



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones Carrera de Ingeniería en Electromecánica

“Diseño e implementación de un módulo para validar el funcionamiento de protecciones eléctricas utilizando relés digitales SIPROTEC 7SJ62”

Trabajo de unidad de integración curricular previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Autores: Intriago Moreno, Richier Anthony
Robayo Jácome, Eddy Joel

raintriago, ejrobayo [@espe.edu.ec]

Tutor: Ing. Ortiz Villalba, Diego Edmundo, MSc, PhD.

ddortiz5 [@espe.edu.ec]



AGENDA:



MOTIVACIÓN

En el contexto de un mundo cada vez más interconectado y dependiente de la energía eléctrica, es crucial contar con una infraestructura académica que permita simular escenarios de fallas reales.

Tras la evolución de la tecnología, los SEP modernos emplean protecciones eléctricas más eficientes y rápidas

Los relés de protección son dispositivos compactos que son reconocidos como el núcleo central de un SEP, aplicados en diversos elementos como: transformadores, generadores, líneas de transmisión y barras.



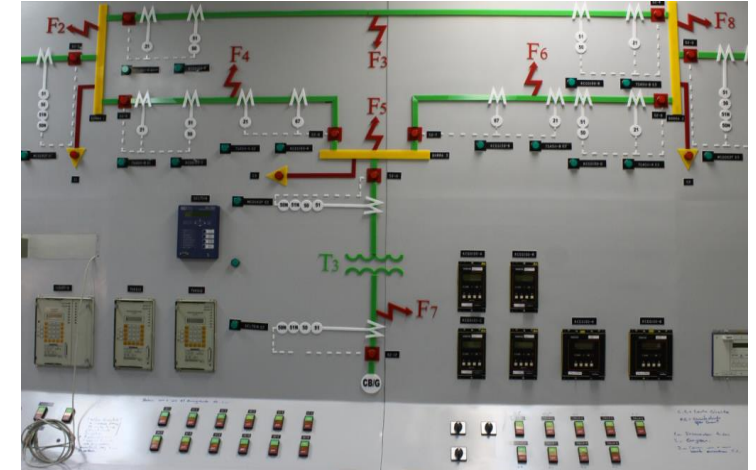
MOTIVACIÓN

La institución carece de los recursos necesarios para llevar a cabo ejercicios prácticos relacionados con las protecciones eléctricas mediante el uso de relés digitales.

Existen relés numéricos de protección multifuncional que pertenecen a la línea SIPROTEC 7SJ62 de marca Siemens donados por una empresa eléctrica

Estos relés ofrecen diversas funciones, incluyendo protección para líneas, generadores, transformadores y motores, lo que podría beneficiar a una nueva generación de profesionales formados en la institución.

Para subsanar esta limitación, se propone crear un módulo didáctico de protecciones eléctricas utilizando los relés SIPROTEC 7SJ62 de Siemens.



AGENDA:



OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar y construir un módulo de protecciones eléctricas basado en los relés SIPROTEC 7SJ62 de Siemens utilizando las funciones de sobrecorriente (50/51) y subfrecuencia (81), para el desarrollo de prácticas de laboratorio de protecciones eléctricas con el propósito de fortalecer la comprensión integral de los conocimientos impartidos en cátedra.

Objetivos específicos

- Diseñar y construir un módulo para realizar prácticas de laboratorio del curso de protecciones eléctricas utilizando los relés SIPROTEC 7SJ62 con el propósito de validar los conocimientos adquiridos en clases.
- Diseñar, simular y validar una práctica del funcionamiento del relé de frecuencia (81), en donde se apliquen los conceptos revisados en cátedra, para fortalecer los conocimientos adquiridos con la implementación en el módulo de práctica de laboratorio.
- Diseñar, simular y validar una práctica del funcionamiento del relé de sobrecorriente (50/51), revisando los contenidos vistos en cátedra, para fortalecer los conocimientos adquiridos con la implementación del módulo de prácticas de laboratorio.
- Elaborar manuales de laboratorio que donde se documente las prácticas ejecutadas, mediante el desarrollo de un instructivo detallado sobre cada actividad, para que los alumnos implementen de manera efectiva las configuraciones de protecciones eléctricas.



AGENDA:



THEORETICAL BACKGROUND

Sistemas de protección eléctrica

Su propósito principal es detectar y despejar las fallas ocurridas en el menor tiempo, y aislando la zona más pequeña posible. En un SEP conviven distintos entornos, llamados también contextos prácticos de estudio, donde cada uno tiene su propia escala de tiempo, diferentes problemas por resolver (o sub-problemas), y cuentan con la participación de los operadores del sistema y/o expertos en el campo específico

Relés de Protección

Un relé de protección es un dispositivo que identifica cualquier alteración en la señal que recibe, comúnmente proveniente de una fuente de corriente o voltaje. Cuando la magnitud de la señal de entrada excede un valor predeterminado, el relé ejecutará una acción específica

Relés Electromecánicos

Relés de Estado Sólido

Relés IED's



THEORETICAL BACKGROUND

Tipos de relés de protección en sistemas eléctricos de potencia

| ANSI/ IEEE | Nombre | ANSI/ IEEE | Nombre |
|------------|--------------------------------------|------------|-----------------------------------|
| 50 | Sobrecorriente instantánea | 59 | Sobretensión |
| 51 | Sobrecorriente de tiempo dependiente | 27 | Subtensión |
| 50 N | Sobrecorriente de neutro instantánea | 21 | Impedancia de fase – distancia |
| 51 N | Sobrecorriente de neutro temporizada | 21N ó 21G | Impedancia de tierra – distancia |
| 67 | Sobrecorriente de fase direccional | 81 | Subfrecuencia y sobrefrecuencia |
| 67N | Sobrecorriente de tierra direccional | 40 | Pérdida de excitación |
| 87 | Sobrecorriente diferencial | 24 | Sobreexcitación – Volts por Hertz |



THEORETICAL BACKGROUND

Tipos de falla en líneas de transmisión

Una falla en un circuito es cualquier evento que interfiere con el flujo normal de corriente

Tipos de Fallas (corto-circuito)

- Simétricos o trifásicos
- Asimétricos
 - Monofásicos (L-T) línea - tierra
 - Bifásicos (L-L) línea - línea
 - Bifásico a tierra (L-L-T) línea-línea-tierra

Cálculo de corriente simétrica de cortocircuito

La magnitud simétrica de la corriente de falla se determina en relación con los componentes presentes en la trayectoria del cortocircuito, y se expresa mediante la ley de Ohm:

$$I_{sc_C} = \frac{V_L}{\sqrt{3} (Z_T)}$$

Donde:

I_{sc_C} : Corriente de cortocircuito simétrica trifásica

V_L : Tensión de línea

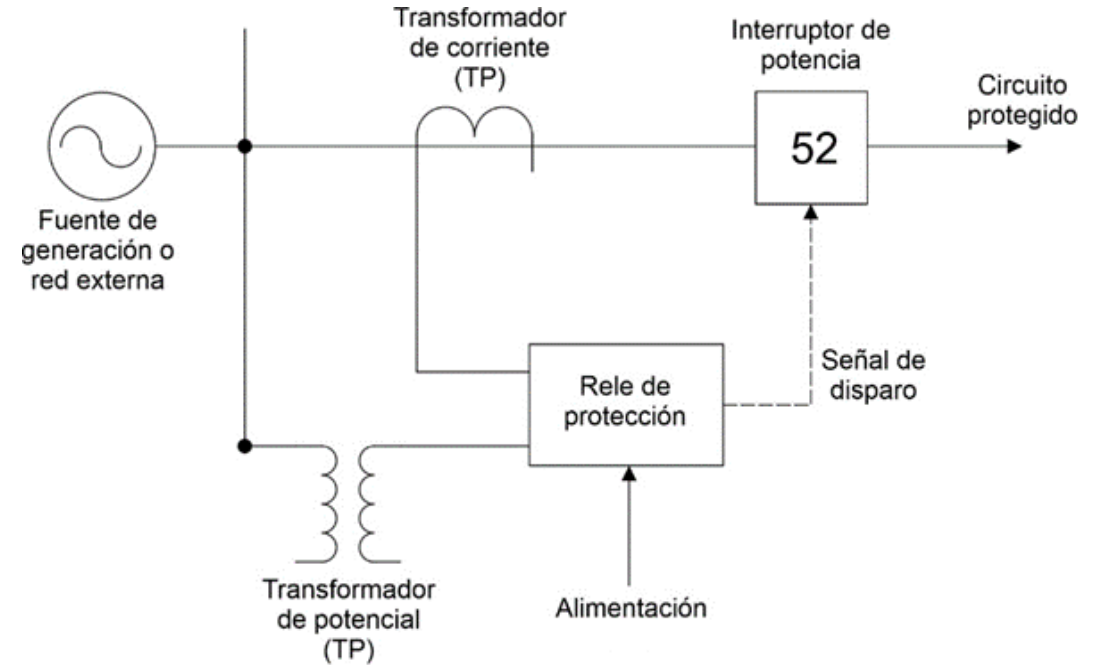
Z_T : Impedancia total del sistema



THEORETICAL BACKGROUND

Relé de sobrecorriente

los relés de protección de sobrecorriente son elementos capaces de detectar fallas en el sistema que produzcan corrientes excesivas y poder desconectarla acorde a los ajustes realizados.



Relé de sobrecorriente de fases 50/51P

El relé de sobrecorriente 50/51P de fases es usado paroperar cuando la corriente supera un valor preestablecido, La función 50 actúa contra sobrecorrientes instantáneas, mientras que la función 51 protege contra sobrecargas prolongadas.



