



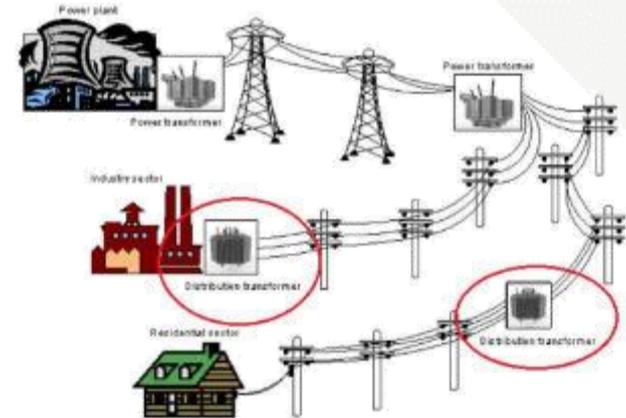
# PROYECTO PILOTO - BENEFICIOS DEL REEMPLAZO DE TRANSFORMADORES DE NÚCLEO AMORFO EN SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE AREQUIPA

Diciembre, 2023



Para distribuir la energía eléctrica, es necesario el uso de líneas de transmisión y distribución; así como, de transformadores de potencia y de distribución, estos últimos, permiten reducir la tensión o voltaje usado en los circuitos de distribución que llegan a los usuarios finales. El transformador de distribución, por tanto, es un elemento esencial en el sistema de suministro de electricidad; sin embargo, en él, tradicionalmente, se producen pérdidas de energía que se vuelven considerables con la cantidad de estos equipos instalados.

Las empresas distribuidoras de energía eléctrica están en busca de disminuir las pérdidas técnicas en la red eléctrica que se presentan en condiciones normales en los distintos componentes que constituyen el sistema de distribución.



## PROBLEMÁTICA – ELEVADOS NIVELES DE PERIDAS DE ENERGÍA EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A., en sus esfuerzos hacia un futuro sostenible de eficiencia energética y mejoramiento continuo, busca nuevas soluciones ofertadas en la industria para abordar uno de los desafíos fundamentales de la industria eléctrica: la reducción de pérdidas de energía en sistemas de distribución y transmisión.

La reducción de las pérdidas técnicas de energía, conlleva a la disminución de la generación eléctrica, y por ende tiene un especial al impacto en la reducción de emisiones de CO2, el ahorro de recursos y la eficiencia energética son factores fundamentales para la preservación del medio ambiente.



## PROBLEMÁTICA – ELEVADOS NIVELES DE PERIDAS DE ENERGÍA EN TRANSFORMDORES DE DISTRIBUCIÓN

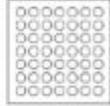
El objetivo del proyecto es reducir las pérdidas de energía con nuevos transformadores MT/BT en las SED de la Concesión de SEAL mediante el cambio de tecnología, pasando a transformadores de núcleo amorfo cuyas ventajas y característica principal es contar con menores pérdidas en el hierro respecto a los transformadores convencionales.



Así mismo, obtener beneficios indirectos de alto impacto a largo plazo, ya que no solo se reducen las pérdidas de energía, sino que también tiene un impacto ambiental positivo, de manera que se reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y se genera la conservación de los recursos energéticos, brindando beneficios sostenibles que contribuyen a un futuro más limpio.

## OBJETIVO

- Los núcleos de materiales amorfos cuentan con menores pérdidas en el núcleo, que los núcleos convencionales de acero silicoso.
- Típicamente estas aleaciones contienen un 80% de hierro, con el 20% restante de boro y silicio.
- Para la fundición se emplea sólo un proceso de calentamiento, a diferencia de los núcleos de acero silicoso que son calentados seis veces.
- Su estructura depende de una rapidísima tasa de enfriamiento de la aleación fundida.
- El grosor de las láminas de aleación amorfa, es mucho más pequeña que el de los aceros convencionales.
- Poseen una estructura atómica no cristalina, sin ejes de simetría y donde los átomos constituyentes están distribuidos aleatoriamente dentro de la mayor parte del material.

Propiedades lámina de acero al silicio	Propiedades lámina de material amorfo
Estructura molecular organizada 	Estructura molecular aleatoria 
Espesor de 0,23 mm	Espesor de 0,025 mm
Resistividad eléctrica 0,50µΩ·m	Resistividad eléctrica 1,20µΩ·m
Pérdidas en el núcleo normales	Pérdidas en el núcleo aproximadamente 1/3 respecto al acero al silicio

## TRANSFORMADORES CON NÚCLEO DE MATERIAL AMORFO

- El material amorfo, tiene elevada permeabilidad magnética relativa, facilidad de magnetización.
- El material amorfo conduce a una resistencia eléctrica más grande, debido a la estructura molecular aleatoria y al grosor pequeño de las láminas de acero.
- Estos transformadores presentan un 25% de las pérdidas "sin carga o en vacío" de los equipos con núcleo de acero silicoso.
- Temperatura de operación: Trabajan a menor temperatura (hierro: 15°C, bobina: 35°C) y tienen más capacidad de sobrecarga.
- Vida del transformador: los fabricantes estiman que la vida útil de estos equipamientos alcanza los 30 años.



## TRANSFORMADORES CON NÚCLEO DE MATERIAL AMORFO

Para realizar las inversiones de reemplazo de transformares de núcleo amorfo, SEAL sustentó a OSINERGMIN el proyecto piloto de reemplazo de transformadores de núcleo amorfo, en el proceso de aprobación del VAD (Valor Agregado de Distribución) 2019 – 2023.

Mediante resolución OSINERGMIN N° 168-2019-OS/CD, se da la Fijación de los Valores Agregados de Distribución 2019-2023, viabilizando el proyecto piloto "Reducción de Pérdidas en SED mediante uso de Transformadores de Núcleo Amorfo".

OSINERGMIN aprobó el reemplazo de 78 transformadores de núcleo amorfo:

- 38 transformadores en 10 kV
- 40 transformadores en 22.9 kV

# PROYECTO PILOTO REEMPLAZO DE TRANSFORMADORES DE NUCLEO AMORFO

SEAL ha ejecutado un proyecto piloto de reemplazo de setenta y ocho (78) transformadores de distribución convencionales por transformadores de núcleo amorfo.

