
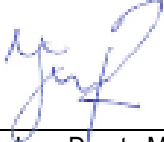

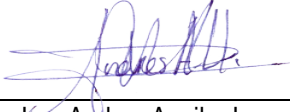

	TIPO DE DOCUMENTO: INFORME	CÓDIGO DEL DOCUMENTO.: IPE-2025-2977-E-IN-001
	PROYECTO: INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA 4TA Y 5TA UCG EN LA E°C° COLPA	HOJA: 1 de 14
	TÍTULO: INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	

ÍNDICE DE REVISIONES


Fecha	Revisión	Observaciones
23-09-2025	A	Para Revisión del Cliente
30-09-2025	0	Aprobado para Construcción

 Ing. Joao Duarte M. Ingeniero de Proyecto ELABORADO POR	 Ing. Ricardo Molina G. Especialista Electricidad REVISADO POR	 Ing. Andres Aguilar L. Gerente de Proyecto APROBADO POR
<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE YPFB TRANSPORTE S.A. Y NO PODRÁ SER REPRODUCIDO O UTILIZADO PARA CUALQUIER FINALIDAD DIFERENTE DE AQUELLA PARA LA QUE HA SIDO SUMINISTRADO.</small>		

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA:
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	2 de 14
		REV:
		0

ÍNDICE

1. OBJETIVO.....	3
2. ALCANCE	3
3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA, NORMAS Y ABREVIATURAS.....	3
3.1. NORMAS DE REFERENCIA.....	3
4. RESISTIVIDAD DEL TERRENO	3
4.1. SALES SOLUBLES.....	4
4.2. COMPOSICIÓN DEL TERRENO	4
4.3. ESTRATIGRAFÍA.....	4
4.4. GRANULOMETRÍA.....	4
4.5. HUMEDAD.....	4
4.6. TEMPERATURA	5
5. MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO	5
6. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN POR EL MÉTODO WENNER.....	5
7. PROCEDIMIENTO.....	7
8. EQUIPO DE MEDICIÓN	8
9. MEDICIONES	9
10. PLANILLA DE MEDICIONES.....	10
11. CONCLUSIONES.....	11
12. REPORTE FOTOGRÁFICO	11
13. ANEXOS.....	14
13.1. ANEXO 1: PLANILLA DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	14
13.2. ANEXO 2: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.	14

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA:
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	3 de 14
		REV:
		0

1. OBJETIVO

Mostrar los datos de resistividad del suelo obtenidos mediante mediciones directas en la Estación Colpa, los cuales servirán de base para el cálculo y diseño de la malla de puesta a tierra y del sistema de protección catódica en el marco del proyecto “**Ingeniería Básica y de Detalle para la Implementación de la 4ta y 5ta UCG en la E°C° Colpa**”.

2. ALCANCE

El alcance de estas mediciones es aplicado a toda el área designada para el proyecto.

3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA, NORMAS Y ABREVIATURAS

A continuación, se mencionan todos los documentos de referencias, normas y abreviaturas a ser aplicados en el siguiente documento


3.1. NORMAS DE REFERENCIA

A continuación, se detallan las normas de referencia asociadas a este documento:

# Ref.	Código	Nombre del documento
[Ref. 1.]	ASTM G-57	Standard methods for field measurement of soil resistivity using the Wenner four electrode method
[Ref. 2.]	IEEE Std 80	Guide for Safety in AC Substation Grounding
[Ref. 3.]	IEEE Std 81	Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System

4. RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste para conducir electricidad; también es conocida como la resistencia específica del terreno. En su medición se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que estos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se llama Resistividad Aparente, que para el interés de este trabajo será conocida como resistividad de suelo.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA:
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	4 de 14
		REV:
		0

La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del globo terrestre, estando determinada por:

- Sales solubles
- Composición propia del terreno
- Estratigrafía
- Granulometría
- Humedad
- Temperatura

4.1. SALES SOLUBLES

La resistividad de suelo es determinada principalmente por su cantidad de electrolitos; esto es por la cantidad de humedad, minerales y sales disueltas. Como ejemplo, para valores de 1% (por peso) de sal (NaCl) o mayores, la resistividad es prácticamente la misma, pero para valores menores de esa cantidad la resistividad pasa a ser muy alta.

