

## ANEXOS

Anexo 1: Planilla pruebas.....	2
Anexo 1: Planilla pruebas (continuación).....	3
Anexo 2: Diseño del banco resistivo.....	4
Anexo 3: Ensayo de conductividad.....	8
Anexo 4: Plano de banco resistivo.....	9

## ANEXO I Cuadro de parámetros medidos y calculados

Nº	Parámetros	Símbolo	Unidad	Modo Diesel					Modo Diesel/Gas					Modo Diesel/Gas					
				70 ± 0.5	60 ± 0.5	50 ± 0.5	40 ± 0.5	25 ± 0.5	85	80 ± 0.5	70	60	50	85	70 ± 0.5	60	50		
	Corriente de línea	I	A	80 ± 0.5	70 ± 0.5	60 ± 0.5	50 ± 0.5	40 ± 0.5	25 ± 0.5		85	80 ± 0.5	70	60	50	85	70 ± 0.5	60	50
	Duty Cycle	DC	%	0	0	0	0	0	0	0	0	6.99 ± 0.20	6.18 ± 0.20	4.73 ± 0.20	4.07 ± 0.20	7.05 ± 0.20	6.15 ± 0.20	4.91 ± 0.20	4.06 ± 0.20
	Consumo máscico de gas natural	ngas	kg/h	0	0	0	0	0	0	0	0.699 ± 0.20	2.25 ± 0.1	2.25 ± 0.1	2.25 ± 0.1	2.23 ± 0.1	2.23 ± 0.1	2.26 ± 0.1	2.25 ± 0.1	2.24 ± 0.1
	Temperatura de ingreso de gas natural	T°adm, gas	°C	22.8 ± 0.1	22.8 ± 0.1	22.8 ± 0.1	22.8 ± 0.1	22.8 ± 0.1	22.8 ± 0.1	22.1 ± 0.1	22.5 ± 0.1	22.5 ± 0.1	22.5 ± 0.1	22.5 ± 0.1	22.3 ± 0.1	22.3 ± 0.1	22.6 ± 0.1	22.5 ± 0.1	22.4 ± 0.1
	Presión de admisión de gas natural	Padm, gas	kpa	300 ± 0.04	300 ± 0.04	300 ± 0.04	300 ± 0.04	300 ± 0.02	300 ± 0.02	45.60 ± 0.04	139.17 ± 0.04	208.7 ± 0.04	231.32 ± 0.04	46.65 ± 0.04	141.66 ± 0.04	203.44 ± 0.04	233.9 ± 0.04		
	Masa inicial de diesel	mo, diesel	kg	0.44 ± 0.01	1.825 ± 0.01	2.38 ± 0.01	2.86 ± 0.01	4.535 ± 0.01	3.68 ± 0.01	11.75 ± 0.01	12.45 ± 0.01	1.33 ± 0.01	1.455 ± 0.01	2.04 ± 0.01	2.065 ± 0.01	2.135 ± 0.01	2.23 ± 0.01		
	Masa final de diesel	mf, diesel	kg	0.61 ± 0.01	1.97 ± 0.01	2.51 ± 0.01	2.98 ± 0.01	4.62 ± 0.01	3.755 ± 0.01	11.95 ± 0.01	12.75 ± 0.01	1.385 ± 0.01	1.505 ± 0.01	2.065 ± 0.01	2.095 ± 0.01	2.17 ± 0.01	2.28 ± 0.01		
	Tempo de consumo de diesel	tcons, diesel	s	63.55 ± 0.5	62.99 ± 0.5	63.21 ± 0.5	66.94 ± 0.5	51.51 ± 0.5	57.56 ± 0.5	53.81 ± 0.5	57.82 ± 0.5	58.42 ± 0.5	63.97 ± 0.5	63.3 ± 0.5	75.34 ± 0.5	59.26 ± 0.5	55.3 ± 0.5		
	Temperatura de aire de admisión	T°adm, air	°C	22.6 ± 0.1	22.4 ± 0.1	22.4 ± 0.1	23 ± 0.1	21.9 ± 0.1	21.5 ± 0.1	22.4 ± 0.1	21.1 ± 0.1	21.7 ± 0.1	21.5 ± 0.1	22.5 ± 0.1	22.5 ± 0.1	22.4 ± 0.1	22.2 ± 0.1	21.3 ± 0.1	
	Presión de aire en la admisión	Padm, air	kpa	-2.87 ± 0.01	-2.84 ± 0.01	-2.96 ± 0.01	-3.5 ± 0.01	-3.15 ± 0.01	-3.09 ± 0.01	-3.2 ± 0.01	-3.08 ± 0.01	-3.02 ± 0.01	-2.98 ± 0.01	-3.28 ± 0.01	-3.23 ± 0.01	-3.1 ± 0.01	-3.05 ± 0.01		
	Temperatura gases de escape	T°g	°C	516.8 ± 0.3	432.2 ± 0.3	371.5 ± 0.3	323.6 ± 0.3	267.7 ± 0.3	231 ± 0.3	432.7 ± 0.3	420.1 ± 0.3	422.5 ± 0.3	424.1 ± 0.3	411 ± 0.3	386.5 ± 0.3	375.5 ± 0.3	375.6 ± 0.3		
	Monóxido de Carbono	CO ppm	ppm	825 ± 1.0	528 ± 1.0	498 ± 1.0	659 ± 1.0	356 ± 1.0	233 ± 1.0	990 ± 1.0	1068 ± 1.0	805 ± 1.0	1008 ± 1.0	901 ± 1.0	1258 ± 1.0	1578 ± 1.0	1498 ± 1.0		
	Oxidos de nitrógeno	Nox	ppm	2861 ± 1.0	2631 ± 1.0	2400 ± 1.0	1844 ± 1.0	1310 ± 1.0	942 ± 1.0	1300 ± 1.0	1496 ± 1.0	2335 ± 1.0	2203 ± 1.0	911 ± 1.0	880 ± 1.0	1527 ± 1.0	1870 ± 1.0		