Para la elección de los alimentadores de media tensión, donde se reemplazaron los transformadores convencionales por los de núcleo amorfo, se utilizó el “Informe Técnico de discriminación de pérdidas de energía” de la empresa GAPEL, donde determina las pérdidas en transformadores MT/BT, por sistema eléctrico y por alimentador

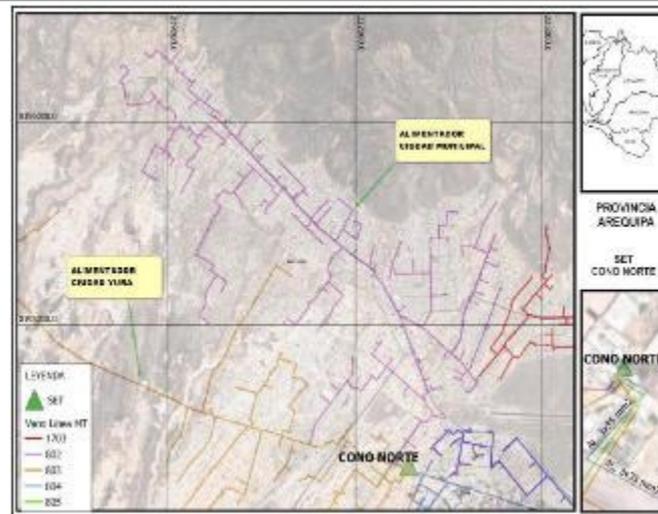
Item	Alimentador	Sistema Eléctrico	Código de Sed	Tensión	Factor de Simultaneidad	Factor de Carga	Factor de Pérdida	Potencia (KVA)	Energía Activa (kW.h)	Pérdidas de Energía en Núcleo de Transformadores (kWh)	Pérdidas de Energía en Bobina de Transformadores (kWh)	Pérdidas Totales En Transformadores KW.h	% de Pérdidas
17	806	AREQUIPA	5562	10	0.8	0.59	0.379	50	849.60	176.40	315.18	491.58	23.87%
18	803	AREQUIPA	5439	22.9	0.624	0.59	0.372	50	849.60	219.27	309.36	528.62	23.85%

(FUENTE: INFORME DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA - GAPEL)

## SELECCIÓN DE ALIMENTADORES PARA LA INSTALACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES AMORFOS

Los alimentadores Yura y Ciudad Municipal cuentan con transformadores convencionales MT/BT, los cuales mediante el presente proyecto se plantearon ser cambiados a transformadores de núcleo amorfo MT/BT para reducir las pérdidas de distribución. La cantidad de transformadores por alimentador es la siguiente:

Alimentador	SET	Nivel de Tensión (KV)	%Pérdidas Transform.	Cantidad de SED en alimentador	Cantidad de Transformadores a reemplazar				
					100 kVA	160 kVA	200 kVA	250 kVA	TOTAL
Ciudad Municipal	Cono Norte	10	23.87%	209	38	0	0	0	38
Yura	Cono Norte	22.9	23.85%	108	40	0	0	0	40



## SELECCIÓN DE ALIMENTADORES PARA LA INSTALACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES AMORFOS

- ✓ Con fecha 14.07.2022 y mediante licitación Pública N° 003-2022-SEAL-1 (Adquisición de Transformadores de Distribución de núcleo amorfo), se presentaron 02 empresa peruanas:
  - Compañía ELECTRO ANDINA S.A.C.
  - I&T ELECTRIC S.A.C.
- ✓ Con fecha 13.10.2022 se firma el contrato AD/LO.082-2022-SEAL con la compañía ELECTRO ANDINA S.A.C.

CONTRATO AD/LO.082-2022-SEAL

CONTRATO PARA LA ADQUISICIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN  
DE NÚCLEO AMORFO

COMPAÑÍA ELECTRO ANDINA S.A.C. – SEAL

- ✓ Con este proyecto, se ha incentivado la fabricación de esta nueva tecnología por primera vez en fábricas peruanas, dejando sentadas las bases para mayores producciones nacionales para un reemplazo masivo a futuro.

**Empresa Peruana**  
**Compañía ELECTRO ANDINA S.A.C.**

Pérdidas en Vacío:  $\leq 93$  W

Pérdidas con Carga:  $\leq 1920$  W

TRANSFORMADOR TRIFASICO DE NUCLEO AMORFO DE 100 KVA 10.5/0.4-0.231 kV

N°	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
1	<b>DATOS GENERALES</b>			
1.1	Fabricante	---	Indicar	CEA
1.2	País de fabricación	---	Indicar	PERÚ
1.3	Altitud de instalación	mm	>2500	2600
2	<b>DATOS NOMINALES Y CARACTERISTICAS</b>			
2.1	Descripción	---	Transformador trifásico	Transformador trifásico
2.2	Tipo de instalación	---	Exterior	Exterior
2.3	Material del bobinado	---	Cobre	Cobre
2.4	Tipo del núcleo	---	Amorfo	Amorfo
2.5	Frecuencia nominal	Hz	60	60
2.6	Potencia nominal	kVA	100	100
2.7	Tensión nominal en el primario	kV	10.5	10.5
2.8	Tensión nominal en el secundario	kV	0.4/0.231	0.4/0.231
2.9	Regulación en el primario	---	$\pm 2.5\%$	$\pm 2.5\%$
2.10	Número de bornas en el primario	Cantidad	3	3
2.11	Número de bornas en el secundario	Cantidad	6	6
2.12	Tensión de cortocircuito a 75 °C	%In	4	4
2.13	Tipo de enfriamiento	---	ONAN	ONAN
2.14	Clase de aislamiento	---	A	A
2.15	Grupo de Conexión	---	Dyn5	Dyn5
2.16	Nivel de ruido	Db	<55	<55
2.17	Pérdidas en vacío	W	93	93
2.18	Pérdidas con carga	W	1920	1920
2.19	Peso	Kg	Indicar	165
2.20	Volumen del aceite requerido (litros)	---	---	---