4.2. COMPOSICIÓN DEL TERRENO

La composición del terreno depende de la naturaleza del mismo. Por ejemplo, en suelos arcillosos la resistividad es baja, en cambio en terrenos rocosos la resistividad es muy elevada.

4.3. ESTRATIGRAFÍA


El terreno no es uniforme en sus capas. En los 3 metros de longitud de una jabalina de puesta a tierra, al menos se encuentran dos capas diferentes de suelo.

4.4. GRANULOMETRÍA

Influye bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra. Por esta razón la resistividad de la grava es superior a la de la arena y de que esta sea mayor que la de la arcilla.

4.5. HUMEDAD

La humedad del suelo afecta significativamente su resistividad, variando según factores climáticos, estacionales, de profundidad y nivel freático. Cuando el contenido hídrico es inferior

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA:
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	5 de 14
		REV:
		0

al 15% del peso del terreno, la resistividad aumenta drásticamente. Por encima de este umbral, se mantiene prácticamente constante. En períodos secos, la resistividad puede alcanzar valores críticos que invalidan su uso en sistemas de puesta a tierra, por lo que el diseño debe basarse en las condiciones más adversas.

4.6. TEMPERATURA

A medida que desciende la temperatura la resistividad del terreno aumenta y aún más al llegar a 0°C, hasta el punto que, a medida que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, se va reduciendo movimiento de los electrolitos los cuales influyen en la resistividad de la tierra

5. MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

La resistividad del terreno se mide principalmente para determinar la profundidad y el espesor de las formaciones rocosas en estudios geofísicos, así como para evaluar las características eléctricas del suelo. Esta información es clave para diseñar la configuración óptima de la malla de puesta a tierra, con el objetivo de minimizar la resistencia y garantizar niveles seguros de tensión de contacto y tensión de paso, que son aspectos fundamentales para la seguridad de las instalaciones y del personal.


En general, los suelos de baja resistividad pueden acelerar la corrosión de tuberías enterradas y afectar el desempeño de los sistemas de puesta a tierra, como las varillas (jabalinas) y el cable desnudo enterrado.

Para medir la resistividad del suelo a diferentes profundidades, se emplea un Telurómetro o un Megger de tierras de cuatro electrodos de prueba. El método más utilizado en este tipo de mediciones es el método de Wenner, también conocido como el método de los cuatro electrodos.

6. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN POR EL MÉTODO WENNER

El método que se utilizó para las mediciones es el llamado método Wenner. Este método utiliza 4 electrodos alineados entre sí que deben ser clavados en el suelo a una profundidad de ensayo “ $b < 0.3a$ ” y espaciados uniformemente a una distancia “ a ” entre dos electrodos adyacentes. Así, cada electrodo podrá parecer un punto con respecto a las distancias involucradas en la medida.

Se hace circular corriente por los electrodos externos, lo que provoca un cambio de tensión entre los electrodos del par central, esta variación será función de la resistividad del terreno. Los

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA:
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	6 de 14
		REV:
		0

electrodos utilizados deberán ser de bronce o cobre aleación y metal no polarizables, evitando así distorsiones en la medición.

