

Explicación Detallada de Fórmulas y Cálculos

1 CÁLCULO DEL IMPACTO DEL NUEVO EQUIPO

1.1 Corriente DC (Directa)

$$I_{DC} = P_{equipo} / V_{DC}$$

Ejemplo práctico:

- Equipo: 715W
- Voltaje DC nominal: 48V
- $I_{DC} = 715W / 48V = 14.9 \text{ A}$

Por qué: En DC la relación es directa. Si el equipo consume 715W a 48V, necesita 14.9 amperios.

1.2 Potencia AC Requerida (considerando pérdidas del rectificador)

$$P_{AC} = P_{DC} / \eta_{rectificador}$$

Ejemplo:

- $P_{DC} = 715W$
- $\eta_{rectificador} = 0.94$ (94% eficiencia)
- $P_{AC} = 715W / 0.94 = 760.6W$

Por qué: El rectificador pierde energía al convertir AC→DC. Si necesitas 715W en DC, debes suministrar más en AC.

Pérdidas:

- Pérdidas = $760.6\text{W} - 715\text{W} = 45.6\text{W}$ (se convierten en calor)
-

1.3 Corriente AC por Fase (Sistema Trifásico)

$$I_{AC_fase} = P_{AC} / (\sqrt{3} \times V_{LL} \times FP)$$

Donde:

- $\sqrt{3} = 1.732$ (constante para sistemas trifásicos)
- V_{LL} = Voltaje línea-línea promedio (ej: 214V)
- FP = Factor de potencia (ej: 0.98)

Ejemplo:

- $P_{AC} = 760.6\text{W}$
- $V_{LL} = 214\text{V}$
- $FP = 0.98$
- $I_{AC_fase} = 760.6 / (1.732 \times 214 \times 0.98) = 2.09 \text{ A por fase}$

Por qué: En un sistema trifásico, la corriente se reparte entre 3 fases (R, S, T). La fórmula incluye $\sqrt{3}$ por la configuración estrella o delta.

1.4 Impacto en kVA (Transformador)

$$\text{kVA_adicional} = \text{P_AC_kW} / \text{FP}$$

Ejemplo:

- $\text{P_AC} = 760.6\text{W} = 0.76 \text{ kW}$
- $\text{FP} = 0.98$
- $\text{kVA_adicional} = 0.76 / 0.98 = \mathbf{0.78 \text{ kVA}}$

Por qué: El transformador trabaja en kVA (potencia aparente), no en kW (potencia activa). La diferencia es el factor de potencia.

Conceptos:

- **kW (Potencia Activa):** La que realmente se consume
- **kVA (Potencia Aparente):** La que "circula" por el sistema
- **FP:** Relación entre ambas ($\text{FP} = \text{kW} / \text{kVA}$)

2 CHECK: REDUNDANCIA N+1 (RECTIFICADORES)

Concepto de N+1

En telecomunicaciones, **N+1** significa: "Puedo perder 1 componente y el sistema sigue funcionando"

Fórmula de Capacidad N+1

$$\text{Capacidad_N+1} = (\text{Módulos_operativos} - 1) \times \text{Corriente_por_módulo}$$

Ejemplo con tus datos:

Rectificador 1:

- Módulos instalados: 21
- Módulos fallados: 0
- Módulos operativos: 21
- Corriente por módulo: $3000W / 54V = 55.5A$
- **Capacidad N+1 = $(21 - 1) \times 55.5 = 1,110A$**

Rectificador 2:

- Módulos instalados: 19
- Módulos operativos: 19
- **Capacidad N+1 = $(19 - 1) \times 55.5 = 999A$**

Capacidad mínima del sistema:

Capacidad_sistema = MIN(Capacidad_R1, Capacidad_R2)

Capacidad_sistema = MIN(1110A, 999A) = 999A

Por qué el mínimo: Si R1 falla, R2 debe soportar TODO. Si R2 falla, R1 debe soportar TODO. El cuello de botella es el rectificador con MENOR capacidad.