**PROPUESTA TÉCNICA  
PARA  
TRANSFORMADORES DE  
NÚCLEO AMORFO**

**Empresa Peruana**  
**Compañía ELECTRO ANDINA S.A.C.**

Pérdidas en Vacío:  $\leq 104$  W

Pérdidas con Carga:  $\leq 1975$  W

TRANSFORMADOR TRIFASICO DE NÚCLEO AMORFO DE 100 KVA 22.9/0.4-0.231 kV

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
<b>1 DATOS GENERALES</b>				
1.1	Fabricante	----	Indicar	CEA
1.2	País de fabricación	----	Indicar	PERÚ
1.3	Altitud de instalación	masm	>2500	2600
<b>2 DATOS NOMINALES Y CARACTERÍSTICAS</b>				
2.1	Descripción	----	Transformador trifásico	Transformador trifásico
2.2	Tipo de instalación	----	Exterior	Exterior
2.3	Material del bobinado	----	Cobre	Cobre
2.4	Tipo del núcleo	----	Amorfo	Amorfo
2.5	Frecuencia nominal	Hz	60	60
2.6	Potencia Nominal	KVA	100	100
2.7	Tensión nominal en el primario	kV	22.9	22.9
2.8	Tensión nominal en el secundario	kV	0.4/0.231	0.4/0.231
2.9	Regulación en el primario	----	$\pm 2.5\%$	$\pm 2.5\%$
2.10	Número de bornes en el primario	Cantidad	3	3
2.11	Número de bornes en el secundario	Cantidad	4	4
2.12	Tensión de cortocircuito a 75 °C	UN	4	4
2.13	Tipo de enfriamiento	----	ONAN	ONAN
2.14	Clase de aislamiento	----	A	A
2.15	Grupo de Conexión	----	Dyn5	Dyn5
2.16	Nivel de Ruido	Db	$\leq 55$	$\leq 55$
2.17	Pérdidas en vacío	W	$\leq 104$	$\leq 104$
2.18	Pérdidas con carga	W	$\leq 1975$	$\leq 1975$

**PROPUESTA TÉCNICA  
PARA  
TRANSFORMADORES DE  
NÚCLEO AMORFO**

En la visita realizada a la planta de la Compañía Electro Andina (CEA) se pudo ver el proceso de fabricación de los transformadores de núcleo amorfo, así como las pruebas realizadas. A continuación, se presenta una secuencia de fotos del proceso de fabricación y pruebas de los transformadores de núcleo amorfo.



Importación del núcleo amorfo de la China



Se observa que el núcleo de material amorfo tiene una cubierta de resina



Núcleo amorfo bobinado producto terminado

## PROCESO DE FABRICACIÓN Y PRUEBAS EN FÁBRICA



PROTOCOLO DE PRUEBAS										
CLIENTE :		SOCIEDAD ELECTRICA DEL SUR OESTE S.A					OT : 3110000207			
TRANSFORMADOR										
Marca	CEA	Potencia	500		KVA	Refrigeración	ONAN			
Número de Serie	311000020704	Relación de Tensión	10000 / 400		V	Abdul	2000 mm2			
Tipo	TSDO	Relación de Corriente	8.50 / 160.34		A	Montaje	EXTERIOR			
Año de Fabricación	2022	Grupo de Conexión	Dyn5			Nivel Aislamiento Primario	12 / 3 / 18 kV			
Norma	IEC 60078	Tor (%)	* 4.25			Nivel Aislamiento Secundario	1.1 / 3 / 7.8 kV			
Frecuencia	60 Hz	Regulación bajo	10.0		kV	Peso Total	505 Kg			
<b>1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO : (Megohmetro)</b> <span style="float: right;">Temp = 33.8 °C / H.S. 89 %</span>										
DESIGNEACION		Primario - Secundario		Primario - Masa		Secundario - Masa				
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (Ω)		43.2 Ω		29.6 Ω		16.1 Ω				
VDC		1000 V		1000 V		1000 V				
<b>2.- MEDICION DE LA RELACION DE TRANSFORMACION Y VERIFICACION DEL DESFASE : (DTR)</b>										
POS. CAM.	RELACION TEORICA	RELACION DE MEDIDA			ERROR DE RELACION (%)	GRUPO DE CONEXION				
		U-V/R-U	V-W/T-V		W-U/R-W		Dyn5			
1	47.740	47.729	47.729		-0.044					
2	46.803	46.889	46.894		-0.017					
3	45.458	45.453	45.482		-0.029					
4	44.330	44.337	44.337		0.010					
5	43.190	43.186	43.184		0.008					
<b>3.- MEDICION DE TENSION DE RUPTURA DIELECTRICA DE LIQUIDOS AISLANTES :</b>										
Temp (°C)		NORMA		kV		ACEITE - ERRORES				
33		IEC 60156		> 80		HyVal II				
<b>4.- MEDICION DE LAS PERDIDAS Y DE LA CORRIENTE EN VACIO : Alimentación por Secundario (Valimetro)</b>										
POS. CAM.	VOLTAJE		WATT		AMPER		PERDIDA Fe. WATT			
	U-V [V]	V-W [V]	W-U [W]	I [A]	I [A]	I [A]	[W]			
3	408.58	397.85	397.89	0.910	0.910	0.909	78.5			
<b>5.- MEDICION DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMENTOS : (Metrol)</b> <span style="float: right;">Temp = 23.8 °C</span>										
ARROLLAMIENTO SECUNDARIO					ARROLLAMIENTO PRIMARIO					
U-V	19.198	≠0	U-V	19.534	0					
V-W	19.194	≠0	V-W	20.000	0					
W-U	19.913	≠0	W-U	19.456	0					
<b>6.- MEDICION DE LA IMPEDANCIA DE CORTOCIRCUITO Y DE LAS PERDIDAS DEBIDAS A LA CARGA : (Valimetro)</b> <span style="float: right;">Temp = 27.2 °C</span>										
POS. CAM.	VOLTAJE		AMPER		PERDIDAS		IMPEDANCIA			
	U-V [V]	V-W [V]	W-U [W]	I [A]	I [A]	I [A]	MEDIA [W]	TOTAL [W]	COE (%)	
3	408.59	408.11	407.09	0.909	0.909	0.915	1474.21	1555.29	3.94	

Pérdidas en Vacío  
78.5 W ≤ 93 W

Pérdidas con Carga  
1555.29 ≤ 1920 W

# REPORTE DE PRUEBAS EN FÁBRICA

Se ha realizado una comparación entre los valores de pérdidas de potencia de transformadores convencionales establecidos en Norma Técnica Peruana de Transformadores, con los valores promedio de las pérdidas resultado de las pruebas de recepción realizadas en la empresa CEA para los transformadores amorfos, en el cuadro se puede apreciar la reducción de pérdidas totales de potencia.