THEORETICAL BACKGROUND

Estabilidad de frecuencia

La capacidad del sistema para mantener un valor de frecuencia constante durante el tiempo frente a perturbaciones.

Cuando aparece una deficiencia en el sistema eléctrico, como la desconexión de un generador, variación de la carga o una falla, se produce un desequilibrio entre la potencia generada y consumida.

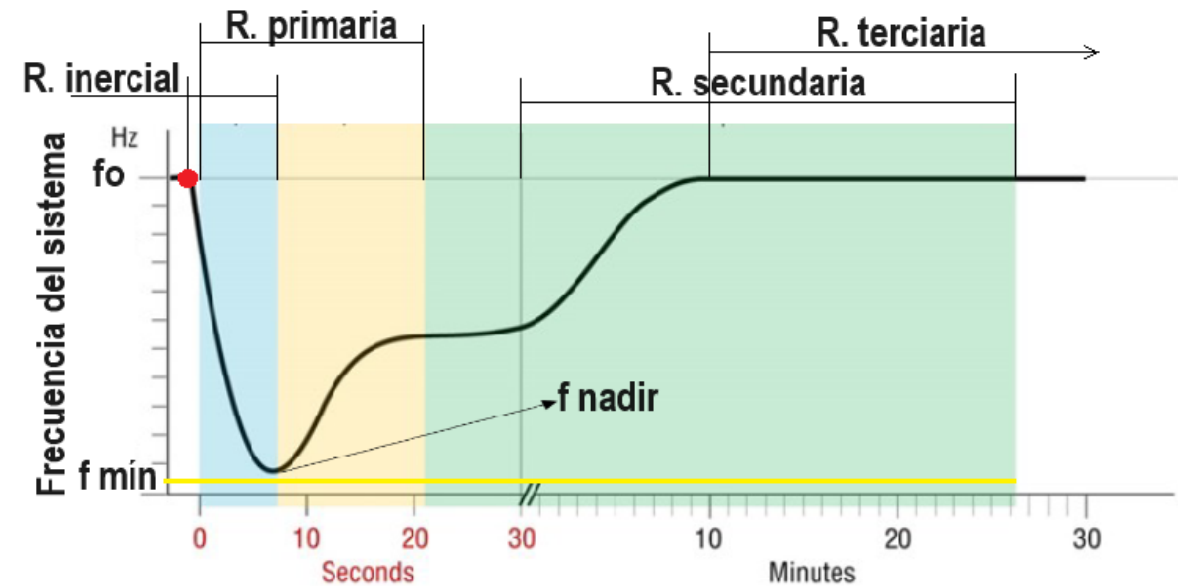
$$P_A = P_M - P_E$$

Donde:

P_A : es la potencia de aceleración o desaceleración, es decir la sobrecarga en MW desequilibrio que existe en el sistema.

P_M : es la potencia mecánica en MW.

P_E : es la potencia eléctrica en MW.



$$\frac{df}{dt} = \frac{P_A f_0}{2GH} \left[\frac{\text{Hz}}{\text{s}} \right]$$

G: es el potencial nominal (base) de la máquina bajo estudio en MVA

H: es la constante de inercia en MJ/MVA o $\text{MW} \cdot \text{sec} / \text{MVA}$.

δ : es el ángulo de torque de la máquina síncrona

f_0 : frecuencia nominal en Hz



THEORETICAL BACKGROUND

Relé de frecuencia 81

El relé para protección de frecuencia es un dispositivo que tiene como objetivo detectar sobrefrecuencias o subfrecuencias en la red o en máquinas eléctricas, midiendo y controlando la frecuencia del SEP para poder estabilizarlo.

Esquema de Desconexión Automática de Carga (EDAC)

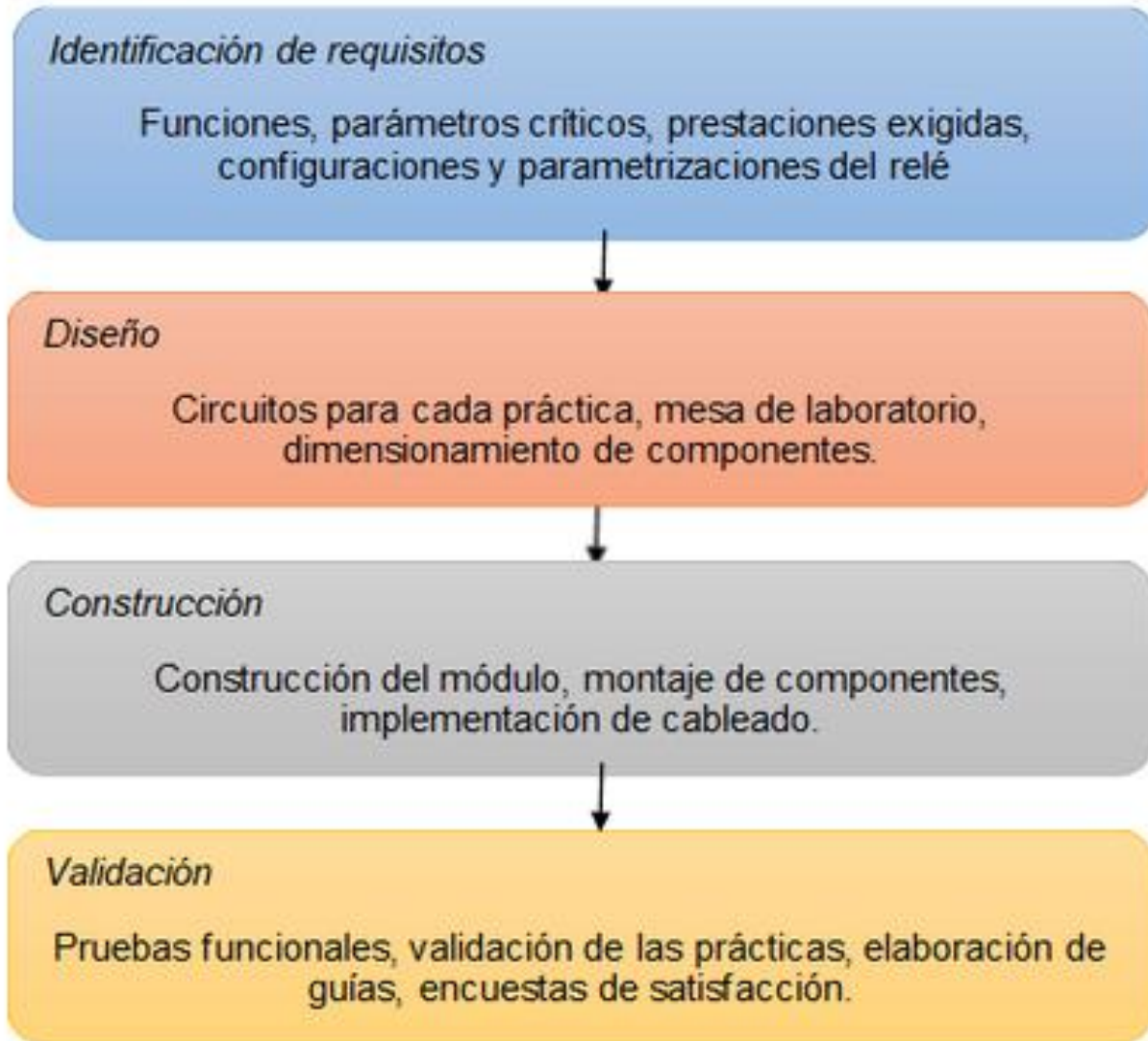
ayudar a que el desbalance producido entre carga y generación no sea tan pronunciado evitando caídas más rápidas de frecuencia



AGENDA:



METODOLOGÍA



AGENDA:

AGENDA:

- MOTIVACIÓN
- OBJETIVOS
- THEORETICAL BACKGROUND
- METODOLOGÍA
- ANÁLISIS DE RESULTADOS**
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES



RESULTADOS

RESULTADOS

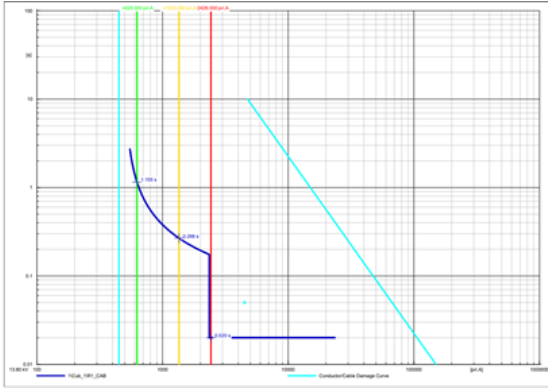
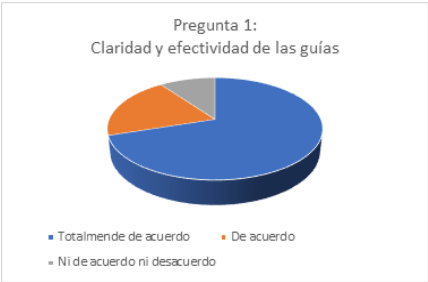
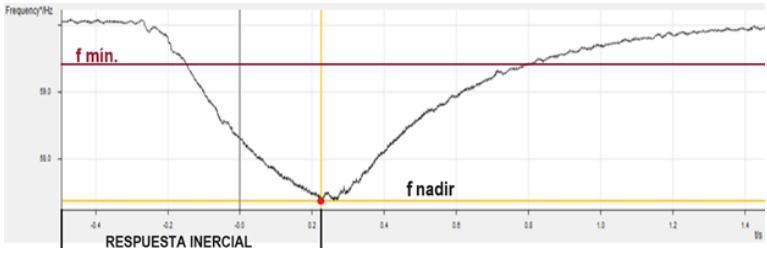
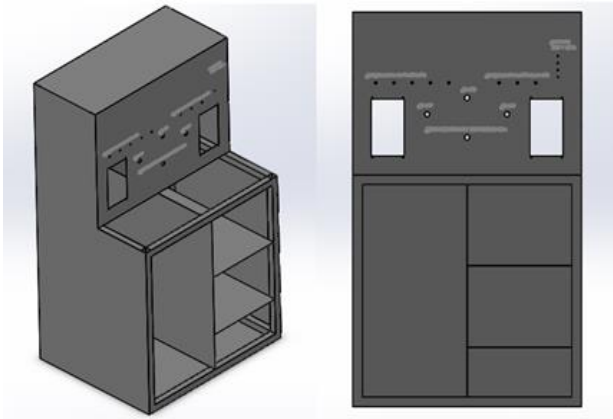
En el presente capítulo se analizan los productos obtenidos al implementar la metodología