	Hidrocarburos no quemados	HC	ppm	0	0	0	0	0	0	0	0	330 ± 1.0	159 ± 1.0	71 ± 1.0	5730 ± 1.0	3040 ± 1.0	1250 ± 1.0	680 ± 1.0	
	Presión Diferencial del Aire en la PicaOrific	ΔPaire	pa	217 ± 0.4	215 ± 0.4	211 ± 0.4	206 ± 0.4	206 ± 0.4	197 ± 0.4	220 ± 0.4	216 ± 0.4	210 ± 0.4	206 ± 0.4	212 ± 0.4	203 ± 0.4	203 ± 0.4	217 ± 0.4		
	Humedad Relativa	φ	%	77 ± 0.5	80 ± 0.5	81 ± 0.5	82 ± 0.5	82 ± 0.5	79 ± 0.5	79 ± 0.5	78 ± 0.5	78 ± 0.5	78 ± 0.5	80 ± 0.5	80 ± 0.5	80 ± 0.5	81 ± 0.5		
	Temperatura Ambiente	T°amb	°C	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5	21 ± 0.5		
	Presión Atmosférica	Pam	kPa	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01	101.02 ± 0.01		
	Relación de sustitución	RS	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Densidad del aire	ρ aire	kg/m3	1.188 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.002	1.187 ± 0.004	1.187 ± 0.004	
	Velocidad del aire	V air	m/s	11.46 ± 0.03	11.41 ± 0.03	11.31 ± 0.03	11.17 ± 0.03	11.17 ± 0.03	10.92 ± 0.03	11.54 ± 0.03	11.44 ± 0.03	11.28 ± 0.03	11.17 ± 0.03	11.33 ± 0.03	11.09 ± 0.03	11.09 ± 0.05	11.46 ± 0.05		
	Consumo de aire humedo	m air hum	kg/h	205.2 ± 0.1	204.3 ± 0.1	202.3 ± 0.1	199.9 ± 0.1	199.9 ± 0.1	195.5 ± 0.1	206.6 ± 0.1	204.8 ± 0.1	201.9 ± 0.1	200.0 ± 0.1	202.8 ± 0.1	198.5 ± 0.1	198.5 ± 0.1	205.2 ± 0.1		
	Consumo de aire seco	m air seco	kg/h	202.8 ± 0.1	201.7 ± 0.1	199.8 ± 0.1	197.4 ± 0.1	197.4 ± 0.1	193.1 ± 0.1	204.1 ± 0.1	202.2 ± 0.1	199.5 ± 0.1	197.6 ± 0.1	200.3 ± 0.1	196.0 ± 0.1	196.0 ± 0.1	202.6 ± 0.1		
	Potencia eléctrica	Pe	kW	30.48 ± 0.14	26.67 ± 0.14	22.86 ± 0.14	19.05 ± 0.14	15.24 ± 0.14	9.926 ± 0.14	30.48 ± 0.14	30.48 ± 0.14	30.48 ± 0.14	30.48 ± 0.14	30.48 ± 0.14	26.67 ± 0.16	26.67 ± 0.16	26.67 ± 0.16		
	Consumo específico aparente de combustible/cec	g/kWh	g/kWh	315.9 ± 12.1	310.6 ± 12.1	323.8 ± 12.1	338.7 ± 12.1	389.7 ± 12.1	492.4 ± 12.1	336.9 ± 12.1	320.3 ± 12.1	309.4 ± 14.3	282.9 ± 14.3	391.0 ± 14.3	348.3 ± 14.3	314.9 ± 14.3	316.5 ± 14.3		
	Rendimiento eléctrico eléctrico	ηe		27.13 ± 0.31	27.58 ± 0.42	26.46 ± 0.16	25.30 ± 0.15	21.99 ± 0.76	17.40 ± 0.19	25.44 ± 0.33	26.75 ± 0.21	27.69 ± 0.35	32.60 ± 0.41	21.91 ± 0.51	24.60 ± 0.31	27.21 ± 0.42	27.07 ± 0.16		
	Emissiones específicas de óxidos de nitrógenos/NOx	g/kWh	g/kWh	0.0017 ± 0.001	0.018 ± 0.001	0.019 ± 0.001	0.018 ± 0.001	0.016 ± 0.001	0.018 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.008 ± 0.001	0.013 ± 0.001	0.012 ± 0.003	0.005 ± 0.003	0.005 ± 0.003	0.008 ± 0.003	0.012 ± 0.003		
	Emissiones específicas de óxido de carbono	SCO	g/kWh	0.008 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.010 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.010 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.009 ± 0.003	0.009 ± 0.003	0.009 ± 0.003	0.013 ± 0.003	0.017 ± 0.003	0.016 ± 0.003	
	Emissiones específicas de hidrocarburo no quemados/HC	g/kWh	g/kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