Nivel de Tensión	Potencia (KVA)	Tecnología	Pérdidas en vacío (W)	Pérdidas Devanado (W)	Total (W)
10 kV	100	Convencional	374	1920	2294
		Amorfo	88	1522	1610
		Diferencia	286	398	684
		Reducción de pérdidas (%)	23.5%	79.3%	29.8%
22.9 kV	100	Convencional	417	1975	2392
		Amorfo	92.85	1554	1647
		Diferencia	324	421	745
		%	22.3%	78.7%	31.1%

Las pérdidas en el hierro de acuerdo a la teoría disminuyen en un 25% y de acuerdo a las mediciones en fabrica, estas se han reducido en un 23% promedio, las pérdidas totales se han reducido en un 30%

## ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE POTENCIA CON MEDICIONES DE PRUEBAS EN FÁBRICA

Se instalaron de setenta y ocho (78) transformadores de núcleo amorfo en los alimentadores Ciudad Municipal 806 (10 kV) y Yura 803 (22.9 kV), pertenecientes a la SET Nueva Cono Norte.



AMT P.YURA  
Foto N°9: SED 5129



AMT P.YURA  
Foto N°10: SED 4606

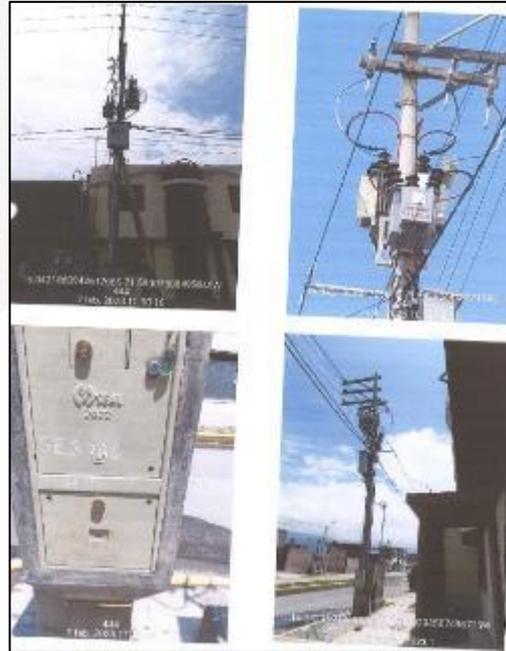
## INSTALACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE NUCLEO AMOROFO

Entre el 07.02.2023 al 31.03.2023 se instalaron 15 equipos de medición en MT, en Transformadores de 100 KVA de los alimentadores Ciudad Municipal y Yura de la SET Cono Norte

N°	ALI_NOMBRE	SET NOMBRE	SED CODIGO	SED_DIRECCION	SED POTENCIA (KVA)	TENSIÓN MT (KV)	N° DE SERIE	MARCA
1	CIUDAD MUNICIPAL	CONO NORTE	1697	Nueva Arequipa H-1	100	10	111168109	ELKO
2	CIUDAD MUNICIPAL	CONO NORTE	5555	Av N°2-dlCoñapata Mz B-20AVPF ElmerFoucett	100	10	--	I&T ELECTRIC
3	CIUDAD MUNICIPAL	CONO NORTE	3384	PERUARBO Mz C, CORPAC ESTACION VOR	100	10	L22552	ABB
4	CIUDAD MUNICIPAL	CONO NORTE	3598	Villa Las Canteras, vía a Yura (Llamagas)	100	10	L18565	BBC
5	CIUDAD MUNICIPAL	CONO NORTE	1877	Ciudad de DiosComité 4 Mz. P Lt.B	100	10	124975T2	DELCROSA
6	CIUDAD MUNICIPAL	CONO NORTE	4478	Asoc. J.L.Bustamante y Rivero Mz. 1D	100	10	51409129	SAN MEN
7	CIUDAD MUNICIPAL	CONO NORTE	4671	Asoc. J. L. B. yRivero Mz. M9	100	10	111206712	ELKO PROMELSA
8	CIUDAD MUNICIPAL	CONO NORTE	5431	APIPA sector III, esq Lt 6A	100	10	1186981	ROMAGNOLE
9	YURA	CONO NORTE	4308	J.L. BUSTAMANTE MZ B	100	22.9	5141240	SAN MEN
10	YURA	CONO NORTE	4514	A.U. JOSE L.B. Y.R. SECTOR IV11C-13	100	22.9	2278-04	RESELEC EIRL
11	YURA	CONO NORTE	4517	A.U. JOSE L.B. Y.R. SECTOR VIII1G-9	100	22.9	145564T2	DELCROSA
12	YURA	CONO NORTE	4672	APIPA SECTOR XIII	100	22.9	502605-08	I & T ELECTRIC
13	YURA	CONO NORTE	5126	APIPA H-1	100	22.9	--	
14	YURA	CONO NORTE	5127	APIPA D-5	100	22.9	---	EPLI SAC
15	YURA	CONO NORTE	5358	URB JBYR AV. REGIONAL	100	22.9	11328403	PROMELSA

## INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN PARA MEDICIONES

Se instalaron 15 equipos de medición en MT, en Transformadores de 100 KVA de los alimentadores Ciudad Municipal y Yura de la SET Cono Norte.