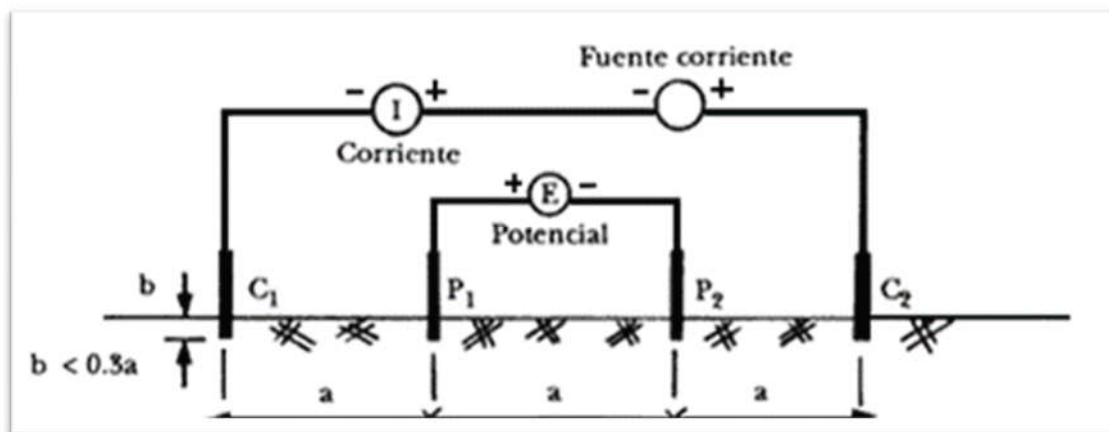


Figura 6-1 Esquema de Medición

La distancia (b) o sea la profundidad a la que está enterrado el electrodo (barra de bronce o cobre) debe ser pequeña comparada con la distancia (a) entre los electrodos.

El valor de la resistividad se obtiene mediante la ecuación:

$$\rho = 2 \times \pi \times A \times R$$

Donde:


ρ = Resistividad ($\Omega \cdot m$)

A= Separación entre Electrodos (m)

R= Lectura (Ω)

La medida que se obtiene es un valor promedio a una profundidad aproximadamente igual que el espaciado entre los electrodos. Es costumbre efectuar las mediciones de resistividad con un espaciado entre electrodos previamente establecido.

Para las mediciones a lo largo de las líneas enterradas, al ser de una profundidad casi constante, la separación entre electrodos para las mediciones será de 1.5 metros.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA:
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	7 de 14
		REV:
		0

En cambio, para las planchadas de los pozos, los espaciamientos serán de 1.5 m, 3m, 4.5m y 6m.

Los detalles de la operación varían de acuerdo con el instrumento particular empleado, pero el principio es común a todos. Se entierran cuatro varillas de cobre de forma equidistante, y se conectan las dos externas (C1 y C2) a las terminales de la fuente de corriente, y las dos internas (P1 y P2) a un medidor potencial (voltímetro). Nótese que se mide la resistencia entre las dos varillas internas o electrodos de potencial; las dos varillas externas sirven para introducir corriente en el suelo.


El valor obtenido corresponde a la resistividad promedio a una profundidad aproximadamente igual al espaciado entre los electrodos.

7. PROCEDIMIENTO

Se realizan una serie de medidas a lo largo de una línea utilizando el método Wenner. Las lecturas deben tomarse de acuerdo con un procedimiento sistemático.

De acuerdo al procedimiento de medición de resistividad del suelo se siguieron los siguientes pasos:

- Se identificó el terreno en el cual se harán las mediciones, limitando previamente el área de interés.
- Se utilizó un flexómetro para identificar las posiciones iniciales de los electrodos de prueba en el terreno según el arreglo seleccionado por el método de Wenner.
- Se enterró (clavó) los electrodos a una profundidad de 20 cm.
- Se conectó los electrodos al telurómetro (equipo de medición) mediante los cables proporcionados por el fabricante del equipo.
- Se encendió el equipo y seleccionó la prueba a realizar, que en este caso es de resistividad del suelo.
- Se realizarán mediciones de resistividad en el área circundante a 1,5; 3; 4,5 y 6 metros de separación.
- Los datos obtenidos se registraron en una planilla específica destinada para este efecto, así también en la memoria interna del equipo.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA: 8 de 14
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	REV: 0

- Humedad: se registra el estado de humedad de los suelos en forma de apreciación y se opta por:
MH: muy húmedo H: húmedo S: seco
- Con las mediciones realizadas y de acuerdo con el siguiente cuadro se puede evaluar el tipo de suelo presente:

Tabla 7-1. Rango de Resistividad del suelo

Type of earth	Average resistivity ($\Omega\cdot m$)
Wet organic soil	10
Moist soil	10^2
Dry soil	10^3
Bedrock	10^4

Fuente: Tabla 8 IEEE Std 80-2013 Guide for Safety in AC Substation Grounding

8. EQUIPO DE MEDICIÓN

El equipo de medición utilizado en esta actividad es un telurómetro de cuatro puntas de la marca KYORITSU, modelo 4106, con número de serie E0120735. Este equipo cuenta con un certificado de calibración ICO-778-0288/24, emitido por el laboratorio ICOBOL S.R.L. el 19 de septiembre de 2024, bajo condiciones ambientales de 21°C y 47% de humedad relativa. (Ver Anexo 2).