## ANEXO 2 Diseño del Banco Resistivo

El diseño del banco resistivo se basó en los modelos encontrados en la referencia [22], para nuestro caso se utiliza el siguiente modelo:

El banco resistivo consta de 6 placas separadas por arcos de circunferencia que serán sumergidas en un recipiente con salmuera, para determinar las dimensiones de dichas placas se calcula la resistencia del bloque de salmuera que forman y se compara este último valor con la resistencia requerida para que el grupo electrógeno opere en condiciones nominales.

Generador

Datos de placa:

$$S = 45 \text{ kVA} \quad V_L = 220 \text{ V} \quad V_F = 127 \text{ V}$$

$$1800 \text{ RPM} \quad 60\text{Hz} \quad \cos\phi = 1 \quad I = 115 \text{ A}$$

Carga en delta:

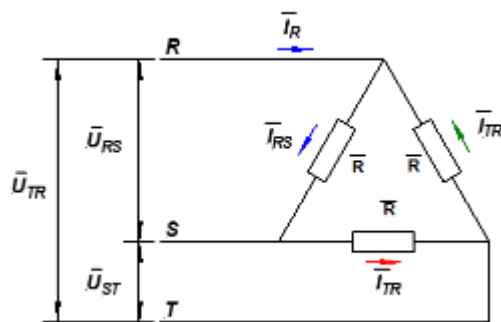


Figura 1. Esquema de la carga

Potencia aparente del generador

$$S = \sqrt{3} * V_L * I_L, \text{ usando datos nominales}$$

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} * V_L} = 118,09 \text{ A}$$

$$I_F = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = 68,18 \text{ A}$$

$$R_{op} = \frac{V_L}{I_F} = 3,23 \text{ A} \quad (V_L = V_F \text{ en la carga})$$