**INSTALACIÓN DE LOS  
SISTEMAS DE MEDICIÓN  
PARA MEDICIONES**

Units: DEMAND (Kilo), interval							229	Potencia Activa	Potencia Reactiva	Energia Activa	Energia Reactiva
Suministro:	Date	Time	Int.Len	kWh-Del	kVARh-Del	kWh-Rec	kVARh-Rec	kW-Del	kVAR-Del	kWh-Del	kVARh-Del
SED 4672	1/04/2023	00:15	15	0.0559	0.0024	0	0	12.8011	0.5496	3.200275	0.1374
SED 4672	1/04/2023	00:30	15	0.0562	0.0061	0	0	12.8698	1.3969	3.21745	0.349225
SED 4672	1/04/2023	00:45	15	0.0557	0.005	0	0	12.7553	1.145	3.188825	0.28625
SED 4672	1/04/2023	01:00	15	0.0561	0.0031	0	0	12.8469	0.7099	3.211725	0.177475
SED 4672	1/04/2023	01:15	15	0.0525	0.0031	0	0	12.0225	0.7099	3.005625	0.177475
SED 4672	1/04/2023	01:30	15	0.0507	0.0054	0	0	11.6103	1.2366	2.902575	0.30915
SED 4672	1/04/2023	01:45	15	0.0532	0.0063	0	0	12.1828	1.4427	3.0457	0.360675
SED 4672	1/04/2023	02:00	15	0.0586	0.0131	0	0	13.4194	2.9999	3.35485	0.749975
SED 4672	1/04/2023	02:15	15	0.052	0.0086	0	0	11.908	1.9694	2.977	0.49235
SED 4672	1/04/2023	02:30	15	0.0491	0.0008	0	0	11.2439	0.1832	2.810975	0.0458
SED 4672	1/04/2023	02:45	15	0.0498	0.0011	0	0	11.4042	0.2519	2.85105	0.062975
SED 4672	1/04/2023	03:00	15	0.0486	0.0028	0	0	11.1294	0.6412	2.78235	0.1603
SED 4672	1/04/2023	03:15	15	0.0539	0.006	0	0	12.3431	1.374	3.085775	0.3435
SED 4672	1/04/2023	03:30	15	0.0568	0.0045	0	0	13.0072	1.0305	3.2518	0.257625
SED 4672	1/04/2023	03:45	15	0.0514	0.006	0	0	11.7706	1.374	2.94265	0.3435
SED 4672	1/04/2023	04:00	15	0.0486	0.0036	0	0	11.1294	0.8244	2.78235	0.2061
SED 4672	1/04/2023	04:15	15	0.0577	0.0034	0	0	13.2133	0.7786	3.303325	0.19465
SED 4672	1/04/2023	04:30	15	0.0526	0.002	0	0	12.0454	0.458	3.01135	0.1145
SED 4672	1/04/2023	04:45	15	0.0591	0.0045	0	0	13.5339	1.0305	3.383475	0.257625
SED 4672	1/04/2023	05:00	15	0.0537	0.0013	0	0	12.2973	0.2977	3.074325	0.074425
SED 4672	1/04/2023	05:15	15	0.0636	0.0012	0	0	14.5644	0.2748	3.6411	0.0687
SED 4672	1/04/2023	05:30	15	0.0655	0.001	0	0	14.9995	0.229	3.749875	0.05725
SED 4672	1/04/2023	05:45	15	0.0715	0.0029	0	0	16.3735	0.6641	4.093375	0.166025
SED 4672	1/04/2023	06:00	15	0.0677	0.0021	0	0	15.5033	0.4809	3.875825	0.120225
SED 4672	1/04/2023	06:15	15	0.0764	0.0054	0	0	17.4956	1.2366	4.3739	0.30915
SED 4672	1/04/2023	06:30	15	0.0765	0.0044	0	0	17.5185	1.0076	4.379625	0.2519
SED 4672	1/04/2023	06:45	15	0.0736	0.0036	0	0	16.8544	0.8244	4.2136	0.2061
SED 4672	1/04/2023	07:00	15	0.0827	0.0021	0	0	18.9383	0.4809	4.734575	0.120225
SED 4672	1/04/2023	07:15	15	0.0911	0.0067	0	0	20.8619	1.5343	5.215475	0.383575
SED 4672	1/04/2023	07:30	15	0.0956	0.0123	0	0	21.8924	2.8167	5.4731	0.704175

# REPORTES DE MEDICIONES DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN

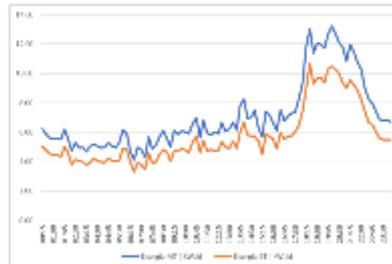
Se ha realizado las mediciones de 15 transformadores convencionales y a 15 transformadores amorfos con la finalidad de cuantificar el porcentaje de reducción de pérdidas de energía con las mediciones obtenidas de campo; se realizaron mediciones en el lado de media tensión y en el lado de baja tensión de los transformadores al mismo tiempo. En primera instancia se realizaron las mediciones en los transformadores convencionales que estaba previsto su reemplazo, en segundo lugar, se procedió a revisar las mediciones a los transformadores de núcleo amorfo instalados

### Perfiles de pérdidas en transformadores convencionales

Cuadro N° 4.1: SED 1687

Día de MD	%Pérdidas	L.O.
2019/03/19:30	1.64%	0.48

Gráficas N° 4.1: Perfil de pérdidas SED - 1687

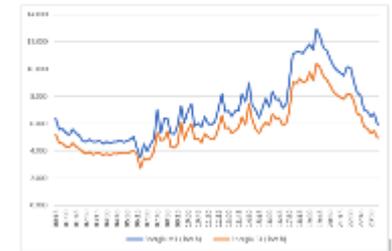


### Perfiles de pérdidas en transformadores amorfos

Cuadro N° 4.17: SED 1687

Día de MD	%Pérdidas	L.O.
2019/03/19:30	0.74%	0.47

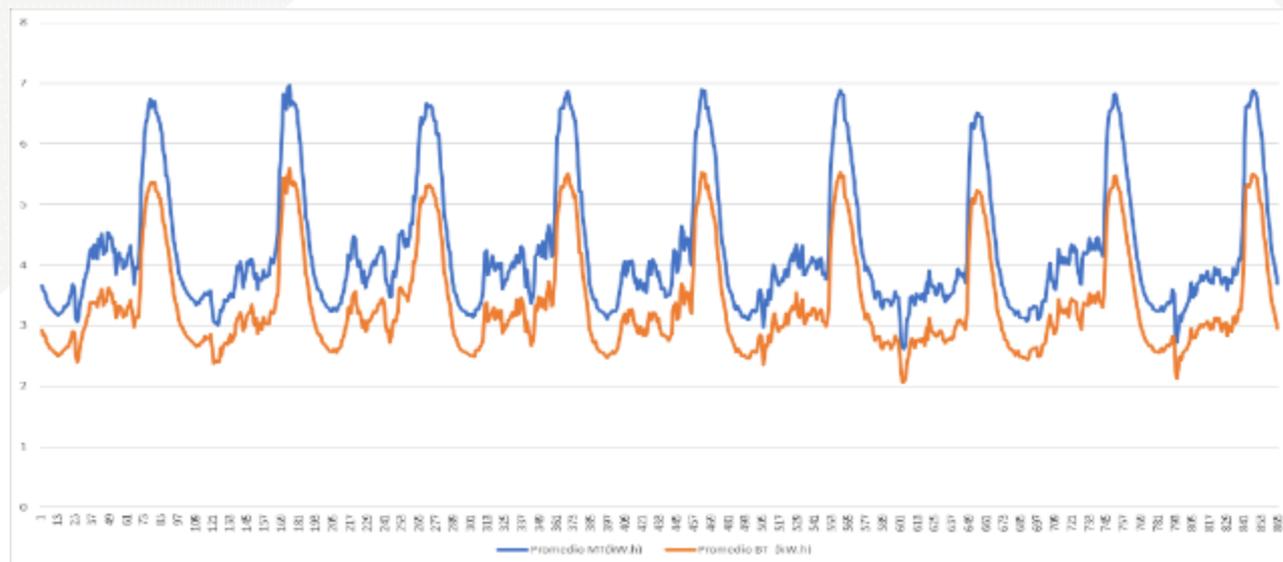
Gráficas N° 4.16: Perfil de pérdidas SED - 1687



**ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA OBTENIDAS DE LAS MEDICIONES**

## Perfil promedio de las pérdidas en transformadores convencionales

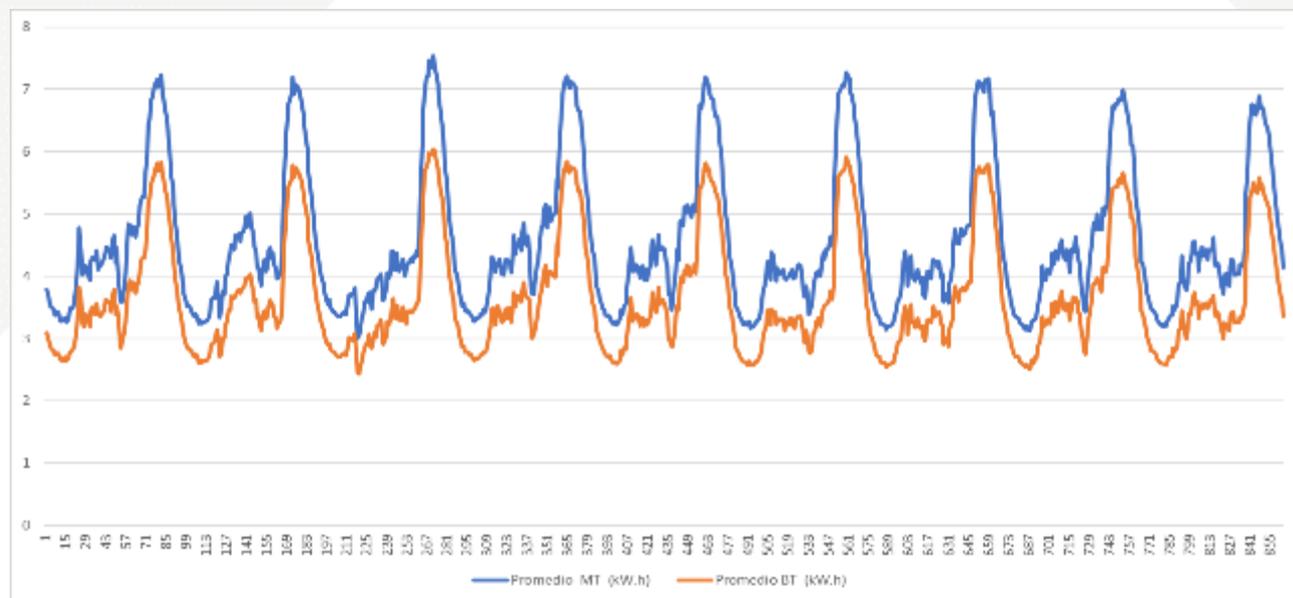
%Pérdidas	F.U. Promedio
2.63%	0.34



**ANÁLISIS DE PÉRDIDAS  
DE ENERGÍA OBTENIDAS  
DE LAS MEDICIONES**

## Perfil promedio de las pérdidas en transformadores amorfos

% Pérdidas Promedio	F.U.
1.19%	0.34



**ANÁLISIS DE PÉRDIDAS  
DE ENERGÍA OBTENIDAS  
DE LAS MEDICIONES**

## Resultados finales de reducción de pérdidas de energía

Se ha realizado la comparación de las pérdidas reales medidas en campo en el periodo de evaluación de nueve días de los transformadores convencionales y los transformadores de núcleo amorfo las mismas que se presentan en el siguiente cuadro.

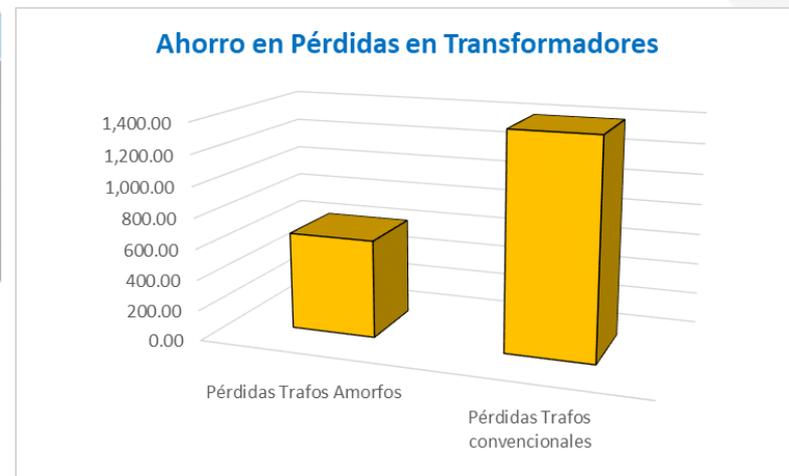
Ítem	Alimentador	Código de SED	Transformadores Convencionales	Transformadores Amorfos	Diferencia de pérdidas kW.h
			Pérdidas de energía kW.h	Pérdidas de energía kW.h	
1	Ciudad Municipal	3384	77.65	22.33	55.32
2	Ciudad Municipal	3598	85.41	32.48	52.93
3	Ciudad Municipal	1877	218.57	148.88	69.69
4	Ciudad Municipal	1697	88.01	38.45	49.56
5	Ciudad Municipal	4478	53.79	57.59	-3.80
6	Ciudad Municipal	4671	69.27	16.13	53.13
7	Ciudad Municipal	5555	80.50	34.21	46.29
8	Yura	4308	152.29	83.83	68.46
9	Yura	4514	88.85	31.00	57.86
10	Yura	4517	67.84	22.31	45.52
11	Yura	4672	97.21	36.27	60.94
12	Yura	5126	75.82	19.21	56.61
13	Yura	5127	63.25	22.68	40.57
14	Yura	5358	100.60	43.33	57.27
15	Yura	5538	78.28	27.65	50.63
<b>Total</b>			<b>1,397.33</b>	<b>636.34</b>	<b>760.99</b>

**ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA OBTENIDAS DE LAS MEDICIONES**

A partir de las mediciones realizadas a los 15 transformadores convencionales y de núcleo amorfo, se ha determinado que la reducción de pérdidas de energía en transformadores es de 54% tal como se muestra:

Análisis de pérdidas de energía	
Transformador	kW.h
Convencional	1,397.33
Amorfo	636.34
Diferencia	760.99
<b>Ahorro Real</b>	<b>54%</b>

Ahorro  
**54%**



**ANÁLISIS DE PÉRDIDAS  
DE ENERGÍA OBTENIDAS  
DE LAS MEDICIONES**

## Análisis de costos unitarios de los transformadores

Las diferencias de costos a nivel de tensión nominal, de acuerdo a la licitación de SEAL, se observa que los transformadores de núcleo amorfo de un nivel de tensión de 22.9 kV son un 18 % más costosos que los transformadores convencionales y en un nivel de tensión de 10 kV, son un 45% mas costosos de los transformadores convencionales.