Figura 8-1 Equipo de Medición de resistividad


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA:
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	9 de 14
		REV:
		0

9. MEDICIONES

Se realizaron mediciones en dos puntos ubicados en las cercanías del enmallado donde se ejecutará la ampliación del galpón de compresores. En cada punto se efectuaron mediciones de resistividad utilizando separaciones entre electrodos de 1,5 m, 3 m, 4,5 m y 6 m, de acuerdo con la metodología establecida. Ver Figura 9-1.1.



Figura 9-1 Puntos de Medición de Resistividad RES-01 y RES-02

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA: 10 de 14
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	REV: 0

10. PLANILLA DE MEDICIONES

Para las mediciones se obtuvieron los resultados que se muestran en la planilla 10-1.

Planilla 10-1 Resultados de Medición de resistividades del Suelo Estación Colpa

MEDICIONES EN CAMPO											$\rho= 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R$
PUNTO	COORDENADAS UTM	RESISTIVIDAD DEL SUELO EN FUNCIÓN AL MÉTODO WENNER (PROFUNDIDAD DE INSERCIÓN DE ELECTRODOS = 0,20 m)								ASPECTO FÍSICO DEL SUELO	
		a=1,5 m		a=3 m		a=4,5 m		a=6 m			
		R	ρ	R	ρ	R	ρ	R	ρ		
		Ω	$\Omega \times m$	Ω	$\Omega \times m$	Ω	$\Omega \times m$	Ω	$\Omega \times m$		
RES-01	S 8062415.00 E 471190.00	9,00	84,80	2,90	54,60	1,50	42,40	1,20	45,20	Suelo Arenoso y húmedo	
RES-02	S 8062377.00 E 471199.00	8,10	76,30	1,90	35,80	0,30	8,40	0,10	3,70	Suelo Arenoso y limoso .	
	a(m)	1.5		3,00		4,50		6,00		RESISTIVIDAD APARENTE PROMEDIO	
	$\rho=(\Omega \times m)$	80,55		45,20		25,40		24,45		43,90	

Con las mediciones realizadas, podemos elaborar el siguiente gráfico de Resistividad Aparente en el área de estudio, este gráfico nos permite visualizar de mejor manera el comportamiento de la resistividad con forme a la profundidad del suelo varia.

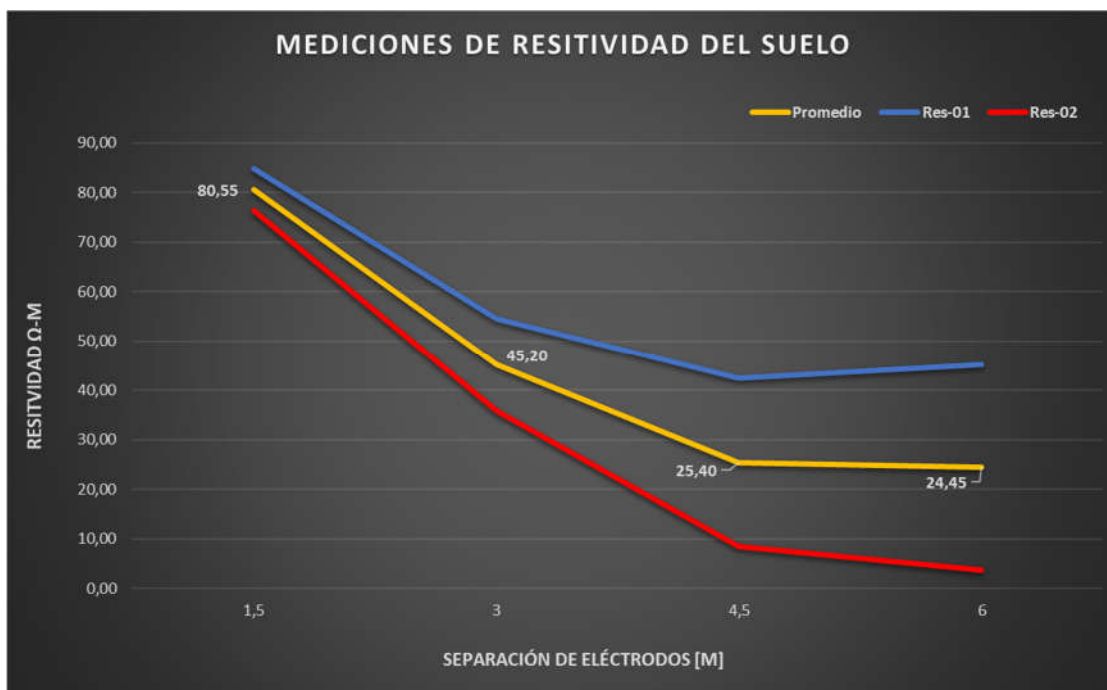



Figura 10-1 Resistividades Aparente del Suelo Estación Colpa

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA:
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	11 de 14
		REV:
		0