Módulo de protecciones eléctricas

Práctica sobre el módulo para sobrecorriente

Práctica de subfrecuencia para un generador síncrono

Evaluación del grado de satisfacción



RESULTADOS

Datos generales del equipo.

Entradas analógicas:

| Alimentación | |
|--------------------|---------------------------------------------|
| Tensión nominal | 115 V~ (92 a 132 V) 230 V~ (184 a 265 V) |
| Potencia consumida | 9 VA |
| Consumo | 0,3 VA (para 100V) |

| Salidas binarias | |
|----------------------------------|-------------|
| Relés de salida | 8 NO y 1 NC |
| Tensión de conmutación | 250V |
| Corriente admisible por contacto | 5A |
| Potencia de conexión | 1000 W |

| Entradas de corriente | |
|-----------------------|---------------------------|
| Frecuencia nominal | 50 Hz o 60 Hz (ajustable) |
| Corriente nominal | 1 A o 5 A |
| consumo por fase: | |
| Para 1 A | 0,05 VA |
| Para 5 A | 0,3 VA |

| Entradas de Tensión | |
|---------------------|--------------------------|
| Tensión nominal | 100V a 225 V (ajustable) |
| Campo de medida | 0 V a 170 V |
| Consumo | 0,3 VA (para 100V) |



RESULTADOS

Identificación de parámetros

Para la práctica de sobrecorriente se tiene los siguientes parámetros ajustables:

| Dirección | Parámetro | Posibilidad de ajuste | Descripción |
|-----------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1201 | Phase time overcurrent | ON/OFF | Protección de sobrecorriente en las fases |
| 1202 | I>> Pickup | 0.1 – 35 A; ∞ | Corriente de arranque (disparo), escalón alta intensidad |
| 1203 | T I>> | 0 – 60 s; ∞ | Temporización, escalón alta intensidad |
| 1204 | I> Pickup | 0.1 – 35 A; ∞ | Corriente de arranque (disparo), escalón intensidad |
| 1205 | T I> | 0 – 60 s; ∞ | Temporización, escalón alta intensidad |
| 1207 | I _p Pick up | 0.1 – 4 A; | Valor mínimo de arranque |
| 1209 | Time Dial: TD | 0.5 – 15 s; ∞ | Factor de tiempo D (Time Dial) |
| 1212 | ANSI curve | Muy inversa; Inversa; Inversa Corta ;Inversa Larga; Moderadamente inversa; Extremada. inv; Inv.Definida | Características de disparo de las curvas ANS |



RESULTADOS

Identificación de parámetros

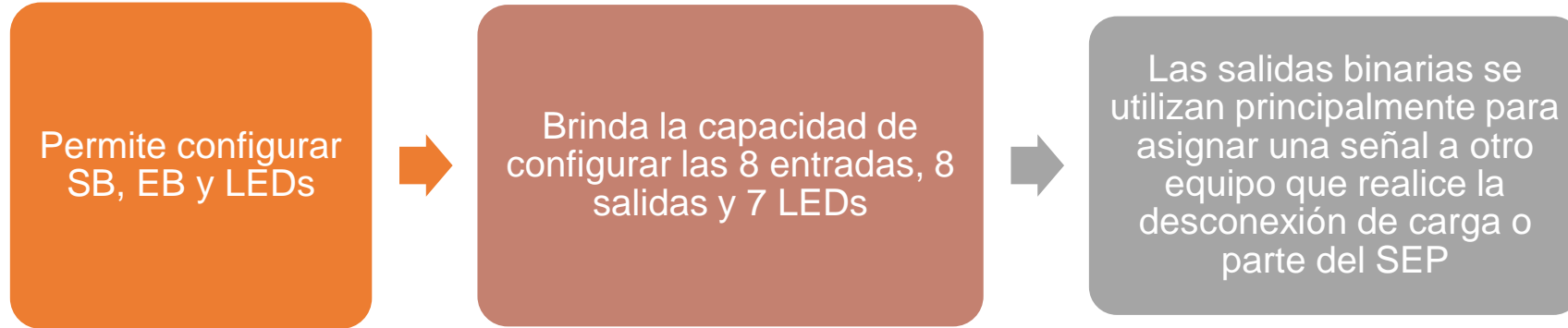
Para la práctica de subfrecuencia se tiene los siguientes parámetros ajustables:

| Dirección | Parámetro | Posibilidad de ajuste | Descripción |
|-----------|-----------------|-----------------------|--------------------------------|
| 5401 | PROT.FRECUENCIA | Desactivar; Activar | Protección de frecuencia |
| 5402 | U mín | 10 .. 150 V | Mínima Tensión |
| 5404 | Escalón f1 | 55.50 .. 64.50 Hz | Valor de ajuste escalón f1 |
| 5405 | T f1 | 0.00 .. 100.00 s; oo | Temporización del escalón T f1 |
| 5407 | Escalón f2 | 55.50 .. 64.50 Hz | Valor de ajuste escalón f2 |
| 5408 | T f2 | 0.00 .. 100.00 s; oo | Temporización del escalón T f2 |
| 5410 | Escalón f3 | 55.50 .. 64.50 Hz | Valor de ajuste escalón f3 |
| 5411 | T f3 | 0.00 .. 100.00 s; oo | Temporización del escalón T f3 |
| 5413 | Escalón f4 | 55.50 .. 64.50 Hz | Valor de ajuste escalón f4 |
| 5414 | T f4 | 0.00 .. 100.00 s; oo | Temporización del escalón T f4 |



RESULTADOS

MASKING I/O



| | Información | | | | Origen | | Destino | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------|------------------|-----------------------------------------|------|--------|-------|---------|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|--------|---|---|----|----|----|---|--|
| | Número | Texto en cuadro | Texto en DIGSI | Tipo | EB | F S C | SB | | | | | | | | LED | | | | | | Buffer | S | C | M | | | | |
| | | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | P | T | R | | | | |
| Osc. Fault Rec. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | * | * | * | * | |
| P.System Data 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | * | * | * | * | |
| Overcurrent | 01761 | Overcurrent PU | Time Overcurrent picked up | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01791 | Overcurrent TRIP | Time Overcurrent TRIP | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | | |
| | 01704 | >BLK Phase O/C | >BLOCK Phase time overcurrent | AI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | E | | |
| | 01721 | >BLOCK l> | >BLOCK l> | AI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01722 | >BLOCK l> | >BLOCK l> | AI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01723 | >BLOCK lp | >BLOCK lp | AI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01751 | O/C Phase OFF | Time Overcurrent Phase is OFF | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | | | |
| | 01752 | O/C Phase BLK | Time Overcurrent Phase is BLOCKED | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | ES | | |
| | 01753 | O/C Phase ACT | Time Overcurrent Phase is ACTIVE | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | | | |
| | 01762 | O/C Ph L1 PU | Time Overcurrent Phase L1 picked up | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | |
| | 01763 | O/C Ph L2 PU | Time Overcurrent Phase L2 picked up | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | |
| | 01764 | O/C Ph L3 PU | Time Overcurrent Phase L3 picked up | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | |
| | 01800 | l>> picked up | l>> picked up | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | | |
| | 01805 | l>> TRIP | l>> TRIP | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | E | X | |
| | 01810 | l> picked up | l> picked up | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | | |
| | 01815 | l> TRIP | l> TRIP | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | E | X | |
| | 01820 | lp picked up | lp picked up | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | | |
| | 01825 | lp TRIP | lp TRIP | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | E | | |
| | 01804 | l>> Time Out | l>> Time Out | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01814 | l> Time Out | l> Time Out | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01824 | lp Time Out | lp Time Out | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01852 | l>> BLOCKED | l>> BLOCKED | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | ES | | | |
| 01851 | l> BLOCKED | l> BLOCKED | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | ES | | | |
| 01895 | lp BLOCKED | lp BLOCKED | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | ES | | | |
| Frequency Prot. | 05203 | >BLOCK Freq | >BLOCK Frequency Protection | AI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | |
| | 05206 | >BLOCK F1 | >BLOCK F1 | AI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | | |
| | 05207 | >BLOCK F2 | >BLOCK F2 | AI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | | |
| | 05208 | >BLOCK F3 | >BLOCK F3 | AI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | | |
| | 05209 | >BLOCK F4 | >BLOCK F4 | AI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | | |
| | 05211 | Freq OFF | Frequency Protection is OFF | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | | | |
| | 05212 | Freq BLOCKED | Frequency Protection is BLOCKED | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | ES | X | | |
| | 05213 | Freq ACTIVE | Frequency Protection is ACTIVE | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | | | |
| | 05214 | Freq UnderV Blk | Frequency Protection Under Voltage Blk. | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | ES | | | |
| | 05232 | F1 picked up | F1 picked up | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | | |
| | 05233 | F2 picked up | F2 picked up | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | | |
| | 05234 | F3 picked up | F3 picked up | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | | |
| | 05235 | F4 picked up | F4 picked up | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ES | X | | |
| | 05236 | F1 TRIP | F1 TRIP | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | E | X | | |
| 05237 | F2 TRIP | F2 TRIP | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | E | X | | | |
| 05238 | F3 TRIP | F3 TRIP | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | E | X | | | |
| 05239 | F4 TRIP | F4 TRIP | AS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | E | X | | | |
| Measuram Superv | | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | | | | * | * | * | * | * | |
| Ctrl Authntc | | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | | | | * | * | * | * | * | |



RESULTADOS

Resistencias

Se realiza el cálculo y dimensionamiento de resistencias

Se fabrican las resistencias con los valores exactos

Se realizan pruebas que aseguran la funcionalidad de nuestras resistencias.

