tierra usando los MDD, instalando uno en cada circuito en serie con los ITM, para que se pueda identificar inmediatamente el circuito fallado. El arreglo de instalación se muestra en la figura 4.1.

Es necesario que el SFV tenga una referencia a tierra mediante un divisor de tensión cuyas resistencias sirven de limitadores de la corriente de falla como se muestra en la figura 3.3.

La instalación de un MDD en cada circuito permite discriminar entre varios circuitos cual es el fallado ya que detecta la corriente que circularía por tierra como se muestra en las figuras 2.6 y 3.2.

Como complemento de los detectores de corriente de falla a tierra se pueden usar detectores de desbalance de Tensión, ya que en condiciones normales de operación la tensión de (+) a tierra es igual en magnitud que de (-) a tierra y cuando existe una falla a tierra existe una RF cuyo valor puede variar desde cero a varios miles de Ohms. Conforme disminuye el valor de RF se incrementa el % de desbalance de las tensiones

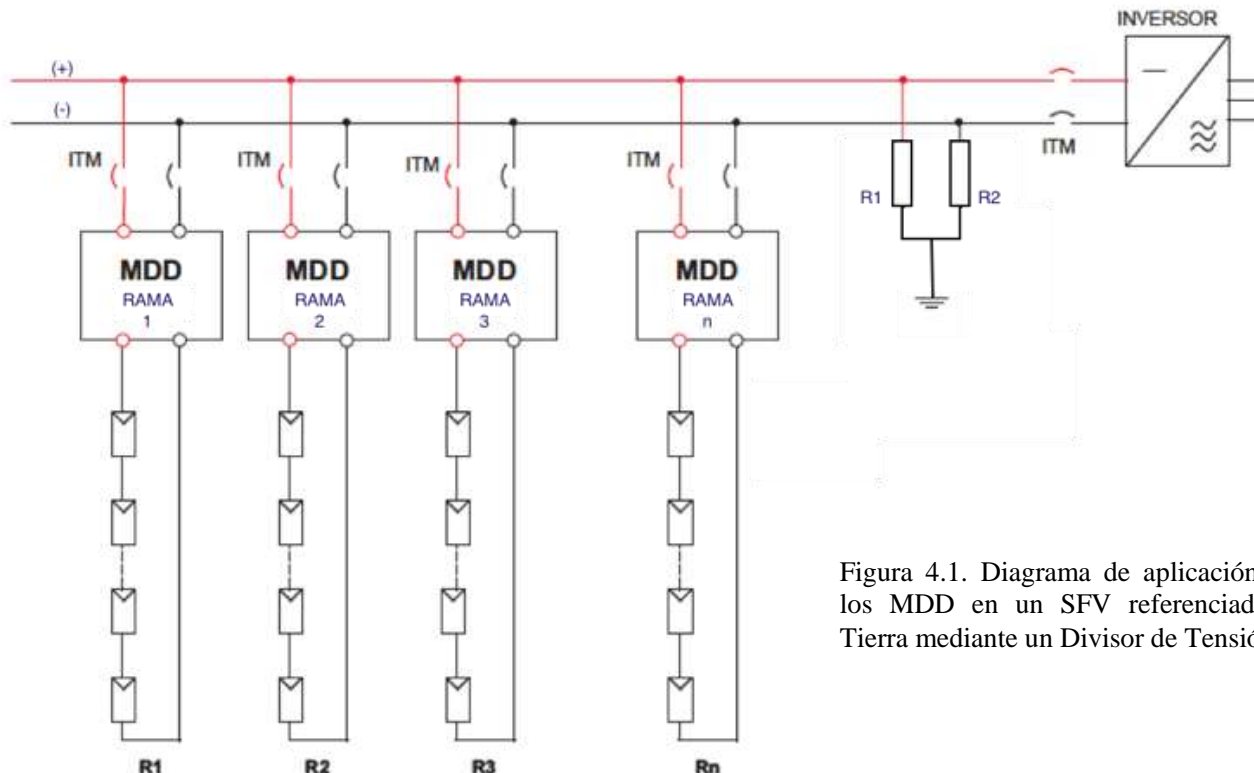


Figura 4.1. Diagrama de aplicación de los MDD en un SFV referenciado a Tierra mediante un Divisor de Tensión.

V. CONCLUSIONES.

- 5.1. Se puede mejorar los sistemas de protección contra fallas a tierra de los sistemas de corriente directa, dentro de los cuales caen los SFV.
- 5.2. Las fallas a tierra en sistemas de c.d. pueden detectarse usando detectores diferenciales de flujo magnético, MDD.
- 5.3. Los valores de corriente de fallas a tierra en sistemas de c.d. se pueden reducir a valores menores de 1.0 A, usando un divisor de potencial con Resistencias de valores en Ohms iguales al voltaje de operación del SFV.
- 5.4. Los MDD son adecuados para determinar que ramas o circuitos de un SFV tienen corrientes de fuga, previniendo al personal de Mantenimiento y Operación para un libramiento programado para su atención.

BIBLIOGRAFIA.

[1] DETECCIÓN DE CORRIENTE DIFERENCIAL EN CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA.

José Ángeles Francisco Javier, RVP-2018

[2] Interconexión a la Red Eléctrica de sistemas Fotovoltaicos hasta 30 KV.

Especificación CFE G0100-04, Agosto 2008.

[3] DISPAROS NO IDENTIFICADOS DE INTERRUPTORES DE POTENCIA CAUSAS Y MEDIDAS PREVENTIVAS

Ing. Melitón Ángeles Martínez, SIP SEP 2019

ING. MELITON ANGELES MARTINEZ.



BIOGRAFIA: Nació en San Pedro Quiatoni Oaxaca en 1953, Egresado del Instituto Tecnológico de Oaxaca en 1980 graduado como Ingeniero Industrial Electricista.

Trabajó en la Comisión Federal de Electricidad de Nov/1974 a mayo/1992 desempeñando diferentes cargos en la Región de Transmisión Sureste. Miembro

del Comité Nacional de Protecciones. Instructor de diversos cursos sobre su especialidad. Autor de varios artículos técnicos y ponente en diversos eventos. En 1991 merecedor de la Medalla ADOLFO LOPEZ MATEOS al mérito electricista por su destacado desempeño dentro de la C.F.E.

Consultor e instructor en la especialidad de protección y medición para México y Centroamérica a través de la empresa SEIPE, Actualmente se desempeña como Director de la Empresa Prellaid S de RL en la ciudad de Oaxaca Oax. México.



FRANCISCO JAVIER JOSE NANGELES

BIOGRAFIA: Nacido en la Cd. De Oaxaca en el año de 1987. Estudios de Ingeniería Mecánica Industrial en la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional Azcapotzalco del Instituto Politécnico Nacional.

Se desempeña como Jefe de Diseño y Desarrollo Eléctrico Electrónico en la Empresa Prellaid S de RL de C. V. donde ha trabajado en el desarrollo de productos Eléctricos y Electrónicos para para la industria Eléctrica, así como desarrollo de instrumentación y herramental y diseño de procesos de fabricación de los mismos.