11. CONCLUSIONES

De acuerdo a las mediciones de resistividad realizadas en las áreas mencionadas en el alcance se concluye que:

- El rango de resistividad aparente promedio, para separaciones de electrodos de 1,5 m, 3 m, 4,5 m y 6 m, es de **43,9 [$\Omega \cdot m$]** (según se demuestra en la planilla de medición de resistividad). Este valor se considera óptimo para el diseño de la malla de puesta a tierra, de acuerdo con los criterios de la norma IEEE 80.
- Debido a que el día que se realizó la medición estaba lluvioso el terreno se encontraba húmedo por tanto las mediciones dieron valores bajos, al momento de la construcción se recomienda realizar nuevas mediciones de la resistencia de puesta a tierra y verificar que se cumplan los valores que se determinen en la Ingeniería.
- No se hizo mediciones en la zona de donde se va ampliar el galpón debido a que es un terreno bastante bajo y el mismo será rellenado, por tanto, cualquier medición realizada no representará el valor de resistividad final, una vez compactado el relleno. Por esa causa Se realizo mediciones en las proximidades donde ya se tiene terreno consolidado.

12. REPORTE FOTOGRÁFICO


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA: 12 de 14
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	REV: 0



Figura 12-1 Medición Res-01



Figura 12-2 Medición RES-01 a 4,5 metros



Figura 12-3 Medición RES-01


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA: 13 de 14
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	REV: 0



Figura 12-4 Medición Res-02



Figura 12-5 Medición Res-02 A 4,5 Metros

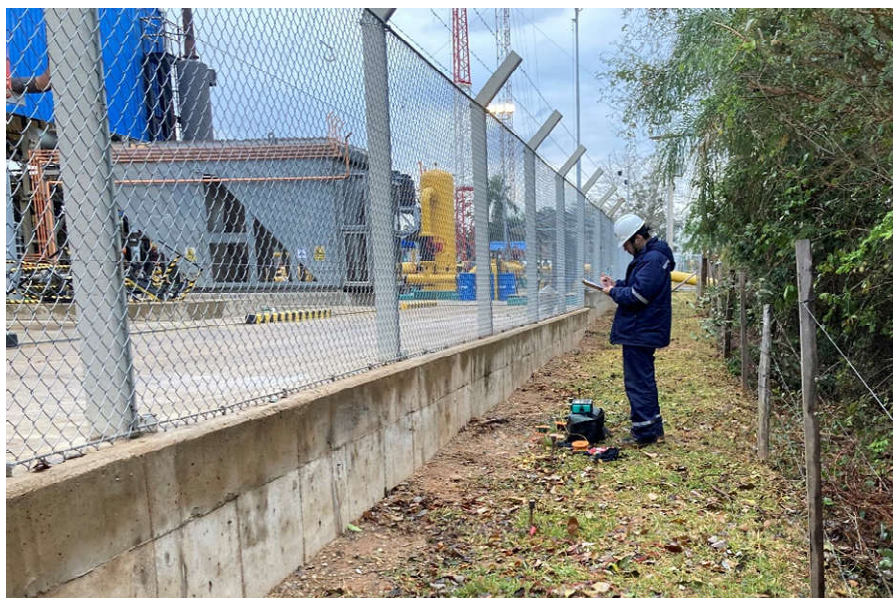



Figura 12-6 Medición Res-02

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	INFORME	IPE-2025-2977-E-IN-001
	TÍTULO:	HOJA:
	INFORME DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD	14 de 14
		REV:
		0

13. ANEXOS

13.1. ANEXO 1: PLANILLA DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD DEL SUELO.

13.2. ANEXO 2: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.