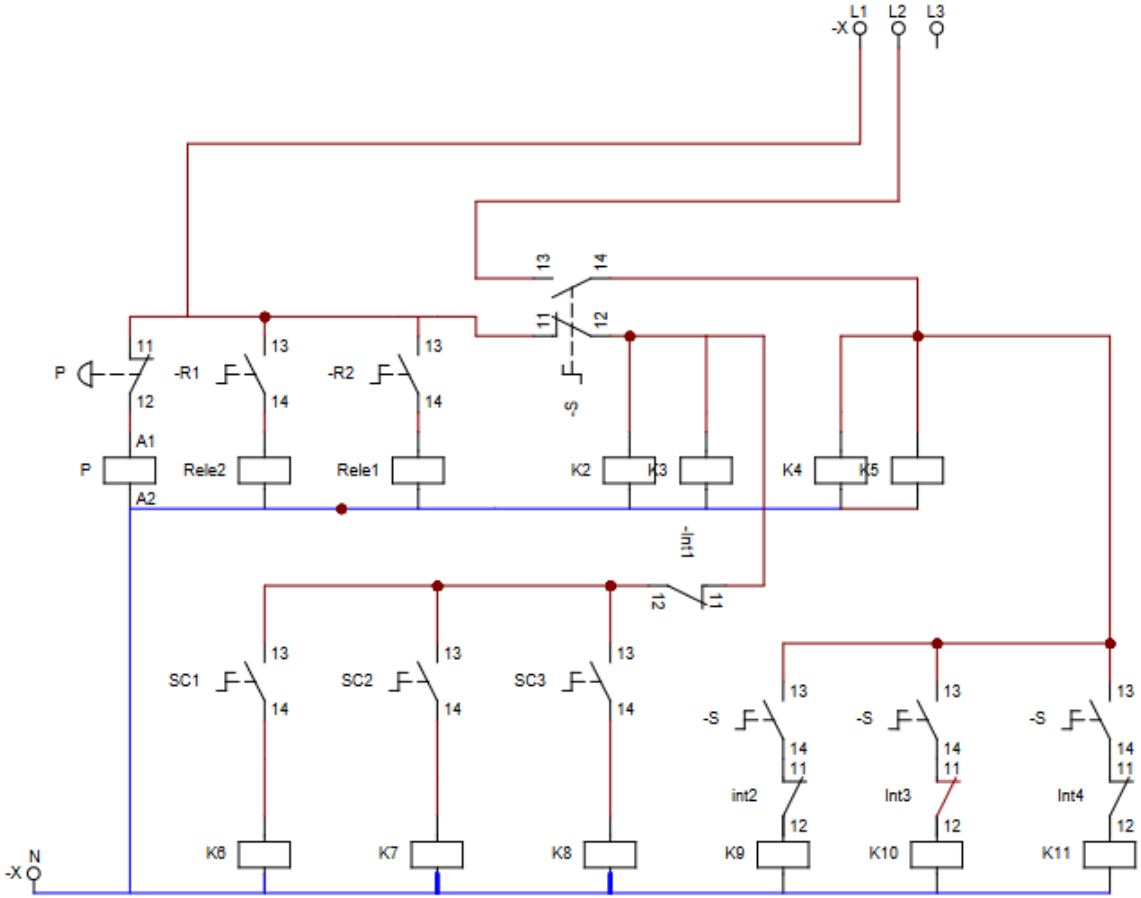
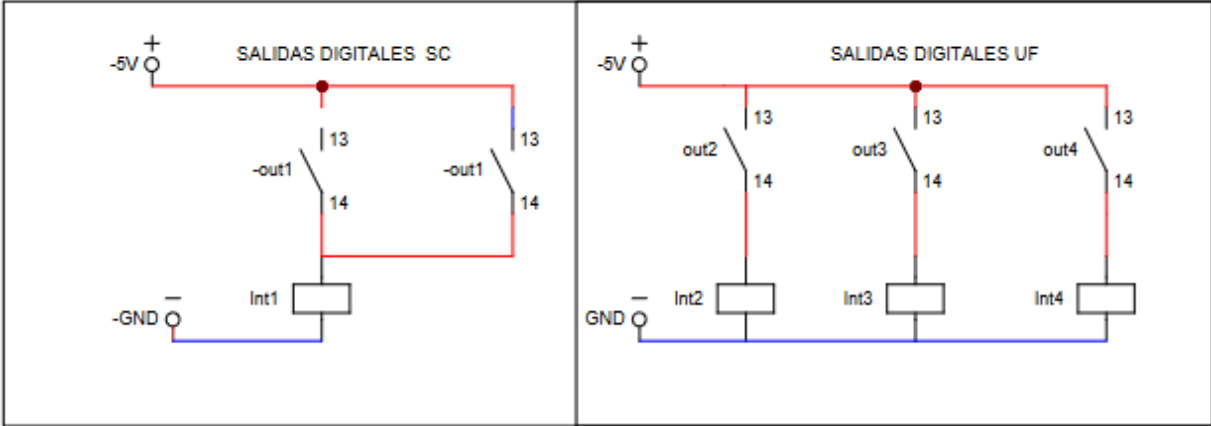
| Resistencia (ohm) | Potencia calculada (W) | Potencia adquirida (W) |
|-------------------|--------------------------------|------------------------|
| 24 | $24(5^2) = 600$ | 700 |
| 276 | $276(0.4^2) = 44.16$ | 100 |
| 97 | $97(0.93^2) = 83.9$ | 150 |
| 27 | $27(2.24^2) = 135.5 \text{ W}$ | 150 |

| Resistencia (ohm) | Potencia calculada (W) | Potencia adquirida (W) |
|-------------------|------------------------|------------------------|
| 3800 | $120^2/3800 = 3.79$ | 10 |
| 3600 | $120^2/3600 = 4$ | 10 |
| 3400 | $120^2/3400 = 4.24$ | 15 |