La resistencia de la columna de líquido entre dos placas adyacentes se calcula usando la siguiente expresión:

$$R = \rho * \frac{L}{A} \dots\dots(F1)$$

$\rho$  es la resistividad en ohm centímetros

$L$  es la distancia entre placa y placa en centímetros

$A$  es el área inmersa del electrodo en centímetros cuadrados

Para encontrar la resistividad del agua, primero se encontró la conductividad mediante ensayo, según el método basado en *Standard Methods for the Examination of water & wastewater*, Edición n° 22, 2012, Método de laboratorio, realizado por el Instituto de corrosión y protección de la PUCP. (ver ANEXO 3)

De acuerdo al informe del ensayo, la conductividad del agua en las instalaciones del laboratorio es la siguiente:

$$Cond = 714 * 10^{-6} \frac{S}{cm}$$

Luego, la resistividad del agua se obtiene invirtiendo la conductividad

$$\rho = \frac{1}{Cond} \quad \rho = 1401 \Omega.cm$$

Cálculo de la longitud que separa una placa de otra se aproxima esta longitud como si se tratara de un bloque rectangular en vez de un sector circular, tal como se ve en la Figura 2.

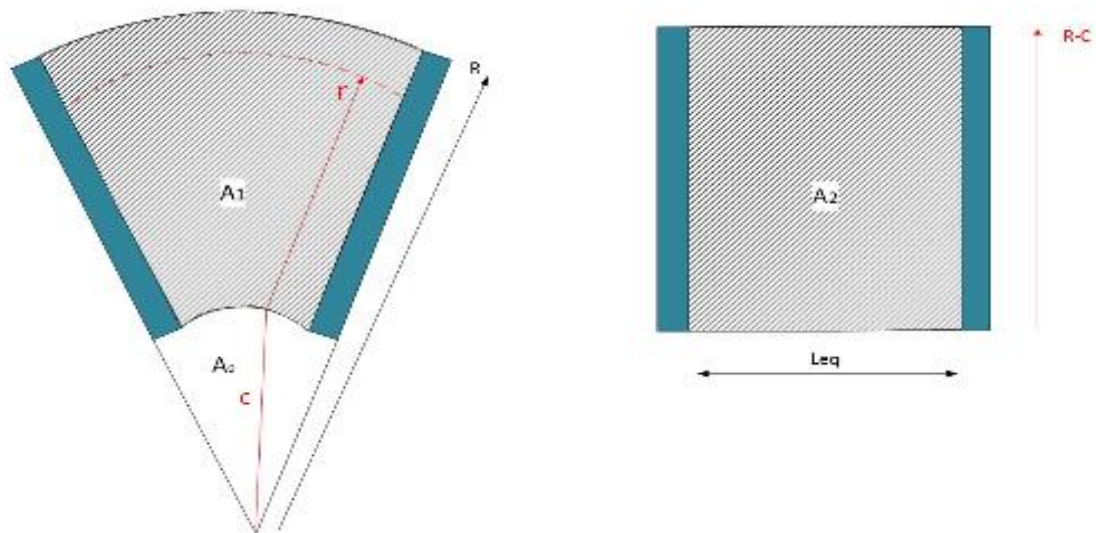


Figura 2. Vista superior de placas

$$A_t = \pi * R^2 * \frac{\theta}{2 * \pi} \text{ (Área total de la sección circular)}$$

$$A_2 = L_{eq} * (R - C)$$

$$A_0 = \pi * c^2 * \frac{\theta}{2 * \pi}$$

$$A_1 = \pi * R^2 * \frac{\theta}{2 * \pi} - \pi * c^2 * \frac{\theta}{2 * \pi}$$