Nivel de Tensión	CANTIDAD	Potencia kVA	Convencional	Núcleo Amorfo	Diferencia	
			Costo Unitario USD	Costo Unitario USD	Costo Unitario USD	Costo Unitario %
10	1	100	3502	5077	1575	45%
22.9	1	100	4471	5283	812	18%

## Consideraciones para el análisis económico comparativo de los transformadores

Con los datos previos de costos de los equipos, de las pérdidas obtenidas de las mediciones de campo, se procede a realizar el análisis comparativo que permita obtener una conclusión sobre la razonabilidad económica de aplicar el proyecto de innovación tecnológica con transformadores de núcleo amorfo. Para ello se han aplicado las premisas descritas a continuación:

<b>Parámetros de Evaluación</b>	
Tasa de Descuento	12%
Tiempo de Vida	30 años
Costo de O&M	3%
Tipo de Cambio	3.80
<b>Datos de SICODI</b>	
Costo de Retiro de Equipos	10%
Costo de M/O + Transporte	25%

<b>Tarifas para SEAL</b>	
Potencia - PNG	7.46 US\$/kW-mes
Energía - PNG	68.89 US\$/MWh
Peaje SPT	10.36 US\$/kW-mes
Peaje SST	5.40 US\$/MWh
<b>Precio de Energía</b>	<b>77.17 US\$(MWh)</b>
	<b>0.077 US\$/kWh</b>

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

## Presupuesto del proyecto

Se evaluó el presupuesto necesario para la implementación de los 78 transformadores amorfos en los alimentadores de Yura y Ciudad municipal, como se muestra a continuación:

Descripción	Cantida de Unid.	Costos de referencia de Licitación Trafo Convencional (US\$)	Costo de Adjudicacin Trafo Amorfo (US\$)
<b>Materiales</b>			
Transformadores MT/BT	78	311,916	404,215
Tablero de Distribución BT Trafo 100 kVA	78	91,984	91,984
<b>Mano de Obra y Transporte</b>			
Desmontaje y Montaje de Transformadores	78	85,989	85,989
Tableros de Distribución (Incluye Desmontaje y Montaje)	78	9,167	9,167
<b>Sub Total - Nuevas SEDs</b>		499,055	591,354
Costos de gestión		74,858	88,703
<b>Total - US\$ (sin IGV)</b>		<b>573,914</b>	<b>680,058</b>

## Resultados de la evaluación económica comparativa de los transformadores

Del análisis de mínimo costo realizado para el proyecto de innovación tecnológica con transformadores amorfos se concluye que el Proyecto de Transformadores Amorfos para nuevas SED MT/BT para SEAL, aplicado a una muestra de subestaciones, es factible aplicar dicha tecnología para transformadores. Con estos resultados se tiene **un ahorro total de 6.6%** para el proyecto de transformadores amorfos vs los convencionales.

Alternativa	Inversión Mil US\$	Costos de O&M Mil US\$	Costo de Pérdidas Mil US\$	Costo Total Mil US\$
Trafos Núcleo Amorfo	607.2	164.2	152.6	924.1
Trafos Convencionales	512.4	138.7	334.3	985.4
<b>Ahorro (Mil US\$)</b>	<b>-94.77</b>	<b>-25.54</b>	<b>181.6</b>	<b>61.3</b>
<b>Ahorro (%)</b>	<b>-15.6%</b>	<b>-15.6%</b>	<b>119.0%</b>	<b>6.6%</b>

EVALUACIÓN  
ECONÓMICA DEL  
PROYECTO

## Resultados de la evaluación económica comparativa de los transformadores

Del análisis de mínimo costo realizado para el proyecto de innovación tecnológica con transformadores amorfos se concluye que el Proyecto de Transformadores Amorfos para nuevas SED MT/BT para SEAL, aplicado a una muestra de subestaciones, es factible aplicar dicha tecnología para transformadores. Con estos resultados se tiene **un ahorro total de 6.6%** para el proyecto de transformadores amorfos vs los convencionales.

Alternativa	Inversión Mil US\$	Costos de O&M Mil US\$	Costo de Pérdidas Mil US\$	Costo Total Mil US\$
Trafos Núcleo Amorfo	607.2	164.2	152.6	924.1
Trafos Convencionales	512.4	138.7	334.3	985.4
<b>Ahorro (Mil US\$)</b>	<b>-94.77</b>	<b>-25.54</b>	<b>181.6</b>	<b>61.3</b>
<b>Ahorro (%)</b>	<b>-15.6%</b>	<b>-15.6%</b>	<b>119.0%</b>	<b>6.6%</b>

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Basándose en la norma ISO 14064-1 “Verificación de la Huella de Carbono”,

**Emisiones de GEI del SEIN** = *Factor de emisión SEIN* × *Consumo de energía*

Emisiones de GEI del SEIN: Son las emisiones de gas de efecto invernadero del Sistema eléctrico interconectado nacional, que se generan debido a la quema de combustible fósil en las generadoras de energía eléctrica a nivel nacional. Se cuantifica mediante las unidades de *tCO<sub>2</sub>*.

*Factor de emisión SEIN*: Se cuantifica mediante las unidades *tCO<sub>2</sub>-MWh*. Este factor es calculado por el cliente interesado en saber el impacto de GEI que se están generando producto de la compra de energía eléctrica y tiene un valor de 0.4521 ton CO<sub>2</sub>/MWh (RD N°006-2021-EF/63.01, 2021, pág. 14).

Teniendo las pérdidas anuales, se calcula la diferencia entre ambos proyectos, obteniendo el ahorro de pérdidas totales por año; posteriormente se multiplica por el factor de emisiones del SEIN de valor 0.4521 ton CO<sub>2</sub>/MWh obteniéndose así los bonos de carbono equivalente para cada año. Posteriormente, reemplazando 78 transformadores convencionales por núcleo amorfo se logra reducir en un horizonte de 30 años 6,384.08 tCO<sub>2</sub>.

**DISMINUCIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>**

N°	Año	SIN PROYECTO (TRANSFORMADORES CONVENCIONALES)	CON PROYECTO (TRANSFORMADORES AMORFOS)	REDUCCIÓN DE EMISIONES TCO2		
		A Pérdida de energía anual en los Transformadores y en la Red MT, AT y MAT (MWh)	B Pérdida de energía anual en los Transformadores y en la Red MT, AT y MAT (MWh)	(A-B) Energía de pérdidas anual en los Transformadores y en la Red MT, AT y MAT (MWh)	Factor de Emisión del SEIN (Tco2/MWh)	Reducción de Emisiones de la red (Tco2/año)
1	2023	290.70	132.38	158.32	0.452	71.56
2	2024	311.41	141.81	169.59	0.452	76.66
3	2025	333.59	151.91	181.67	0.452	82.12
4	2026	357.35	162.73	194.61	0.452	87.96
5	2027	382.80	174.32	208.47	0.452	94.23
6	2028	410.06	186.74	223.32	0.452	100.94
7	2029	439.27	200.04	239.23	0.452	108.13
8	2030	470.56	214.29	256.27	0.452	115.83
9	2031	504.07	229.55	274.52	0.452	124.08
10	2032	539.97	245.90	294.07	0.452	132.92
11	2033	578.43	263.42	315.02	0.452	142.39
12	2034	619.63	282.18	337.45	0.452	152.53
13	2035	663.77	302.28	361.49	0.452	163.39
14	2036	711.04	323.81	387.24	0.452	175.03
15	2037	761.69	346.87	414.82	0.452	187.50
16	2038	815.94	371.58	444.36	0.452	200.85
17	2039	874.05	398.04	476.01	0.452	215.16
18	2040	936.31	426.39	509.92	0.452	230.48
19	2041	1002.99	456.76	546.23	0.452	246.90
20	2042	1074.43	489.29	585.14	0.452	264.48
21	2043	1150.96	524.14	626.82	0.452	283.32
22	2044	1232.94	561.48	671.46	0.452	303.50
23	2045	1320.75	601.47	719.29	0.452	325.12
24	2046	1414.82	644.31	770.52	0.452	348.27
25	2047	1515.59	690.20	825.40	0.452	373.08
26	2048	1623.54	739.36	884.19	0.452	399.65
27	2049	1739.18	792.02	947.16	0.452	428.12
28	2050	1863.05	848.43	1014.62	0.452	458.61
29	2051	1995.75	908.86	1086.89	0.452	491.27
<b>Total</b>		25934.63	11810.56	14124.07	-	6,384.08

## DISMINUCIÓN DE EMISIONES DE CO2

- Al ser una tecnología nueva sin antecedentes de compra e instalación en el país, se concluye que el proceso de adquisición y montaje de los transformadores amorfos fue un éxito, se elaboraron las especificaciones técnicas, se adquirieron los equipos y se instalaron los transformadores en setenta y ocho subestaciones de distribución.
- Se ha verificado el % porcentaje de pérdidas de potencia teórico de este tipo de transformadores, debido a que producto de la comparación de los valores de pérdidas de potencia de transformadores convencionales establecidos en Norma Técnica Peruana de Transformadores, con los valores promedio de las pérdidas resultado de las pruebas de recepción realizadas en fábrica para los transformadores amorfos, se obtuvo una reducción de pérdidas totales de potencia en 30%.
- Se comprueba que las pérdidas de energía medidas en campo de transformadores convencionales es de 2.63% y de los transformadores amorfos es de 1.19%; como resultado de lo manifestado, se obtiene una reducción de pérdidas de energía real de 54%.

## CONCLUSIONES

- Del análisis de mínimo costo realizado, aplicado a una muestra de subestaciones, es factible aplicar dicha tecnología, debido a que se obtiene un ahorro total de 6.6% para el proyecto de transformadores amorfos vs los convencionales.
- Basándose en la norma ISO 14064-1 “Verificación de la Huella de Carbono”, se estimó la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>, para medir el impacto ambiental que produce la implementación de los 78 transformadores de núcleo amorfo en un periodo de 30 años, se estima reducir las emisiones en 6,384.08 tCO<sub>2</sub>.

## CONCLUSIONES

## BENEFICIOS PARA SEAL

Ahorro del 54% por reducción de pérdidas de energía en transformadores de distribución. SEAL compra menor cantidad de energía, manteniendo las ventas iguales.

El proyecto es beneficioso, dado que si bien el transformador de amorfo es actualmente más costoso, comparando con los costos de operación y mantenimiento y las pérdidas de energía, se obtiene un ahorro del 6.6%.

El proyecto es escalable para toda la empresa, SEAL puede adoptar transformadores de núcleo amorfo en futuras compras de transformadores de distribución.

**BENEFICIOS DEL  
PROYECTO DE  
REEMPLAZO DE  
TRANSFORMADORES DE  
NÚCLEO AMORFO**

## BENEFICIOS PARA LA SOCIEDAD EN GENERAL

La utilización de transformadores amorfos, se puede replicar para las demás empresas distribuidoras del país, que enfrentan desafíos similares en términos de pérdidas técnicas.

Al reducir la potencia de las pérdidas, disminuye la máxima demanda de SEAL y por lo tanto disminuye la huella de carbono.

Posibilidad de tener una mejor tarifa eléctrica en Arequipa, los costos de producción serán menores, incentivando la inversión, la generación de más puestos de trabajo y el desarrollo de la región.

Incentivar la industria eléctrica en el país, debido a que se ha logrado fabricar este nuevo equipamiento en fabricantes nacionales.

Contar con sistema de distribución más eficiente.

## BENEFICIOS PARA LOS USUARIOS

Menor costo en la tarifa eléctrica, en la actualidad se reconoce en la tarifa 3.8% de pérdidas en transformadores para SEAL, las pérdidas en los transformadores amorfos es de 1.19%, se espera a futuro trasladar el ahorro en pérdidas a partir de los próximos periodos regulatorios-.



Usuarios residenciales en baja tensión, ahorro en consumos de la energía eléctrica



Usuarios industriales, reducción de costos de producción, mayor competitividad

**BENEFICIOS DEL  
PROYECTO DE  
REEMPLAZO DE  
TRANSFORMADORES DE  
NÚCLEO AMORFO**



BICENTENARIO  
DEL PERÚ  
2021 - 2024