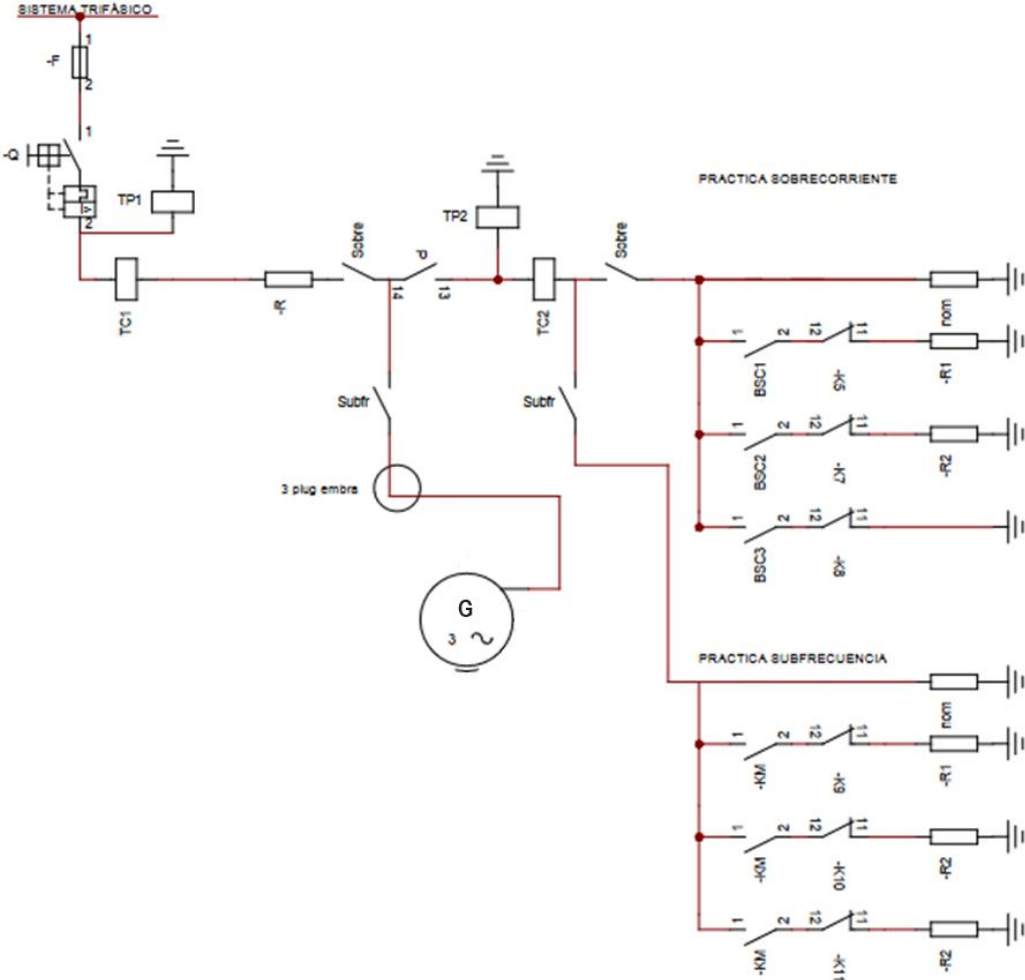
RESULTADOS

PLANOS ELECTRICOS

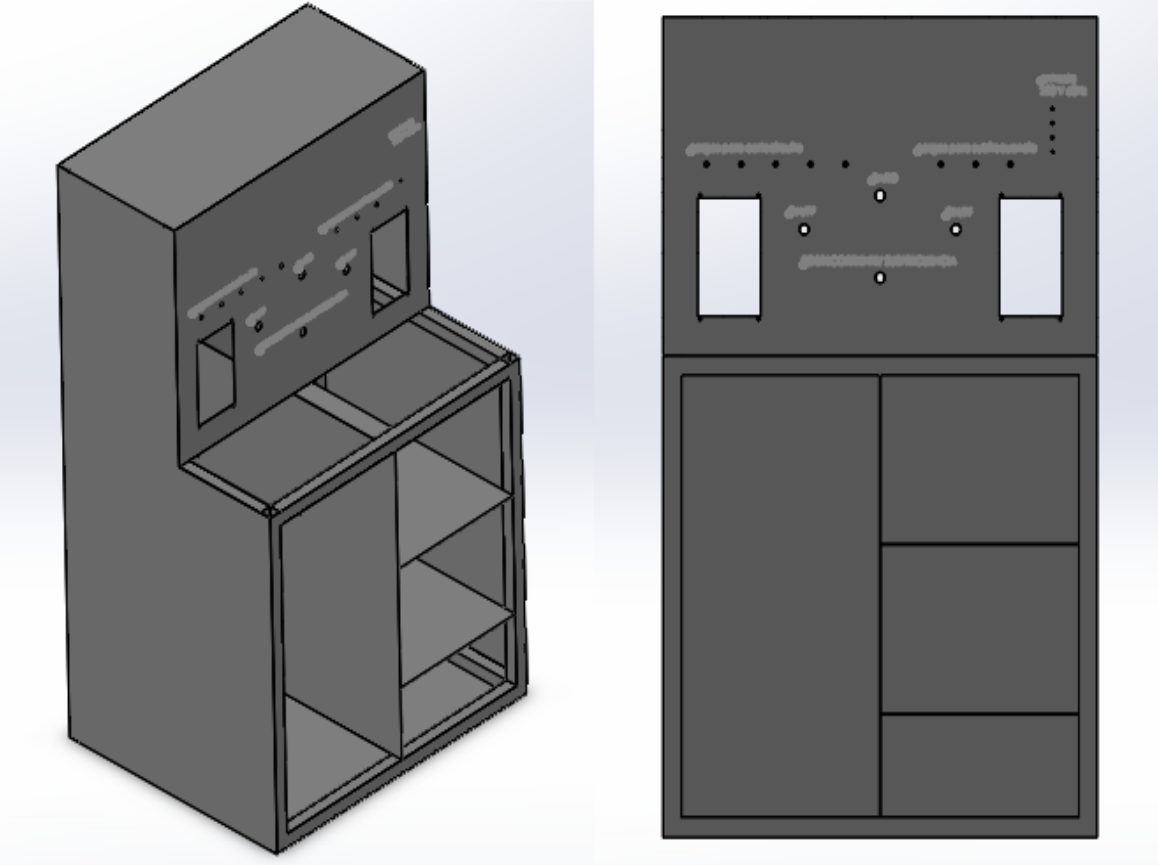


RESULTADOS

PLANOS ELECTRICOS

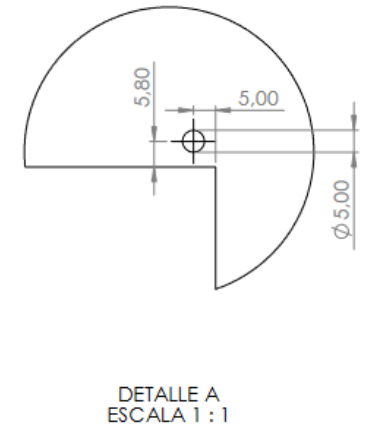
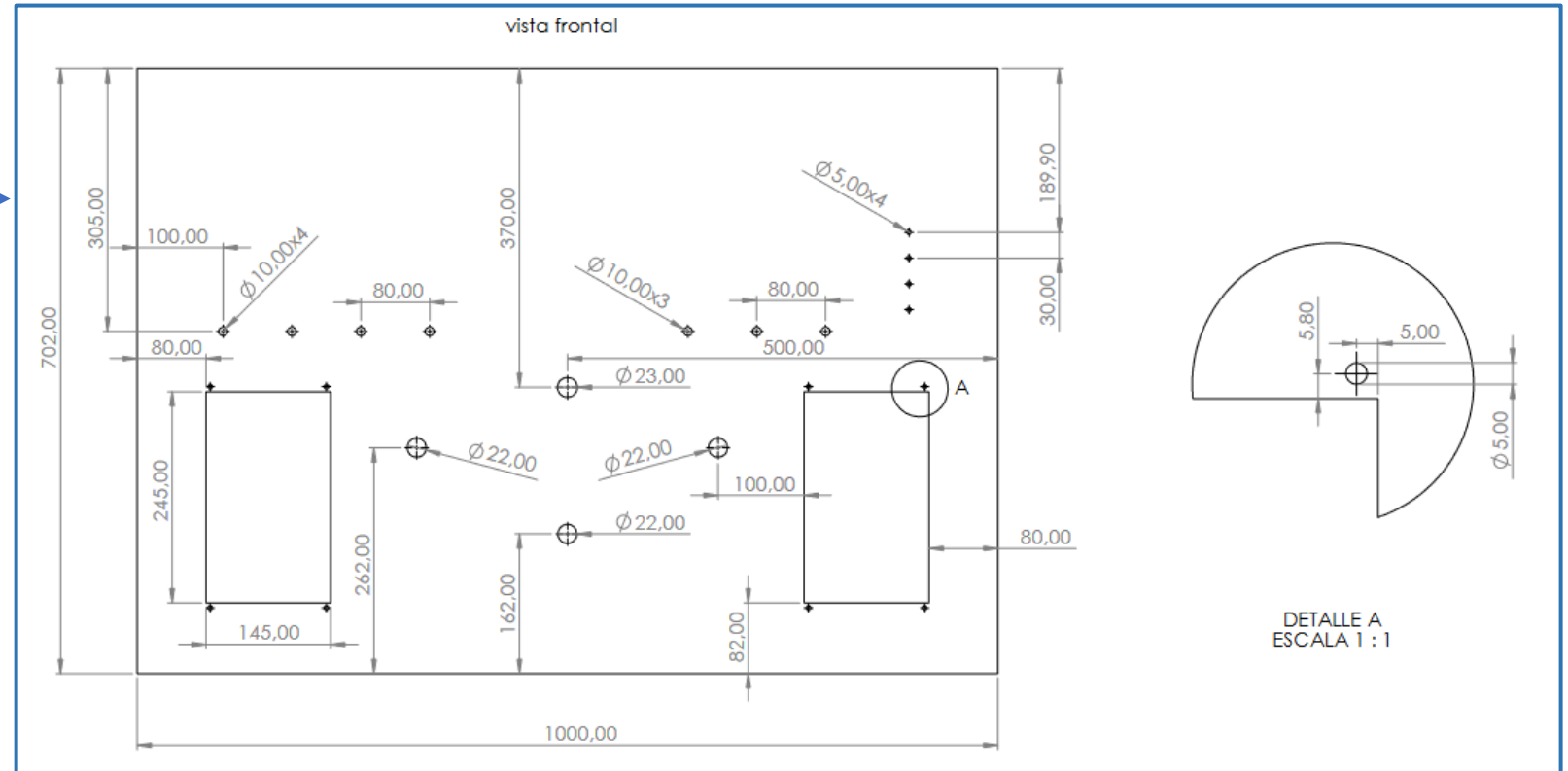
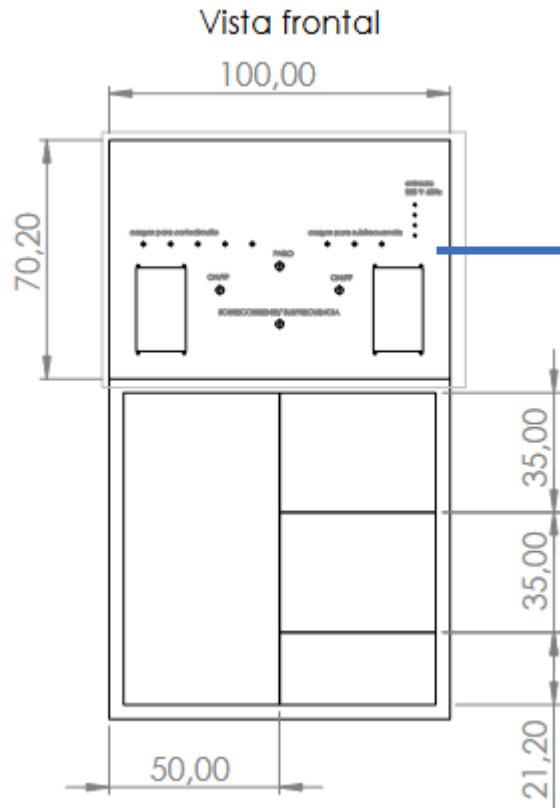


PLANOS MECÁNICOS



RESULTADOS

PLANOS MECÁNICOS



RESULTADOS

Módulo

Se tiene un módulo para realizar prácticas de protecciones eléctricas con la función de sobrecorriente (50/51) y subfrecuencia (81), el cual tiene características ergonómicas, robustas e intuitivas.