Igualando las áreas  $A_1$  y  $A_2$  para obtener la longitud equivalente

$$L_{eq} = \frac{\theta}{2} * (R + C)$$

$$\theta = 2 * \frac{\pi}{3}$$

$$L_{eq} = \frac{\pi}{3} * (R + C) \dots \dots \dots (F2)$$

Luego, empleando placas con base (b) de 20 centímetros y altura mínima de inmersión ( $h_{inm}$ ) de 100 centímetros y de espesor 4 milímetros se procede a encontrar la longitud de separación equivalente con la expresión F2 y finalmente se calcula la resistencia del bloque de agua mediante F1.

$$b = 30 \text{ cm (base de placa)}$$

$$c = 4 \text{ cm}$$

(Distancia de separación entre placa y el centro axial del banco)

$$h_{inm} = 100 \text{ cm (altura de inmersión)}$$

$$\text{Con F2 } L_{eq} = \frac{\pi}{6} (b + 2c) = 14,66 \text{ cm}$$

$$A = b * h_{inm} = 2 * 10^3 \text{ cm} \text{ y } \rho = 1401 \Omega \cdot \text{cm}$$

$$R = \frac{\rho * L_{eq}}{A} = 10,26 \Omega$$

Esta resistencia es de un bloque de salmuera formado por dos placas adyacentes, sin embargo la resistencia total para una fase debe considerar los dos bloques que se forman para cada una, estos bloques se encuentran trabajando en paralelo por lo cual se tiene finalmente lo siguiente:

$$R_{total} = \frac{R * R}{R + R} = 5,13 \Omega$$

La resistencia total obtenida se compara con la resistencia que se calculó para la operación de generador según condiciones nominales  $R_{op} = 3,23 \Omega$  al no ser iguales, se procede a recalcular la corriente de línea y la potencia aparente en el generador para la  $R_{total}$

$$I'_F = \frac{V_L}{R_{total}} = 42,86 \text{ A}$$

$$I'_L = I'_F * \sqrt{3} = 74,23 \text{ A}$$

$$S' = \sqrt{3} * V_L * I'_L = 28,29 \text{ kV.A}$$

La potencia anterior es el 62% de la potencia nominal del generador lo cual permite decir que la resistencia obtenida a partir de las dimensiones de las planchas es aceptable.

## ANEXO 3 Informe de ensayo de conductividad para agua suministrada en la PUCP




**INSTITUTO DE  
CORROSIÓN Y  
PROTECCIÓN**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

**INFORME DE ENSAYO ICP/INF-090/2015**

<b>SOLICITANTE:</b>	<b>LABORATORIO DE ENERGÍA</b>
<b>DOMICILIO:</b>	Atención: Ing. Ronald Mass
<b>TELÉFONO/FAX:</b>	Av. Universitaria 1801 – San Miguel
<b>SERVICIO SOLICITADO:</b>	6262000 anexo 4654
<b>REFERENCIA:</b>	Determinación de conductividad eléctrica en muestra de agua.
<b>MUESTREO:</b>	ICP/PRO-098/2015.
<b>FECHA:</b>	Realizado por el solicitante.
	2015-06-24.

**1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

El solicitante proporcionó 01 (una) muestra de agua con código ICP-PUCP 2015EQ0479 para la determinación de conductividad eléctrica.

**2. FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 2015-06-23.

**3. FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS:** 2015-06-23.

**4. MÉTODO DE ENSAYO**

- Determinación de conductividad eléctrica (según método basado en *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*, Edición n° 22, 2012, Método 2510B; método de laboratorio).

**5. RESULTADOS**

**Tabla 1**

Código ICP-PUCP	Conductividad (µS/cm) a 25 °C
2015EQ0479	714

**6. OBSERVACIONES**

El resultado corresponde al promedio de tres mediciones.

Ejecución de ensayos:  
Química Claudia Morales Vargas

Responsable:  
Lic. Isabel Díaz Tang  
Jefe del Laboratorio de Electroquímica

**EL PRESENTE INFORME DE ENSAYO CONSTA DE 01 (UNA) PÁGINA DE TEXTO.**



AA - 72138

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Instituto de Corrosión y Protección

*Isabel Díaz Tang*  
PROF. ISABEL DÍAZ TANG  
Directora

1 de 1

AV. UNIVERSITARIA 1801 - LIMA 32 - SAN MIGUEL - APARTADO POSTAL 1761 - LIMA 100