Verificación

Carga_actual_total = I_R1 + I_R2 = 119A + 157A = 276A

Carga_futura_total = 276A + 14.9A = 290.9A

¿290.9A < 999A? SÍ → APROBADO

Porcentaje de uso:

$$\% \text{ uso} = (290.9 / 999) \times 100 = 29.1\%$$

3 CHECK: CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR

Fórmula

$$\text{kVA_futuro} = \text{kVA_actual} + \text{kVA_adicional}$$

$$\% \text{ uso} = (\text{kVA_futuro} / \text{kVA_max}) \times 100$$

Límite operativo (con margen de seguridad del 10%):

$$\text{kVA_max_operativo} = \text{kVA_max} \times (1 - \text{margen}/100)$$

$$\text{kVA_max_operativo} = 75 \times 0.90 = 67.5 \text{ kVA}$$

Ejemplo:

- kVA actual: 21.0
- kVA adicional: 0.78
- kVA futuro: 21.78
- % uso: $(21.78 / 75) \times 100 = 29.0\%$
- Límite operativo: 67.5 kVA

¿ $21.78 < 67.5?$ SÍ → APROBADO

Por qué el margen del 10%:

- Evita operar al 100% (puede causar sobrecalentamiento)
 - Deja espacio para picos transitorios
 - Extiende la vida útil del transformador
-

4 CHECK: BREAKER AC DEL RECTIFICADOR

Paso 1: Calcular corriente AC actual (estimación)

$$P_{DC_actual} = (I_{R1} \times V_{R1}) + (I_{R2} \times V_{R2})$$

$$P_{DC_actual} = (119 \times 54.47) + (157 \times 54.47) = 15,033W$$

$$P_{AC_actual} = P_{DC_actual} / \eta_{rectificador}$$

$$P_{AC_actual} = 15,033 / 0.94 = 15,993W$$

$$I_{AC_actual} = P_{AC_actual} / (\sqrt{3} \times V_{LL} \times FP)$$

$$I_{AC_actual} = 15,993 / (1.732 \times 214 \times 0.98) = 44.0A$$

Paso 2: Calcular corriente AC futura

$$I_{AC_futura} = 44.0A + 2.09A = 46.09A$$

Paso 3: Corriente por breaker (asumiendo 2 breakers)

$$I_{\text{por_breaker}} = 46.09 \text{A} / 2 = 23.0 \text{A}$$

Paso 4: Verificar contra límite

$$\text{Límite_breaker} = 125 \text{A}$$

$$\text{Límite_operativo} = 125 \times 0.80 = 100 \text{A} \text{ (con margen 20\%)}$$

¿ $23.0 \text{A} < 100 \text{A}$? SÍ → APROBADO

Por qué dividir entre 2: Normalmente hay un breaker por rectificador en el ML. La carga se divide aproximadamente igual.

5 CHECK: BALANCE DE CARGA ENTRE RECTIFICADORES

Fórmula

$$\text{Diferencia} = | \% \text{Carga_R1} - \% \text{Carga_R2} |$$

Ejemplo con tus datos:

- R1: 60% de carga
- R2: 78% de carga
- Diferencia = $|60 - 78| = 18\%$

Criterio:

¿18% < 20%? SÍ → APROBADO (pero cerca del límite)

Por qué es importante:

- Si R2 está al 78% y R1 al 60%, R2 se degrada más rápido
- Conectando el nuevo equipo a R1/PDB1, mejoramos el balance

Recomendación automática:

Si $R2 > R1 \rightarrow$ "Conectar a PDB1 (alimentado por R1)"
Si $R1 > R2 \rightarrow$ "Conectar a PDB2 (alimentado por R2)"

6 CHECK: VOLTAJE DEL SISTEMA

Fórmula

$$V_{\text{promedio}} = (V_{\text{R1}} + V_{\text{R2}}) / 2$$
$$\text{Desviación\%} = |V_{\text{promedio}} - V_{\text{nominal}}| / V_{\text{nominal}} \times 100$$

Ejemplo:

- $V_{\text{R1}} = 54.47\text{V}$
- $V_{\text{R2}} = 54.47\text{V}$
- $V_{\text{promedio}} = 54.47\text{V}$
- $V_{\text{nominal}} = 48\text{V}$ (sistema 48V)
- Desviación = $|54.47 - 48| / 48 \times 100 = 13.5\%$

Rangos permitidos:

- Mínimo: 43V (-10% del nominal)
- Máximo: 57V (+19% del nominal)

43V < 54.47V < 57V? SÍ → APROBADO

Por qué 54.47V si es sistema 48V:

- Los rectificadores operan a voltaje de flotación (float voltage)
- 54-56V es normal para sistemas 48V con baterías
- Mantiene las baterías cargadas
- Si baja a 48V, las baterías están descargándose

RESUMEN DE FÓRMULAS CLAVE

Magnitud	Fórmula	Unidades
Corriente DC	$I = P / V$	Amperios (A)
Potencia AC	$P_{AC} = P_{DC} / \eta$	Watts (W)
Corriente AC (3φ)	$I = P / (\sqrt{3} \times V \times FP)$	Amperios (A)
kVA	$kVA = kW / FP$	kilovolt-amperio
Capacidad N+1	$(\text{Módulos} - 1) \times A_{\text{módulo}}$	Amperios (A)
% Uso	$(\text{Actual} / \text{Máximo}) \times 100$	Porcentaje (%)

EJEMPLO COMPLETO CON TUS DATOS

Estado Actual del Nodo

Transformador: 21 kVA / 75 kVA (28% uso)
Rectificador 1: 119A (60% carga, 21 módulos)
Rectificador 2: 157A (78% carga, 19 módulos)
Carga total: 276A DC

Nuevo Equipo: Switch 715W

Impacto DC: 14.9A
Impacto AC: 760.6W (2.09A por fase)
Impacto kVA: 0.78 kVA

Verificaciones

Redundancia N+1: 290.9A < 999A (29.1% uso) **Transformador:** 21.78 kVA < 67.5 kVA (29.0% uso) **Breaker ML:** 23.0A < 100A (23.0% uso) **Balance carga:** 18% diferencia < 20% límite **Voltaje:** 54.47V dentro de rango (43-57V)

Conclusión

INSTALACIÓN APROBADA Recomendación: Conectar a PDB1 para mejorar balance de carga.

CONCEPTOS CLAVE PARA ENTENDER

1. Por qué AC \neq DC

- **AC (Corriente Alterna):** Lo que viene de la red eléctrica
- **DC (Corriente Directa):** Lo que usan los equipos de telecomunicaciones
- **Rectificador:** Convierte AC \rightarrow DC con ~94% eficiencia (pierde 6%)

2. Por qué Sistema Trifásico

- Reparte la carga en 3 fases (R, S, T)
- Más eficiente que monofásico
- Usa $\sqrt{3} = 1.732$ en las fórmulas

3. Por qué Factor de Potencia (FP)

- FP = 1.0: Toda la energía se usa (ideal)
- FP = 0.98: 98% se usa, 2% es reactiva
- Equipos con fuentes switching tienen FP alto (~0.98)

4. Por qué Redundancia N+1

- Telecomunicaciones requieren alta disponibilidad (99.99%)
- Si falla un rectificador, el otro debe sostener TODO
- Se sacrifica 1 módulo como reserva

5. Por qué Márgenes de Seguridad

- **Transformador (10%):** Evita sobrecalentamiento
 - **Rectificador (20%):** Deja espacio para picos
 - **Breaker (20%):** Evita disparos por transitorios
-

🔧 PARÁMETROS CONFIGURABLES

Puedes ajustar estos valores según tu instalación:

```
python  
"eficiencia_rectificador": 0.94 # ELTEK típicamente 92-95%  
"fp_equipos_nuevos": 0.98      # Switches/servidores modernos  
"margen_seguridad_tr": 10     # 10% = operar hasta 90%  
"margen_seguridad_rect": 20    # 20% = operar hasta 80%
```

¿Alguna fórmula específica que quieras que explique más a detalle?