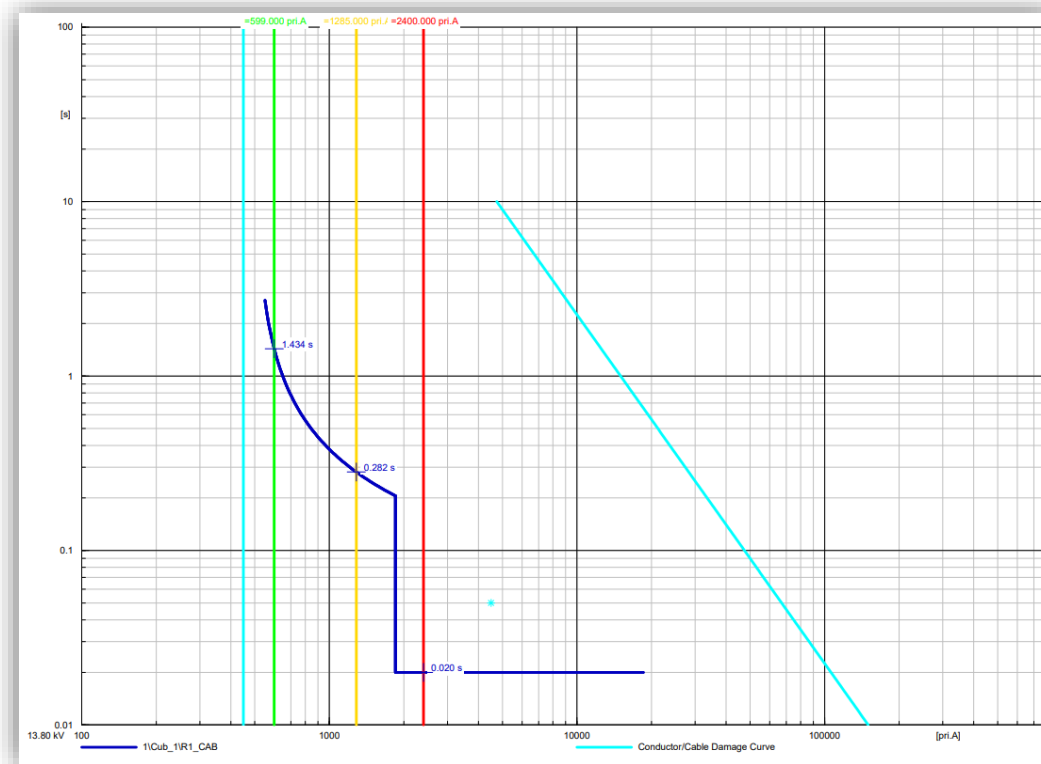


RESULTADOS

Práctica sobre el módulo con un relé

El primero de ellos contempla una sola protección en la cabecera del SEP, a través del software Power Factory DIgSILENT se simula el SEP, para observar con precisión los tiempos de disparo en cada situación de falla.

Se tiene una unidad de tiempo definido y una curva moderadamente inversa de ANSI para la unidad temporizada.



RESULTADOS

Práctica sobre el módulo con un relé

Se dispone de una baja falla entre los tiempos calculados y los tiempos medidos, las dos primeras fallas actúan bajo la curva de tiempo inverso, mientras que la tercera falla bajo la unidad de tiempo instantáneo la cual. Los tiempos muestran una baja discrepancia contrastando los tiempos medidos con los calculados.

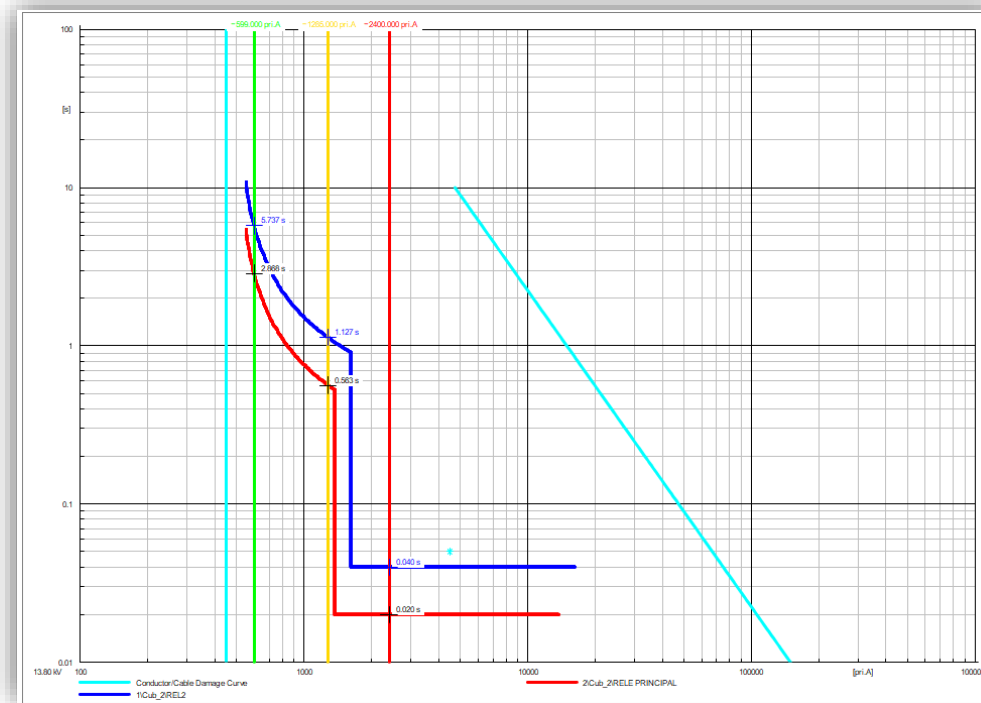
| Falla | Valor medido (ms) | Valor calculado (ms) |
|-----------|-------------------|----------------------|
| I_{sc1} | 1491 | 1434 |
| I_{sc2} | 294 | 282 |
| I_{sc3} | 12 | 0 |



RESULTADOS

Práctica de protección con dos relés

En el caso de la protección de sobrecorriente en cascada con dos relés, en ningún momento las curvas se cruzan o traslapan y bajo condiciones controladas de prueba de falla, no se presentaron falsos disparos para ningún nivel de corriente en el relé de respaldo.



RESULTADOS

Práctica sobre el módulo con dos relés

Los tiempos de disparo para los dos relés, el principal y el de respaldo, muestran una discrepancia en los tiempos muy bajos, la falla en I_{sc1} e I_{sc2} actúan bajo la curva de tiempo inverso. En la falla tres, actúa bajo la unidad instantánea por lo que solo hay un tiempo de error pequeño por el tiempo de activación de los contactos.

| Relé Principal | | |
|----------------|--------------|---------------------------------|
| Falla | Valor medido | Valor calculado P. principal |
| I_{sc1} | 3064 | 2868 |
| I_{sc2} | 615 | 563 |
| I_{sc3} | 1 | 0 |

| Relé de Respaldo | | |
|------------------|--------------|----------------------------------|
| Falla | Valor medido | Valor calculado P. secundaria |
| I_{sc1} | 6178 | 5737 |
| I_{sc2} | 1252 | 1127 |
| I_{sc3} | 2 | 0.02 |



RESULTADOS

Práctica de protección contra subfrecuencia.

