

## Explicación Detallada de Fórmulas y Cálculos

### **1** CÁLCULO DEL IMPACTO DEL NUEVO EQUIPO

#### 1.1 Corriente DC (Directa)

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

**Ejemplo práctico:**

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

**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)

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

**Ejemplo:**

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

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

**Pérdidas:**

- Pérdidas = 760.6W - 715W = 45.6W (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:**

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

**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)

$$\text{kVA}_{\text{adicional}} = P_{\text{AC\_kW}} / \text{FP}$$

### Ejemplo:

- $P_{\text{AC}} = 760.6\text{W} = 0.76 \text{ kW}$
- $\text{FP} = 0.98$
- $\text{kVA}_{\text{adicional}} = 0.76 / 0.98 = \mathbf{0.78 \text{ kVA}}$

**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

$$\text{Capacidad}_{\text{N+1}} = (\text{Módulos}_{\text{operativos}} - 1) \times \text{Corriente}_{\text{por módulo}}$$

### 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

$$\text{kVA}_{\text{futuro}} = \text{kVA}_{\text{actual}} + \text{kVA}_{\text{adicional}}$$

$$\% \text{ uso} = (\text{kVA}_{\text{futuro}} / \text{kVA}_{\text{max}}) \times 100$$

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

$$\text{kVA}_{\text{max\_operativo}} = \text{kVA}_{\text{max}} \times (1 - \text{margen}/100)$$

$$\text{kVA}_{\text{max\_operativo}} = 75 \times 0.90 = 67.5 \text{ kVA}$$

#### Ejemplo:

- kVA actual: 21.0
- kVA adicional: 0.78
- kVA futuro: 21.78
- % uso:  $(21.78 / 75) \times 100 = \mathbf{29.0\%}$
- 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

$$\text{Límite\_breaker} = 125\text{A}$$

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

¿23.0A < 100A? ☒ 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

$$\text{Diferencia} = |\%Carga\_R1 - \%Carga\_R2|$$

### 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)"

## CHECK: VOLTAJE DEL SISTEMA

### Fórmula

$$V_{\text{promedio}} = (V_{R1} + V_{R2}) / 2$$

$$\text{Desviación\%} = |V_{\text{promedio}} - V_{\text{nominal}}| / V_{\text{nominal}} \times 100$$

### Ejemplo:

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



**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

1234

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	$(Módulos - 1) \times A_{módulo}$	Amperios (A)
% Uso	$(Actual / Máximo) \times 100$	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  $\sim 94\%$  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 ( $\sim 0.98$ )

### 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?