La segunda práctica que se realiza es la de subfrecuencia para un generador síncrono.

| | |
|-------------------------------------------|------------------------|
| potencia de la placa del generador | S: 120 VA= 0.00012 MVA |
| Velocidad | 1800 rpm |
| frecuencia nominal | $f_0=60$ Hz |
| potencia de desconexión de carga | $P_A = P_M - P_E$ |

| Prioridad | Descripción | Potencia |
|------------------|--------------------|-----------------|
| 1 | Load 1 | 11.37 W |
| 2 | Load 2 | 12 W |
| 3 | Load 3 | 12.71 W |

Se pueden comparar los resultados calculados y los que resultaron de la práctica:

| Escalones de frecuencia | Tiempo de disparo | Tiempo de disparo real |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| | seleccionado | |
| 59.4 Hz | 0.3 s | 0.3 s |
| 58.8 Hz | 0.2 s | 0.29 s |
| 57.8 Hz | 0.0 s | 0.187 s |



RESULTADOS

| Tiempo [seg] | Frecuencia [Hz] | Evento | Tasa de cambio de frecuencia [Hz] | Sobrecarga en el sistema [W] |
|-----------------|--------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 0.00 | 60 | Sobrecarga en el SEP | -12.685 | 36.1 |
| 0.047 | 59.4 | Pick-up de primer escalón del relé | -12.685 | 36.1 |
| 0.095 | 58.8 | Pick-up de segundo escalón del relé | -12.685 | 36.1 |
| 0.173 | 57.8 | Pick-up de tercer escalón del relé | -12.685 | 36.1 |
| 0.197 | 57.5 | Primer estado de desconexión de carga | -8.69 | 24.73 |
| 0.245 | 57.08 | Segundo estado de desconexión de carga | -4.473 | 12.73 |
| 0.323 | 56.73 | Tercer estado de desconexión de carga | -0.00 | 0.02 |



RESULTADOS

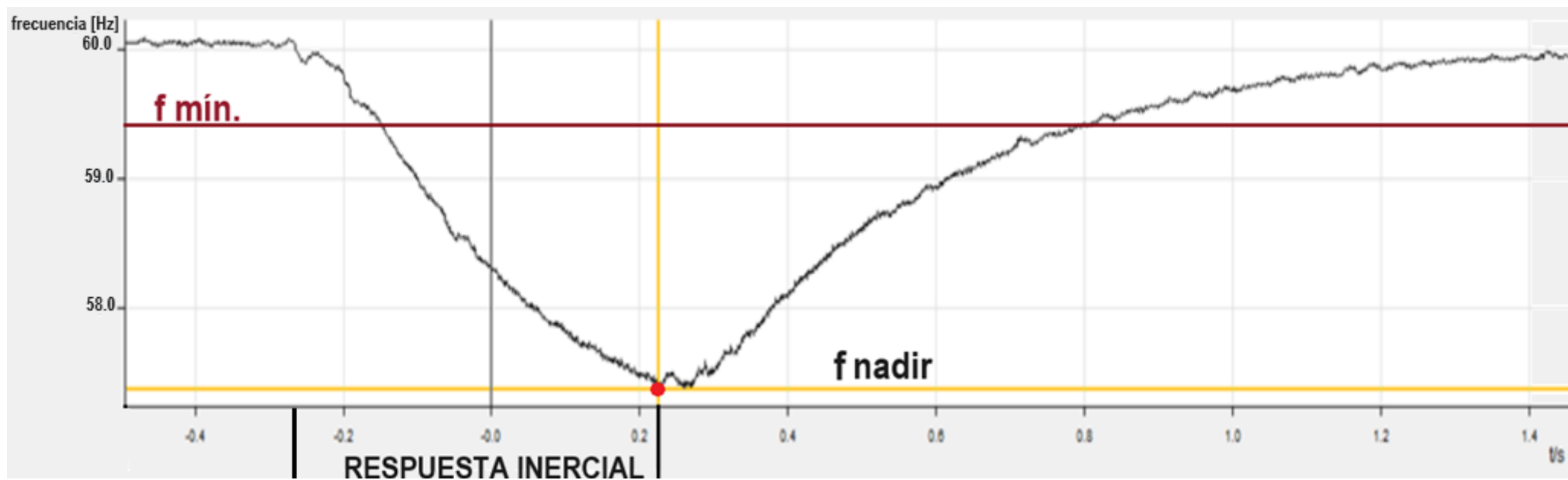
Análisis de la oscilografía tras la detección de la falla de subfrecuencia

A través del software SIGRA, se puede observar con claridad la gráfica de frecuencia registrada durante estas pruebas.

Al conectar las 3 cargas, el sistema experimenta una frecuencia mínima de 57,3 Hz

Esto activa los EDAC, restableciendo así la frecuencia nominal del sistema después de 1.8 segundos desde que se produjo la sobrecarga.

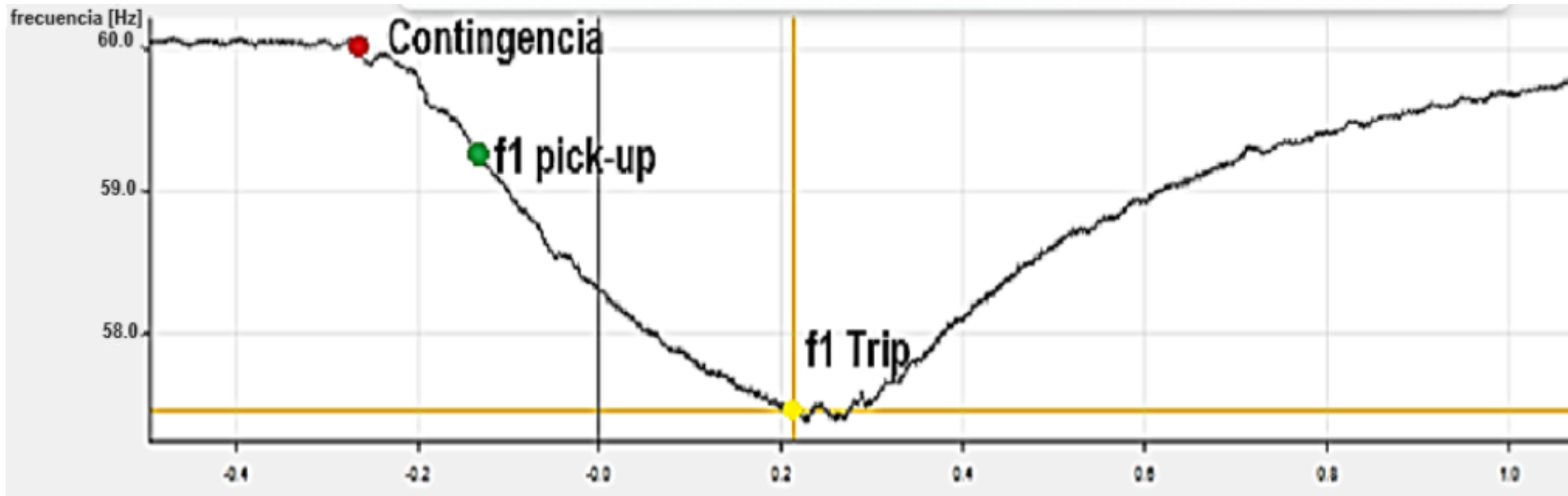
Además, se puede observar que la respuesta inercial dura aproximadamente 0.5 segundos.



RESULTADOS

Escalón de frecuencia F1

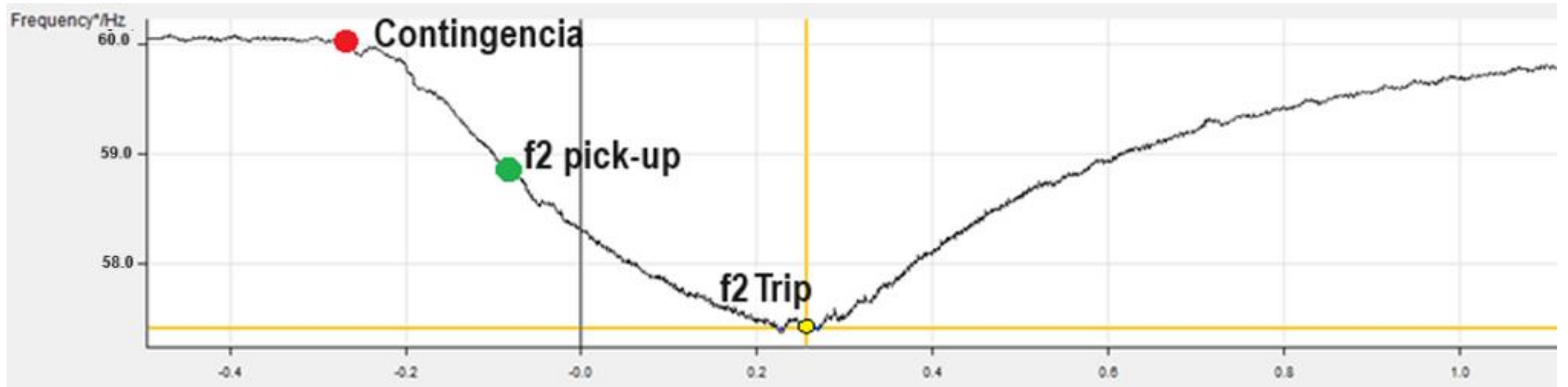
La frecuencia de pick-up para el primer escalón que es de 59.4 Hz se da a los 87 ms de conectar la sobrecarga y luego de 30 milisegundos de cruzar dicho umbral se da el desprendimiento de la primera carga



RESULTADOS

Escalón de frecuencia F2

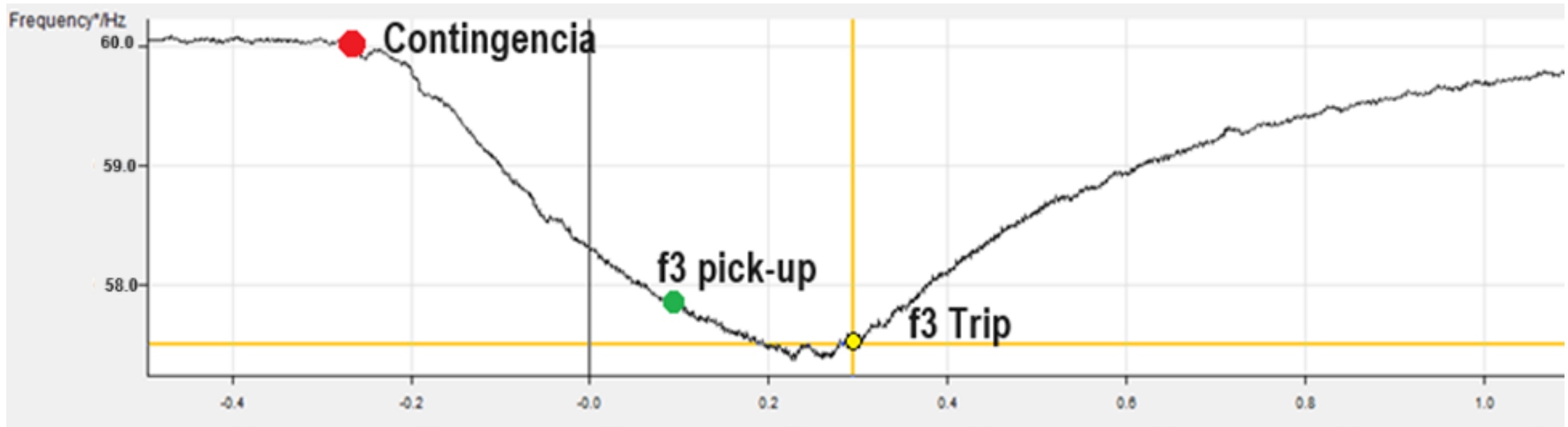
La frecuencia de pick-up para el segundo escalón que es de 58.8 Hz se da a los 144 ms de conectar la sobrecarga y luego 0.28 segundos aproximadamente de detectar la frecuencia se da el desprendimiento de la segunda carga



RESULTADOS

Escalón de frecuencia F3

La frecuencia de pick-up para el tercer escalón que es de 57.8 Hz se da a los 210 ms de conectar la sobrecarga y luego 0.17 segundos de pasar el umbral de frecuencia se da el desprendimiento de la tercera carga

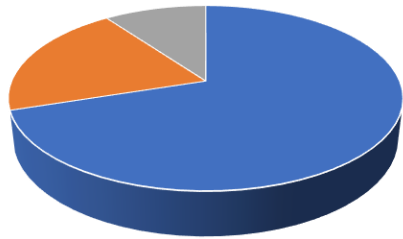


RESULTADOS

Encuesta de satisfacción

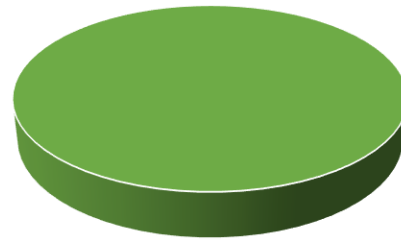
- Se analiza la encuesta de satisfacción a una muestra de diez estudiantes tras completar la práctica de sobrecorriente y subfrecuencia.

Pregunta 1:
Claridad y efectividad de las guías



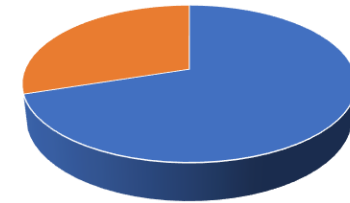
■ Totalmente de acuerdo ■ De acuerdo
■ Ni de acuerdo ni desacuerdo

Pregunta 2:
Aplicabilidad en entornos reales



■ Totalmente de acuerdo ■ De acuerdo
■ Ni de acuerdo ni desacuerdo

Pregunta 3:
Relación conceptos prácticos y de cátedra



■ Totalmente de acuerdo ■ De acuerdo
■ Ni de acuerdo ni desacuerdo



AGENDA:



CONCLUSIONES

- La creación exitosa del módulo representa un avance significativo en el desarrollo de recursos didácticos para la enseñanza y comprensión de conceptos de protecciones eléctricas, brindando a los estudiantes la oportunidad de experimentar los principios fundamentales de forma práctica.
- El diseño detallado del módulo de protecciones eléctricas basado en los relés SIPROTEC 7SJ62 de Siemens, respaldado por cálculos y simulaciones, aseguró un funcionamiento óptimo y confiable en el laboratorio de máquinas eléctricas, permitiendo simular fenómenos de sobrecorriente y subfrecuencia.
- El análisis de los tiempos de disparo medidos, comparados con los calculados, revela un alto grado de fiabilidad del módulo, respaldado por oscilografías que demuestran la replicabilidad de los fenómenos eléctricos simulados bajo condiciones controladas.
- Las guías de laboratorio meticulosamente diseñadas ofrecen instrucciones detalladas y validadas, facilitando la ejecución eficiente de prácticas que permiten a los estudiantes ajustar parámetros y comparar resultados teóricos y prácticos, preparándolos de manera efectiva para desafíos laborales en ingeniería eléctrica.



AGENDA:



RECOMENDACIONES

- Identificar escenarios replicables en el módulo en cuanto a otras funciones disponibles en los relés y desarrollar una expansión con nuevas prácticas, asegurándose de que estén alineadas con los objetivos de la carrera y que proporcionen una experiencia de aprendizaje significativa y relevante para los estudiantes.
- Se recomienda revisar el manual SIPROTEC 7SJ62 y tener un acercamiento previo con el software DIGSI, obteniendo mayor conocimiento y habilidad en el manejo de los programas que se emplean en la configuración del relé, para mejorar la fluidez de las prácticas.
- Implementar la comunicación entre los relés, para aumentar la velocidad al momento de cargar las configuraciones hacia el relé y descargar los resultados de las prácticas almacenados en el equipo de protección.



BIBLIOGRAFÍA

- Alderete, J. (s.f.). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/189444501/Calculo-de-Fallas-Simetricas>
- Anderson, j. (1998). *POWER SYSTEM PROTECTION*. Series Editorial Advisory Committe.
- Argüello, G., & Carchipulla, C. (2015). *Dspace.ucuenca.edu.ec*. Obtenido de Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21657/1/tesis.pdf>
- Barberán, F., & Suárez, M. (2017). Diseño y construcción de un módulo didáctico de protecciones de redes de distribución en sistemas eléctricos de potencia . *Tesis de grado*.
- Cabrera, M. (29 de Enero de 2021). *Dspace.ucuenca.edu.ec*. Obtenido de Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35604/1/Trabajo%20de%20titulacion.pdf>
- Electricity, E. N. (2020). Inertia and Rate of Change of Frequency (RoCoF) . *Entsoe*, 8.
- Encalada, K., & Tonato, M. (9 de Marzo de 2023). *Dspace.UPS.edu.ec*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24673/1/UPS-GT004267.pdf>
- González, C. (25 de 8 de 2020). *oocities*. Obtenido de <https://www.oocities.org/stselectricos/clase3.pdf>
- Gutierrez, L. (2016). *Desarrollo de un prototipo de un revelador*.
- Hatziargyriou, N., Milanovic, J., Rahmann, C., Ajarapu, V., Canizares, C., Erlich, I., . . . Cutsem, T. (2021). Definition and Classification of Power System Stability – Revisited & Extended. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, 36(4), 3271-3280.
- Heredia, C. (Febrero de 2011). *Bibdigital.epn.edu.ec*. Obtenido de Escuela Politecnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3756/1/CD-3549.pdf>
- Jhon Grainger, W. S. (1996). *Analisis de sistemas de potencia*. Mexico: McGraw -Hill.
- Juan Gers, E. H. (2011). *Protection of Electricity Distribution Networks*. Reino Unido: MPS Ltd.
- Legrand. (2020). LOGICAL SELECTIVITY. *THE GLOBAL SPECIALIST IN ELECTRICAL AND DIGITAL BUILDING INFRASTRUCTURES* , 3.
- López, A. (2015). Análisis de alivio de carga por baja frecuencia aplicando a sistemas aislados con energía renovable para minimizar el rango de cambios de frecuencia . *Tesis de Grado*.



BIBLIOGRAFÍA

- Marín, A. (2003). Estudio y coordinación de protecciones de sobrecorriente del Sistema Eléctrico de Petroproducción utilizando relés digitales. *EPN*.
- Mejía, J., & Ollague, H. (2012). Estudio para la coordinación de protecciones mediante selectividad lógica para los centros de fuerza de la Central Molino, Presa Daniel Palacios y central Mazar de la empresa CELEC Hidropaute . *Tesis de grado*.
- Nuñez, O. (2018). *SISTEMA DE PROTECCIÓN ADAPTATIVO PARA MICRO-REDES*. UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Ocampo, J. (2019). *Repositorio.unal.edu.ec*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia:
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76108/1053840496.2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Ortiz, D. (2023). *Propuesta metodológica para el análisis de estabilidad de frecuencia en sistemas eléctricos de potencia con baja inercia*. Universidad de Chile.
- Pérez, E. (1 de Mayo de 2017). *autoreseditores.s3.amazonaw*. Obtenido de Eddie Pérez:
https://autoreseditores.s3.amazonaws.com/book_preview/pdf/000003286.pdf?1616846921
- Saavedra, R. (2021). *Repositorio.ucv.edu.ec*. Obtenido de Universidad Cesar Vallejo:
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/76424/Saavedra_URC-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Shokooh, F., & Dai, J. (2005). Intelligent Load Shedding Need for a Fast and Optimal Solution. *IEEE PCIC Europe*, 2.
- Siano, P. (2014). Demand response and smart grids—A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.30, 461-478.
- Triviño, F., & Burgos, J. (1 de Septiembre de 2017). *Archivo.UC3M*. Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/28663/TFG_Beatriz_DelPino_Sanchez_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vega, B. (2021). *ESTRATEGIAS Y MODOS DE CONTROL DE CONVERTIDORES PARA LA REGULACIÓN DE FRECUENCIA EN SISTEMAS DE POTENCIA SIN INERCIA*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.



Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA