



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **Calibración de Instrumentación Electrónica de Laboratorios**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Eléctrico Electrónico**

**P R E S E N T A**

Aldo Durán Ramírez

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Jaime Baltazar Morales Sandoval



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

# Índice

---

- **Objetivo----- 2**
- **Introducción----- 3**
- **Descripción de la empresa-----5**
- **Marco Teórico-----7**
- **Antecedentes de los proyectos-----10**
- **Metodología-----12**
- **Participación profesional-----19**
- **Aportaciones-----27**
- **Conclusiones-----29**
- **Bibliografía y Referencias-----30**

# Objetivo.

---

Con este reporte de experiencia laboral se espera presentar la metodología para el servicio y mantenimiento de instrumentación electrónica de laboratorios que se realizan en un centro autorizado de fabricantes.

Esta experiencia, la presento como la forma adecuada para poder adquirir mi titulación como ingeniero, donde me permito ilustrar la contribución de mis conocimientos acumulados al paso de mi carrera profesional universitaria y cómo esta me ha permitido aplicar mis conocimientos al campo laboral.

Además de mostrar uno de los tantos campos laborales existentes para los ingenieros, así como mi capacidad como alumno de la Universidad Nacional Autónoma de México, pudiendo mostrar el potencial y lo mejor de mi universidad y de mi facultad que me ha formado.

# Introducción

---

En este informe podremos encontrar mi trabajo realizado y participación en diversos servicios realizados a laboratorios de instrumentación electrónica. Este trabajo lo realicé en un centro de servicio para distintos fabricantes existentes de los aparatos que se atendieron. De los cuales puedo mencionar Tektronix, Fluke, Intsek y Keysight.

El servicio lo realicé a diferentes entidades que contaban con laboratorios electrónicos, de los cuales mayoritariamente correspondían a universidades o centros de investigación. Siendo muchos de estos equipos adquiridos por los respectivos distribuidores.

De lo que puedo destacar, son las etapas de servicio para cada aparato; calibración, ajuste y reparación. Dependiendo del estado del equipo, las lecturas tomadas y procedimientos de garantía de calidad, tienen que pasar por estas etapas, ya sea por una, todas o repetir pasos incluso.

A la vez los equipos se podían separar ya sea por las funciones que realizan, y por la antigüedad del equipo. Cabe destacar que los equipos, en su mayoría, modelos del 2000 en adelante cuentan con una interfaz de programación. Lo que facilita el proceso de algunas etapas al automatizarse.

Los equipos que entran al centro de servicio, en muchas situaciones, representan un gran reto. Solo algunos de los equipos son posibles de reparar y otorgar un servicio correcto dentro del país; esto debido a que muchos de estos están designados a ser reparados en Estados Unidos. Sin embargo, esto representa un costo mayor para los clientes, por lo que nos hemos dado a la tarea de otorgar servicio a estos equipos y destacar el talento de la ingeniería mexicana. Estos equipos son tratados con el mismo alto estándar de calidad y servicio, a fin de demostrar la excelencia de nuestro servicio y las capacidades de las manos mexicanas.

Recalcando lo anterior, deja claro la necesidad de un ingeniero para llevar a cabo estas tareas. Estos equipos al ser muy especializados no pueden ser manejados por cualquier personal. Muchos de estos equipos, como ya se mencionó previamente, son utilizados en laboratorios científicos; por lo que es imperativo que la persona que vaya a realizar el servicio, sea alguien con los conocimientos de las medidas que van a ser realizadas, conocer las unidades de medición, que es lo que se mide con estos equipos, así como la habilidad para entender el funcionamiento interno de los equipos, aun siendo diferentes estos. De igual forma los servicios no se pueden realizar en cualquier

situación ambiental. Al ser equipo altamente sofisticado y sensible, es necesario que el personal tenga conocimiento de los factores externos que se envuelvan con el proceso, así como poder identificar la presencia de ellos cuando haya eventos no favorecedores en el proceso. Sin más, todo lo anterior es motivo claro de la necesidad de un profesionalista para prestar servicio a estos equipos.

# Descripción de la empresa

---

La empresa en la que pude laborar, es una empresa que se dedica a la venta y servicio de equipo de medición electrónica especializada.

Entre los principales clientes con los que trabaja, suelen ser universidades, laboratorios científicos, institutos de investigación, teledifusoras, proveedores de telecomunicaciones, entre otros.

Esta empresa cuenta con 20 años en el campo laboral, trabajando con distintos clientes altamente reconocidos que son leales a los servicios de la empresa, por la calidad así como la capacidad de respuesta ante los problemas o servicios que se requieran en este campo.

El objetivo principal de la empresa, es proporcionar un servicio de calidad, eficiente, confiable y costeable que lo lleve a tener un nivel competitivo a los servicios que proporcionan los fabricantes como Tektronix, Keysight, Instek , Fluke, por mencionar algunos.

A pesar de ser una empresa joven y mediana, a comparación de los fabricantes mencionados, se creó en el impulso de la ingeniería y el intelecto mexicano para poder resolver los problemas que se presentan y dar el servicio que sea requerido. Situación que se mostraría contraria al elegir a cualquier fabricante; pues los servicios que se necesitan, desde una simple revisión hasta una reparación, se efectúan en su 80% en el extranjero.

Una vez mencionado lo anterior, es clara la necesidad de ingenieros relacionados con electrónica, telecomunicaciones y computación, para poder desempeñarse en los puntos y objetivos deseados de la empresa.

En mi caso al entrar a esta empresa, inicié siendo pasante, para poder aprender cual es el trabajo que se realiza, la metodología y los estándares de calidad que se deben de cumplir. Todo esto en el área de servicio, claramente, donde me he visto involucrado desde entonces a atender a los aparatos que suelen entrar al centro de servicio.

A dos años de laborar en esta empresa, continúo en el área de servicio, donde principalmente me encargo de los equipos provenientes de las universidades con las que se tienen convenio. Esto por la experiencia que he adquirido en este tiempo, además del conocimiento existente de estos equipos por la experiencia trabajando con ellos.

Sin embargo, no me he encontrado limitado a esto únicamente, también he trabajado con proyectos externos a los que estoy asignado. Donde he tenido la oportunidad de profundizar mis conocimientos y observar el uso múltiple que tienen los equipos en el campo laboral.

En otras ramas en las que me he desarrollado, ha sido en la programación. A pesar de no verme tan involucrado, pero soy participe en la creación de las rutinas de automatización de servicio de los equipos.

En conclusión a ello, he tenido la gran oportunidad de desenvolverme como ingeniero en esta empresa, donde afortunadamente he podido poner en práctica mi conocimiento adquirido en la universidad, así como el conocimiento adquirido en el campo laboral. Siendo esto un beneficio recíproco entre la empresa donde laboro y mi conocimiento como estudiante de ingeniería.

# Marco Teórico

---

En la participación profesional hice uso de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera. Entre algunas de las asignaturas que puedo destacar y que fueron base y complementadas con esta actividad, son las siguientes:

➤ Probabilidad y Estadística

Aún siendo una asignatura del tronco común de la División de Ciencias Básicas, fue importante tener conocimiento de ella.

El proceso de calibración y ajuste, se realiza de acuerdo a ciertas formulaciones estadísticas calculadas con las mediciones que son obtenidas.

Estos cálculos son desviaciones estándar, errores, medias, medianas. Siendo estos algunos de los cálculos más sencillos. Algunos de estos cálculos son proporcionados por los manuales de servicio de los fabricantes, pero en la mayoría de los casos no lo son, simplemente algunas tolerancias.

Siendo esto, es necesario y funcional el conocimiento del cálculo de las mediciones estadísticas.

Además de ello muchas muestras tienen que ser medidas "n" cantidad de veces por lo que se hacen muestras probabilísticas que en muchas circunstancias es necesario modelarlas, por requerimiento de los manuales, para poder observar el patrón de comportamiento del equipo así como la precisión de la medición.

➤ Medición e Instrumentación

De todas las asignaturas está es una de las más importantes y formativas para que pudiese haber realizado mis labores en este trabajo.

En esta asignatura puedo destacar que fueron vitales los conocimientos de todo el temario, que está diseñado por la Facultad de Ingeniería.

En un principio, fue importante conocer los conceptos de medición, calibración, ajuste, variables, patrones, diferencias entre exactitud y precisión; así como distintos conceptos básicos.

Al igual lo que integra principalmente el curso, que es aprender el funcionamiento de los equipos de medición más importantes, desde un termómetro hasta un osciloscopio. Donde entender su funcionamiento o su principio ha sido esencial para mí, pues mi labor ha sido principalmente con estos equipos. De igual forma, saber que elementos los componen, como transductores, sensores, puentes de Weinn y distintos circuitos que pude ver a lo largo del curso.

Entre otros temas que igual puedo resaltar importante son todas aquellas normas de instrumentación que en la mayoría de los casos se encuentran reguladas por

alguna institución superior, que indica las mediciones que deben de ser correctas y que son la base para las mediciones certeras.

➤ Circuitos Integrados analógicos

Esta asignatura se encuentra relacionada completamente con la mayor parte de la circuitería interna.

Como lo menciona el nombre, los circuitos encapsulados tales como amplificadores, osciladores y otros. Son parte principal de lo correspondiente al temario.

De lo que puedo destacar importante es el aprendizaje del uso de amplificadores operacionales, que son los elementos más importantes en esta asignatura, al ser base para diseño de filtros, amplificación, operadores con señales, comparadores, osciladores, entre otras funciones.

El conocer las funciones de estos y sus topologías ha sido importante para entender cómo trabaja la circuitería interna de los equipos; especialmente en la etapa de reparación. Ya que en muchos casos la circuitería suele ser de montaje superficial y se carecen de diagramas, por lo que la aplicación de cierta parte de rediseño y conocimiento de las ecuaciones para los resultados esperados, son requeridos en el momento.

➤ Amplificadores Electrónicos

Al igual que la asignatura anterior, el enfoque en la circuitería interna es importante. A diferencia de la anterior, esta hace enfoque a elementos semiconductores de menor grado de integración, que son los transistores.

Considero importante esta asignatura, ya que la integración de los circuitos más complejos hace un mayor uso de transistores, llegando a un punto donde las topologías y diagramas de los circuitos de las tarjetas de los equipos, únicamente cuentan con estos elementos; a fin de reducir tamaño y espacio.

Esto es muy importante en el área de instrumentación moderna, dado que como comenté, el uso de montaje superficial igual trata de reducir en su mayor parte espacio. Por lo que la ausencia de estos conocimientos complicaría mucho la posibilidad de entender el funcionamiento de los circuitos y la analogía matemática de cómo va a comportarse cada elemento de acuerdo a la topología que se encuentre colocado.

➤ Sistemas Electrónicos Analógicos

Finalmente esta asignatura, que corresponde a la alta abstracción de sistemas ya integrados. Donde se da por sentado que contamos con los conocimientos

previos de cómo funciona una fuente, una pre-amplificación, conversión A/Dy D/A, modulación, entre otros.

Esta signatura me ayudó mucho, dado que al momento de recurrir a los manuales de servicio, todos ellos hacen referencia a una integración en bloques, la fuente, la etapa vertical de un osciloscopio, la etapa horizontal del osciloscopio, el trigger, la generación de las señales base del generador, la etapa de 5V fijo en una fuente dual fija, regulación de corriente de una fuente fija, entre otras etapas que podría mencionar.

Y al igual al momento de abrir los equipos saber distinguir cada etapa, y por ende deducir cual es el funcionamiento de cada subsistema que integra a cada uno de los bloques.

➤ Electrónica para Telecomunicaciones

Esta asignatura, a pesar de recurrir a la compilación de conocimientos adquiridos en cursos previos como Dispositivos Electrónicos y Amplificadores Electrónicos, fue rama importante para entender la base del funcionamiento de dispositivos específicos en las telecomunicaciones.

En ciertas ocasiones, tuve la necesidad de hacer uso de conocimiento de demoduladores; dado que en mi trabajo llegue a tener algunas oportunidades de trabajar con equipos designados para las comunicaciones de televisión.

Fuera de las asignaturas impartidas a lo largo de mi trayecto en la universidad, el acceso a información externa como:

➤ Manuales de servicio

En ellos se encuentra la mayor de la información pertinente de los equipos, sus especificaciones detalladas, los bloques internos que componen a cada instrumento, los requerimientos de operación de cada uno de los aparatos en calibración y ajuste, así como los procedimientos de ajuste respectivos de los bloques con acceso a servicio.

➤ Norma ISO/IEC 17025

En ella se encuentra la información pertinente de los estatutos que se deben de seguir para garantizar un servicio de calidad, certero y eficiente. Los pasos son aplicados en conjunto con los requerimientos de cada fabricante. Con el fin de poder cumplir en mínimo las regulaciones establecidas por el CENAM y el NIST,

instituciones superiores donde se basan las rutinas de calibración, parámetros metrológicos y reglas que deben seguir laboratorios secundarios.

# Antecedentes del proyecto

---

De acuerdo a los estándares establecidos por las instituciones de medición de cada país, es necesario mantener todo equipo o instrumento de medición calibrado con un patrón certificado, que nos indique que las medidas que se están tomando son fidedignas.

En el caso de los equipos electrónicos utilizados en laboratorios, donde los patrones involucrados como voltaje, corriente, frecuencia, resistividad, decibeles, entre otros; es necesario que las medidas se encuentren dentro de los rangos establecidos por cada fabricante.

Teniendo antecedente de esto, es necesario que los equipos se encuentren operando bajo estas condiciones. En algunos casos tienen que ser más rigurosas las medidas que se deben de leer. En el caso de las universidades, es importante en muchas formas; dependiendo de la orientación que se den a los equipos, ya sea para uso de investigación así como de propósito académico.

Que los instrumentos se encuentren dentro de los rangos establecidos es importante. Todo por una sencilla razón, al igual que un automóvil que recibe un servicio de afinación después de cierto kilometraje, para evitar un accidente o prevenir alguna falla por desgaste del auto; es la misma analogía hacia los equipos, por medidas de seguridad.

Retomando a las universidades, el mantener los equipos funcionando correctamente es una medida de prevención y de seguridad muy importante. En un laboratorio de investigación siempre se requiere que lo que se desee medir sea correcto, además de que cualquier investigación dejaría de ser fidedigna y acertada por este tipo de fallas, igualmente evitar que se presente algún inconveniente tales como descargas, corto circuitos e incluso la situación de carecer de estos para continuar con los labores.

De igual forma en un laboratorio académico, en donde se da por primera vez el contacto de alumnos con equipo de este tipo. La ignorancia de cómo saber utilizarlos, que conlleva a que los equipos se encuentren siempre en los límites de sus protecciones de seguridad, o simplemente que se ocasione el daño completo del equipo en uso. En caso permanecer así, no estar funcionando bien, es dejar un equipo propenso a daños mayores o a causar algún accidente provocado por la falta de servicio del equipo.

Concluyendo a ello queda más claro la necesidad de que los equipos se encuentren siempre funcionando bajo los estándares con los que fueron diseñados, para que trabajen correctamente y labores diarias no se vean afectadas por estos errores acumulados por el uso. Además de representar una inversión a largo plazo y más económica que reemplazar equipos continuamente, todo por la ausencia de servicios preventivos de funcionamiento.

# Metodología Utilizada

---

Todo equipo que entre a servicio tiene que pasar por una serie de etapas organizadas, que permiten determinar el estado del equipo de acuerdo a los estándares de cada fabricante.

## Chequeo inicial

Una vez que entra el equipo se procede a hacer una revisión rápida para determinar el funcionamiento de este. Las funciones que se proceden a observar son aquellas básicas que debe realizar el equipo en un principio.

Para ello el equipo procede inicialmente, durante el encendido, a hacer un análisis de todos los segmentos desplegando al final el status interno del equipo. En algunos casos hay equipos que cuentan con una función de auto diagnóstico. En caso de contarlos procedemos a correr la prueba y esperar el resultado de esta. Sin embargo este procedimiento primario solo puede ser efectuado con equipos digitales.

En el caso de los equipos que no cuenten con estas características, previamente mencionadas, solamente se procede a observar visualmente que el equipo encienda inicialmente, pues en primera instancia es imposible diagnosticar fallas o funcionamiento del equipo.

En muchos casos los equipos vienen en condiciones no muy favorables, refiriéndonos a la limpieza externa como interna. Este proceso es importante realizarse pues la suciedad da lugar a medidas inexactas o erróneas, además de que se debe evitar lo mayormente posible que este se pase a los equipos de calibración; que se utilizarán para diagnosticar y ajustar los equipos en servicio.

## Calibración

Una vez realizado el paso anterior, se procede a la calibración de los equipos. El proceso de calibración, de acuerdo a Taylor y Opperman (1986), se puede definir como la comparación de mediciones entre dos equipos, donde el calibrador se encuentra ajustado y avalado en sus medidas por alguna institución superior al laboratorio donde se realice el proceso.

En este proceso, lo que buscamos es la precisión de las lecturas. Sin embargo, el concepto es altamente confundido y tergiversado con el concepto de exactitud.

Recurriendo de nuevo a los conceptos establecidos por NIST, de acuerdo a Taylor y Opperman(1986), la precisión se puede definir como la variación de múltiples réplicas medidas en el mismo valor o punto; su variación y consideración dentro del rango de valores precisos es muy subjetivo dependiendo del uso que tengan los datos. En el caso de la exactitud, lo cercano que puede estar un valor medido del valor real.

Sin embargo, aun siendo conceptos diferentes, van de la mano. No se puede conseguir exactitud en una medición, si esta no es imparcial y precisa. Considerando lo anterior, dentro del proceso de calibración se desea conseguir un mayor precisión en las lecturas, no obstante lograr exactitud de los patrones medidos sería lo ideal.

Cada equipo de distinto fabricante cuenta con características y funcionalidades únicas y específicas, por ello cada equipo cuenta con un manual de servicio que proporciona una serie de pasos ordenados; donde se dividen las funciones de los equipos en etapas que delimitan específicamente el funcionamiento de cada bloque. Dentro de cada etapa se encuentran los requerimientos para realizar la tarea: los equipos requeridos que medirán los patrones del equipo en servicio, las conexiones que se deben de llevar a cabo, las tablas de mediciones que se deben de tomar y comparar, y los límites de tolerancia o los cálculos que se deben de realizar para obtener los rangos.

Una vez realizado todo el set de instrucciones especificados para cada etapa, se procede a analizar los resultados o mediciones que se recopilaron. Si estos valores se encuentran dentro de los parámetros establecidos, se le da buen visto al equipo y se procede a terminar el servicio avalando que el equipo se encuentra dentro de los estándares de la marca; por tanto el equipo puede trabajar correctamente durante un año hasta su siguiente servicio de mantenimiento.

En caso de que las medidas tomadas no coincidan y se encuentren fuera de rango se procede a la siguiente etapa de servicio.

En la mayoría de las situaciones el proceso implica realizar los cálculos correspondientes. Dado que muchos de los resultados no son obtenidos de forma directa. Muchos de estos siendo de tipo estadísticos y probabilísticos.

Como ejemplo, puedo resaltar los equipos de la marca Tektronix, los cuales suelen tener procedimientos donde hay que calcular los rangos de funcionamiento o hacer algún cálculo o tabulación adicional a lo medido con los equipos.

Como ejemplo el osciloscopio TEK 2247A, el cual requiere la obtención de los rangos de medición y funcionamiento de la etapa de "frecuencia"

CHARACTERISTICS	PERFORMANCE REQUIREMENTS
Frequency (cont)	
Gated Mode	
Resolution (Hz) <sup>a</sup>	$\pm \frac{1.4 \times TJE \times F^2}{N_g \times \sqrt{G}} \pm LSD$
Freq Gating Error (Hz) <sup>a</sup>	$\frac{0.5 \text{ ns}}{N_g} \times F^2$
Accuracy (Hz)	Resolution $\pm$ (F X TBE) $\pm$ freq gating error.
LSD (Hz) <sup>a</sup>	$\frac{F^2}{N \times 2 \times 10^8}$ No more than 8 digits displayed; minimum LSD displayed is 10 nHz (10 <sup>-9</sup> Hz).

Como se observa en la tabla, el osciloscopio tiene función adicional de contador de frecuencia. Para este modo es necesario considerar factores adicionales a las mediciones que se efectúen. Únicamente en el caso de la resolución de la frecuencia, es necesario saber:

- Ng: el número de disparos dentro un intervalo.
- G: el número de intervalos disparados en una medición, el cual se obtiene mediante una promediado del rango de repetición de los intervalos multiplicado por el tiempo de duración de cada intervalo considerando un rango de error:

$$G = (\text{Gate signal repetition rate}) \times (\text{Gate Time} \pm 0.01s)$$

- TJE: error de pequeños disparos dentro del disparo en el intervalo, que no es más que la desviación estándar del voltaje de la señal en medición
- LSD: el dígito menos significativo de la resolución de la frecuencia medida.

Esta simple ecuación es útil para poder obtener los rangos que permitan sesgar el o los valores de calibración que se recurran a medir en ciertas pruebas.

Así como este osciloscopio requiere previamente obtener los rangos de medición, también hay casos donde es necesario realizar un sesgo de las mediciones que se realizan. La más común, una distribución de Poisson.

Usualmente la obtención de ciertos voltajes, en escalas bajas (mV), y realizar de 10 a 20 mediciones, de las cuales se obtendrá el comportamiento de medición del osciloscopio. Sea preciso o no, de acuerdo a los resultados deseados a sus especificaciones.

El proceso de calibración es meticuloso, por lo que es necesario tener en cuenta las condiciones externas tales como humedad, temperatura ambiente, temperatura de los semiconductores del equipo en servicio, impedancias de los cables de conexiones, emisiones luminosas del cuarto donde se realiza el proceso, temperatura y tiempo de encendido de los equipos calibradores, y en algunos casos las variaciones de voltaje de alimentación. Estos puntos previamente mencionados, varían de acuerdo a las indicaciones establecidas por cada fabricante en los manuales de servicio de cada equipo.

Mencionado el protocolo anterior y recordando lo mencionado en el Marco Teórico de este reporte, todo este procedimiento debe seguir las normas establecidas por el ISO/IEC 17025 (2005), a fin de garantizar veracidad y calidad en los procedimientos realizados.

Citando algunos de los puntos más relevantes y claves para este procedimiento son:

- 4.1.2: "Es responsabilidad del laboratorio llevar a cabo las calibraciones siempre cumpliendo los estándares de esta norma internacional, y a su vez satisfacer los requerimientos de cada cliente, como los organizaciones regulatorias superiores al laboratorio (CENAM)."
- 4.2.1: "El laboratorio debe establecer, implementar y mantener un sistema administrativo apropiado del alcance de todas las actividades realizadas. El laboratorio tiene que documentar todas las políticas, programas, procedimientos e instrucciones necesarias, a fin de asegurar la calidad de los resultados obtenidos en las calibraciones o ajustes. La documentación debe de ser comunicada, disponible e implementada únicamente a personal capacitado para ello."
- 4.13.2.1: "El laboratorio debe tener la capacidad de almacenar la información obtenida durante la calibración, así como los reportes de calibración generados. Todo con el fin de mantener la información suficiente y saber todos aquellos factores que afecten de forma negativa el proceso. Además de contener la información del personal que ejecutó los procedimientos y el rendimiento de los equipos dentro de cada proceso."
- 5.2.1: "La administración del laboratorio debe de asegurar que todo el personal que opere equipo o instrumentos específicos para las pruebas y calibración sean lo suficientemente competentes. Todo el personal debe de estar calificado de acuerdo a sus capacidades, conocimiento de los equipos y en su defecto capacitados para poder usar los equipos en servicio."

- 5.3.1: "Las instalaciones del laboratorio dónde se realicen las pruebas y/o calibraciones, debe de estar adecuado para este uso; es decir, iluminación, tomas de corriente eléctrica y condiciones ambientales del laboratorio. Se debe de asegurar que ninguno de estos factores previamente mencionados alteren los resultados de las lecturas obtenidas de las calibraciones."
- 5.4.2: "El laboratorio debe de utilizar métodos de calibración y prueba que se adecuen a las necesidades de los equipos y a los requerimientos del cliente. Se debe de procurar utilizar métodos que hayan sido avalados por alguna institución superior, internacional o nacional, que cumpla con las cualidades del equipo en servicio. De igual forma es necesario que estos procedimientos sean los más recientes y actualizados al día que se realice la calibración."
- 5.5.1: "El laboratorio debe de estar equipado con los instrumentos de muestreo, prueba y calibración para poder efectuar correctamente los procedimientos necesarios para la calibración de los equipos."
- 5.6.1: "Todos los equipos que sean utilizados para calibrar, hacer pruebas o muestreos a los equipos en servicio, deben de estar previamente calibrados con aval y certificados por alguna institución ajena a laboratorio en mención."
- 5.9.1: "El laboratorio debe de mantener protocolos de control de calidad que monitoreen todas las pruebas y calibraciones efectuadas. Todas las muestras tomadas deben de ser evaluadas y comparadas a fin de que sea posible identificar patrones o anomalías; además de registrar y efectuar métodos estadísticos para poder evaluar claramente los procedimientos realizados."
- 5.10.1: "Los resultados de cada prueba y/o calibración realizada deben de ser reportados correctamente, siendo objetivos y sin ambigüedad alguna. Todo siempre de acuerdo a un set de instrucciones o manuales certificados para el equipo en proceso."

Cabe destacar que estos son solo algunos de los puntos más relevantes a mencionar; sin embargo no es prudente menospreciar el resto de los puntos que se deben de cubrir, dado que todos los puntos contenidos en la norma ISO/IEC 17025 son indispensables para poder considerar un laboratorio apto para efectuar calibraciones a instrumentación electrónica.

## Ajuste

Esta etapa del servicio solo se realiza a los equipos que en primera instancia no hayan pasado la etapa de calibración.

Como comenté previamente, en los manuales provistos por los fabricantes, se encuentran los diagramas de los bloques internos que conforman al equipo. Dependiendo de las lecturas que hayan sido detectadas como erróneas se procede a analizar el bloque que propicia a esta alteración.

En la mayoría de los casos el proceso de ajuste se puede llevar a cabo mediante el ingreso a funciones especiales de servicio integradas en el software del equipo, pero restringidas únicamente para personal autorizado. El proceso es muy variado y diferente en cada equipo de cada marca distinta. Puede ir desde ingresar los patrones y comparar la medida, ajustando al equipo en servicio a la medición correcta. Así como automatización del proceso donde software propio del fabricante reajusta el equipo a valores predeterminados de inicio. O en otros casos el ajuste de componentes variables internos a fin de lograr obtener la medición correcta.

Una vez terminado este proceso, procedemos a realizar de nuevo el paso anterior de calibración. Donde se volverá a realizar todas las etapas a fin de corroborar que ningún otro bloque se haya visto mermado por el proceso de servicio.

Si el proceso de calibración es exitoso, se procede entonces a dar por terminado el servicio y avalando al equipo a un funcionamiento correcto por un año de acuerdo a los estándares establecidos por el fabricante.

En caso contrario, y el equipo siga dando lecturas erróneas, se procede a entrar a la etapa de reparación.

El proceso de ajuste tiene que cumplir con los mismos estándares de calidad dictados por la norma ISO/IEC 17025. Dado que el tipo de procedimiento que se realiza aquí requiere la toma de lecturas, el uso de los instrumentos de calibración y el reporte de todo aquello que se vaya obteniendo a lo largo de la prueba; no cambia ninguno de los requisitos exigidos en la norma para esta etapa del servicio.

### Reparación

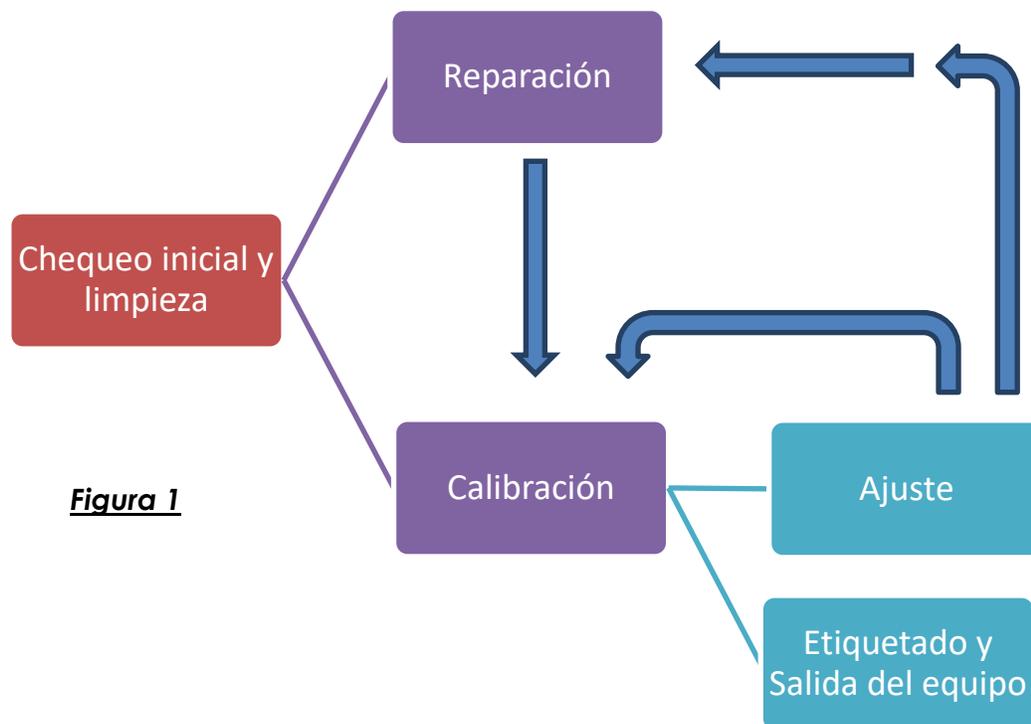
Esta etapa es exclusiva para aquellos equipos que de un principio en la etapa de chequeo inicial no funcionen correctamente o que no hayan pasado la etapa de ajuste satisfactoriamente.

Esta etapa al igual que la anterior es muy variada, dado que cada equipo es diferente y el problema que puedan presentar son diferentes y muy rara vez los mismos.

Usualmente en esta etapa se suele contar con los diagramas de circuito de cada bloque interno, sin embargo en muchos casos los manuales pueden omitir estos. Es aquí a donde se procede a hacer un análisis metodológico para poder encontrar la causa del problema, considerando las tecnologías distintas que cada fabricante proporciona a cada equipo.

Una vez que se encuentre el equipo funcionando correctamente, se procede a regresar de nuevo a la etapa de calibración; repitiendo los mismos pasos anteriores hasta llevar al equipo a tener mediciones fidedignas.

De manera condensada se puede observar en la *figura 1*, todo el proceso de servicio previamente descrito.



**Figura 1**

# Participación Profesional

---

Ya que explique los procesos de servicio, previamente, es posible que proceda a poner como ejemplo uno de los servicios anuales recurrentes a la Universidad Iberoamericana. Puedo destacar que hasta el momento, es de los mayores servicios que he proporcionado, dado que son aproximadamente 40 equipos cada periodo inter semestral; variando entre los laboratorios de diferentes carreras de ingeniería.

En este caso tomaré como ejemplo el servicio a los generadores de señales marca Agilent modelo 33120.

Este equipo cuenta con características adecuadas para el uso en laboratorios estudiantiles, que son las siguientes características:

- Generación de señales senoidales y cuadradas de hasta 15 MHz.
- Señales tipo rampa, triangular, DC y ruido.
- Un muestreo de 12 bits a una velocidad de 40 MSa/s.
- AM (int/ext), FM (int), FSK (int/ext), Barrido (int/extl).
- Operaciones de barrido lineales y logarítmicas.

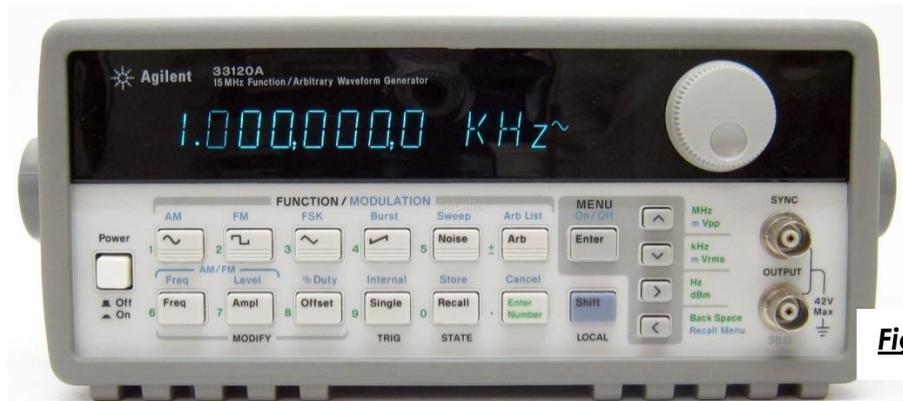
Para este equipo procederé a explicar cómo es el proceso en general sin enfocarme específicamente en un caso y recopilando los casos más comunes y relevantes que se han presentado.

## 1. Etapa de chequeo y limpieza

Como ya mencioné previamente, la primera prueba que ha de ser realizada es la limpieza y chequeo inicial del equipo.

Como primera instancia siempre se procede a probar el encendido del equipo.

Una vez realizado este, procedimiento, se revisa el funcionamiento general del equipo. A esto me refiero a comprobar que haya salida en los puertos correspondientes del equipo. Nada muy sofisticado, únicamente comprobando que haya señal de salida. En el caso de este equipo es muy importante hacer esta revisión, esto debido al uso que se da al equipo. Al ser material de laboratorio de estudiantes, en muchas ocasiones la inexperiencia lleva a conectar mal este equipo pudiendo dañarlo.



**Figura 2**

Como se muestra en la figura 2, el panel frontal de este equipo se encuentra constituido como se puede observar. Muchos de los equipos con el uso y las condiciones externas son propensos a la suciedad en potenciómetros, botoneras y membranas. Que es una razón para medidas y elementos de salidas no exactos o alejados de lo esperado.

En este equipo en específico es necesario revisar la membrana de botones y el control variable que utiliza. En ambos casos importantes, el primero debido que para acceder a varias funciones se tiende a realizar juegos de teclas, que si no funcionan correctamente es difícil acceder a estas funciones. En el caso del control variable, es importante de igual forma, pues es el control más utilizado en el equipo, además de que en el modo de servicio es necesario hacer barrido de valores con este.

Cabe mencionar que en esta etapa también consideraba los defectos que se pudiesen observar de primera instancia. Ya sea que no hubiese despliegue en el display, elementos rotos, componentes faltantes, etc. De ser así como se muestra en la figura 1, pasa directamente a la etapa de reparación.

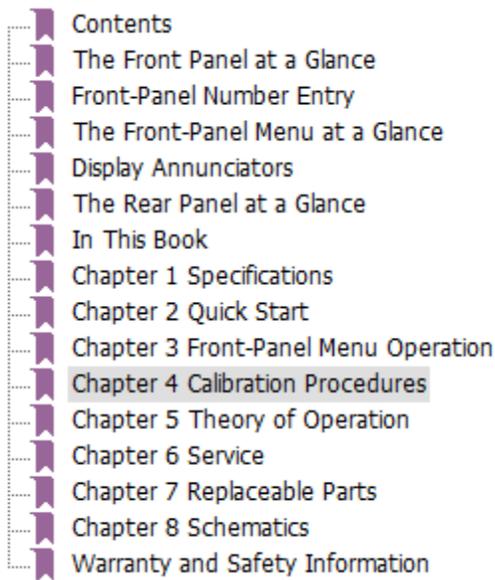
Todos los detalles notados en esta etapa son capturados en una aplicación dedicada de la empresa, por lo que en esta primera etapa queda registrado un diagnóstico inicial del estado del equipo y la fase a la que tendrá que pasar de acuerdo a su estado.

## 2. Calibración

Como mencioné previamente en las etapas del servicio. Este proceso se debe llevar a cabo siempre de acuerdo a la norma ISO/IEC 17025 y a los estándares establecidos por el fabricante. En este caso Keysight (antes Agilent).

El manual de servicio del equipo 33120A de Keysight ("Agilent 33120 Service Guide"), se encuentra la información como se muestra en el siguiente índice:

**Figura 3**



Contents
The Front Panel at a Glance
Front-Panel Number Entry
The Front-Panel Menu at a Glance
Display Annunciators
The Rear Panel at a Glance
In This Book
Chapter 1 Specifications
Chapter 2 Quick Start
Chapter 3 Front-Panel Menu Operation
<b>Chapter 4 Calibration Procedures</b>
Chapter 5 Theory of Operation
Chapter 6 Service
Chapter 7 Replaceable Parts
Chapter 8 Schematics
Warranty and Safety Information

Como se ve en la figura 3, se puede recalcar que este manual cuenta con la información necesaria para poder realizar el servicio de acuerdo a las especificaciones de Keysight.

Lamentablemente por ámbitos de privacidad es solo posible que de conocimiento de este índice y no más allá de este manual. Esto porque los manuales son provistos a los centros de servicio autorizados o aquellos centros que procedan a comprarlos.

No obstante, para esta etapa no omitiré ninguno de los pasos que se deben de cubrir.

Esta etapa es muy meticulosa, por lo que se deben considerar las peticiones de la norma derivada del ISO 9000 y al manual de servicio "Agilent 33120 Service Guide", siendo los siguientes puntos (de forma condensada) los factores externos que se deben de cumplir para realizar cualquier paso de los enunciados en el índice:

- Encender el equipo en servicio y los equipos calibradores: este proceso es importante realizarlo con cierto tiempo de anticipación, recomendado por el fabricante con un tiempo mínimo de 1 hora antes de que se vaya a proceder a dar inicio. Esto porque es necesario que los componentes, semiconductores en su mayoría, alcancen una temperatura en la que esté estable y constante, en la cual se pueda dar inicio al uso del equipo. Cabe mencionar que en este proceso igual se pueden presenciar fallas en los

equipos en servicio dado al efecto de la temperatura; de estar en este caso siempre procedía a ir directo a la etapa de reparación.

- Medición de patrones externos (Temperatura y Humedad): este paso es importante, pues es necesario saber si estos factores externos sean motivo para distorsión de las señales y/o lecturas. Como se sabe, los equipos siempre están diseñados para trabajar bajo ciertas condiciones ambientales. No obstante, el proceso siempre se lleva a cabo en un cuarto cuyas condiciones ambientales siempre sean favorables para realizar estas tareas. Para este equipo siempre una temperatura regulada de 18°C a no más de 28°C, abstención de humedad (< 80%) y presión atmosférica a nivel de la ciudad. En conjunto con el punto 5.3.1 de la norma ISO/IEC 17025, mencionado en el apartado de "Metodología Utilizada" apartado de "Calibración"; es imperativo que se cumpla este punto garantizando un laboratorio impecable con los requisitos de la marca y del ISO 9000.
- Cables y cargas adecuados: Es importante recalcar que a través de los cables siempre hay pérdidas, por lo que es necesario tener cables cuyas impedancias sean lo menor posible y que además sean de una distancia corta aceptable que no mermen las lecturas. De igual forma los conectores, en muchos equipos, es necesario acoplarles las entradas o conectar cargas que realicen ciertas tareas (cargas de 50  $\Omega$ , atenuadores, etc) siempre utilizando aquellas con una medida más precisa y de materiales que no lleven a pérdidas. Para esto, todo fabricante exige y recomienda que se utilice material original de la marca, el cual está fabricado con los requerimientos pedidos; o en su defecto con distribuidores exclusivos de este tipo de material.

Previamente mencionado el protocolo inicial necesario para poder realizar este procedimiento, los equipos y herramientas que suelen ser necesarias para realizar la tarea son los siguientes:

- Contador de Frecuencia, con capacidad de medir en el rango de los MHz.
- Multímetro digital de 5 a 6 dígitos, con funciones integradas para medir en DC, AC y funciones añadidas como medidor potencia.
- Osciloscopio, con un ancho de banda mayor al del generador, así como funciones que permitan captar el barrido y tomar lecturas de las señales a medir.
- Cables tipo BNC, con una distancia de un metro a menor con alta impedancia y funcionamiento en frecuencias de kHz a MHz.

- Cargas de  $50\Omega$  con acoplamiento tipo BNC y con funcionamiento en un rango de frecuencias de kHz y MHz.

Una vez claro estos puntos anteriores es posible que explique el proceso de calibración del equipo.

El protocolo de calibración del generador de funciones 33120A se encuentra dividido en los siguientes bloques de revisión, de acuerdo al fabricante:

- Verificación de frecuencia

En este bloque se comprueba la precisión de las frecuencias generadas. Para esta etapa se trabaja con dos de las señales básicas, a una misma frecuencia de 1 kHz.

Siendo la primera una señal senoidal con amplitud de 3.5 Vrms. Seguida de una cuadrada, donde la frecuencia y amplitud se mantienen, pero se aplica la función de barrido a 500Hz, siendo este el valor deseado a medir con el contador de frecuencia.

- Verificación de linealidad y ganancia de señal generada

En este bloque lo que se desea corroborar es la precisión de la amplitud de la señales que pueden ser generadas por el equipo, senoidal, cuadrada, rampa y triangular.

Ajustando a los valores del equipo a los valores RMS y las frecuencias establecidas, se mide con multímetro digital las lecturas obtenidas.

- Verificación de compensación de señal en DC

Esta prueba solamente se procede a medir el offset generado por el equipo, donde se lleva a los valores límites existentes, de -10Vdc a 10Vdc. El multímetro en modo de DC, procede a medir estos valores.

- Verificación de amplitud en AC

En este bloque lo que hemos de medir es la precisión de la calibración de la amplitud de salida de las señales generadas. Mas a trasfondo este chequeo, lo que verifica es la precisión de los pre atenuadores y post atenuadores del equipo. En esta prueba es importante la consideración de las impedancias de salida, ya sea en alta impedancia o  $50\Omega$ . Con el multímetro digital se proceden a tomar las lecturas que se midan.

- Verificación de respuesta plana de amplitud en AC

Como su nombre lo dice en esta prueba se debe de verificar la respuesta plana de ciertas señales a frecuencias seleccionadas.

A frecuencias variables y con una impedancia de salida de  $50\Omega$ , se procede a medir en el multímetro digital un valor constante de  $3V_{rms}$ , como lo marca el manual. Variando su rango de error, de acuerdo a la frecuencia en la que se esté trabajando

- Verificación de profundidad de modulación en AM

En este bloque se comprueba la modulación de AM que puede producir el equipo. Con el multímetro digital, se procede a corroborar, a ciertas frecuencias fijas, la modulación que el equipo puede realizar

De los bloques anteriores, todas las mediciones tomadas son anotadas en una tabla donde previamente se encuentran anotados los rangos de error, con lo que se comparan las medidas tomadas y se dan por buenas o por fallidas las pruebas.

Todo este procedimiento es posible hacerlo de manera manual, sin embargo al ser aproximadamente 50 mediciones diferentes, se vuelve bastante tediosa la realización de la calibración.

Por ello este proceso y el de muchos otros equipos se procedió a ser automatizado. Con la ayuda de otros integrantes de trabajo, se procedió a realizar esta tarea.

En el caso de la rutina realizada para estos equipos, cuentan con una interfaz llamada GPIB, que permite comunicar a los instrumentos con la computadora. La interfaz es multipropósito, dado que es posible controlar y dar instrucciones al equipo, así como solicitar mediciones de las señales con los que se trabaje. En general, el software que

permite esto, funciona como un puerto que permite acceder a la comunicación con los equipo de GPIB-USB o USB-USB. El resto de las instrucciones o rutinas que se deseen realizar tienen que ser programadas con algún compilador, ya sea Visual Studio, C#, Java, MatLab, entre otros.

En el caso del programa desarrollado por el equipo de trabajo, permite la comunicación del generador, los equipos calibradores y la computadora. Donde desde la computadora se manda a correr cada bloque de manera individual, obteniendo de vuelta una base de datos organizada con los valores medidos, comparados con los rangos y con un veredicto muy estricto the "PASS" o "FAIL".

Una vez que realizaba el procedimiento anterior (manual o automatizado), terminada la tabla de mediciones, procedía siempre a checar y corroborar que el equipo cumpliera con los valores deseados.

Si el equipo se encontraba dentro de los valores establecidos, entonces el servicio se daba por terminado y se pasaba a la etapa de etiquetado y salida. Siendo lo opuesto, se pasaba a la etapa de ajuste.

### 3. Ajuste

La etapa de ajuste, como se mencionó previamente, se procede a ajustar los valores predeterminados del equipo, con el fin de que este proporcione lecturas dentro del rango de valores establecidos.

Para este equipo, una vez realizado el proceso de calibración y de ser necesario el ajuste, dentro de su configuración tiene un acceso mediante el panel donde es posible cambiar los valores predeterminados.

Así como el procedimiento de calibración se encuentra agrupado en bloques de acuerdo a funciones específicas, el panel de ajuste se encuentra ordenado en el mismo orden.

El acceso a esta función, es directamente en el panel del equipo, el cual se encuentra bloqueado por un candado que es únicamente posible para uso de personal autorizado.

Una vez dentro del panel, este despliega una lista de valores enumerados del 00 hasta los existentes de acuerdo al modelo y versión del equipo. Estos valores, de acuerdo al manual cada bloque ocupa un rango de valores; como ejemplo, donde del 00 al 05 corresponden a la frecuencia, por mencionar uno.

Una vez que se sabe que bloque se encuentra fuera de rango, conectamos el equipo con los mismos equipos que deben realizar la prueba en la etapa de calibración. Cada valor enumerado se entra a modificar, con la medición real en los equipos calibradores, el valor base en el equipo se mueve hasta que se encuentre en el valor obtenido de medición.

Este proceso se realiza para todos los valores del bloque, sin importar que solamente uno se encuentre fuera de rango.

Una vez concluido esto, es necesario volver a hacer la calibración, a fin de corroborar que el ajuste fue exitoso y que ningún otro sector se vio afectado.

#### 4. Reparación

Si el equipo por alguna razón no funciona correctamente, no pasa ninguna de las etapas de calibración ni ajuste. Entonces es necesario realizar una reparación al equipo.

Como se mencionó previamente en las etapas anteriores, al realizarse un reporte con las anotaciones, fallas y anomalías que se presentan, se empieza a realizar un proceso de análisis de detallado del equipo en cada uno de sus bloques componentes; con el fin de aislar el problema y poder trabajar únicamente en esa área determinada.

Puedo destacar que las fallas en estos equipos pueden variar mucho de acuerdo al manejo que se les dé.

Entre los problemas más comunes que pude encontrar fue la ausencia de señal de salida. Esto se debe a un mal manejo del equipo, cuando en su puerto de salida recibe algún voltaje, lo que lleva a que el sistema de protección se active y bloquee por completo la etapa de salida. Entre ello, a pesar de contar el sistema de protección se quemaron algunos componentes usualmente elementos semiconductores, que protegen al equipo.

En algunos casos, también daños a la fuente de poder del generador, por alguna descarga que se produzca en la toma, donde igual se aísla únicamente ese bloque y se chequean aquellos elementos que puedan haberse dañado, una vez detectado y reparado esta parte, igual chequear que el daño no se haya propagado a más etapas.

Como mencioné ya, los daños son muy variados y dependen mucho del uso y tiempo de servicio con el que recurrentemente estén tratados los equipos.

Afortunadamente, estos equipos han reducido en un 70% los daños, por este servicio preventivo que se les da cada año y el compromiso que se tiene con la Universidad Iberoamericana para mantener los laboratorios en un estado impecable.

# Aportaciones y Resultados

---

El trabajar como becario durante un tiempo en esta compañía me permitió abrir mi panorama de la labor que puede realizar un ingeniero en la sociedad. Los conocimientos que fueron adquiridos durante el tiempo que realizaba mi trabajo fueron un conjunto para nutrir de manera práctica lo que veía en clases y en los laboratorios.

Puedo destacar que mi participación en los proyectos fue esencial con el paso de los meses. En un principio, no era más que un becario que estaba intentando aprender la labor que se realizaba. Pero al avanzar me fui dedicando más a ciertos proyectos de acuerdo a mis conocimientos existentes, lo cual fue dando pauta a que adquiriera experiencia y eventualmente se me designara la responsabilidad de estar a cargo de ellos; como lo ha sido el trabajo con ciertas universidades.

Estando a cargo de estas labores, me permitió tener un mayor nivel de responsabilidad en mi trabajo, además de darme un grado de mayor importancia en mi labor. Con esto igual conllevó a dedicarme más con mi trabajo, que a final de cuentas se ha visto reflejado por los dos años que me he encontrado activo laborando para esta compañía.

El trabajo en específico con la Universidad Iberoamericana ha sido de mis más importantes participaciones. Retomando mi cargo, y las exigencias de calidad esperadas por el servicio, siempre me vi obligado a igualar y superar la labor como si fuese realizado por los mismos fabricantes de los equipos.

Además de que era importante mi participación, al conocer mejor algunos equipos fui requerido en la automatización de los servicios de ciertos modelos en específico, a pesar de no estar directamente involucrado en la programación de estos.

Todo lo anterior en cuanto a los beneficios que contribuí a la empresa, en los aspectos personales, trabajar y estudiar a la vez ha sido un complemento importante en mi formación como ingeniero. Pues además de validar mis conocimientos, el involucrarme en el campo laboral ratificó mi capacidad cognitiva y dio una orientación más clara a ciertos tópicos que no habían sido tan claros su uso en la vida profesional.

Además del gran crecimiento en conocimientos, como persona, esta experiencia ha sido un impulso en mi madurez como adulto profesional. Pues siempre tuve y he tenido que mantener un comportamiento responsable y conciso, al tener la presión de fechas de entrega, mantener siempre el mismo estándar sin importar la cantidad de equipo que entraran en servicio, así como tiempo de respuesta efectivo para mi superior. Por otra parte mantener un comportamiento ético, pues de mi trabajo y validaciones, dependen mucho del funcionamiento diversos laboratorios y el trabajo de los clientes;

ya que en mis manos recaía dar el visto bueno o reparar las fallas de equipos, que son parte importante de otras compañías, tales como Devlyn o centros de investigaciones como el Instituto de Investigaciones Eléctricas. Donde los equipos deben estar bien porque el funcionamiento de otros materiales, equipo o instalaciones dependen de ello.

# Conclusiones

---

El trabajar en conjunto con mi formación profesional ha sido un evento y situación importante que considero me ha puesto en ventaja sobre otras formas de titulación.

El poder trabajar en una empresa dedicada completamente a la ingeniería electrónica, me abrió por completo el panorama del campo laboral de un ingeniero en electrónica, en específico en el campo de la medición e instrumentación. Además de que me dejó más claro lo necesario que somos para la sociedad y nuestro requerimiento en varios campos laborales, que en un principio jamás me lo pude imaginar.

Puedo destacar que trabajar con equipos orientados para distintos propósitos me hizo darme cuenta, que mi profesión tiene una gama muy amplia de aplicación, de aplicaciones médicas como para equipos de óptica y audición, acústica y audio para ambientar cines, aulas magnas y salones; centros de investigaciones de diversos propósitos (biología, química, física, eléctrica), en las telecomunicaciones de TV a telefonía, en multimedia como el campo cinematográfico, el área militar y aérea; y podría seguir contando con todas las áreas donde es necesario un ingeniero eléctrico electrónico. Y cabe resaltar lo necesario de saber manejar correctamente los equipos de instrumentación que se utilizan para realizar todas estas tareas. Lamentablemente es bastante complicado en nuestro país poder ver más claro la función de un ingeniero en el campo laboral, por la falta de apoyo y sustento a esta área; por lo que me muestro sumamente agradecido por haber tenido la oportunidad de laborar en esta empresa.

Además esta experiencia, como he mencionado previamente, me ayudó a madurar de forma más rápida en lo que corresponde como profesionista, dando me los valores necesarios y formando poco a poco cada uno de ellos con la experiencia que fui adquiriendo a lo largo de mi paso en esta empresa. Puedo destacar mi responsabilidad, respeto, puntualidad, dedicación, empatía, lealtad, honradez y otros valores que van definiendo más clara mi personalidad en el ámbito laboral. Pues el estar trabajando me puso los pies en la tierra, pues todo lo que hacía bien o mal, tenía sus repercusiones que al final daban la imagen de lo que era mi trabajo, mi formación como persona y lo que representaba viniendo de la UNAM, además de con los clientes la imagen que daba la compañía.

Finalmente puedo decir que esta experiencia simplemente adelanto lo que todos como profesionistas tenemos que afrontar al entrar al campo laboral, sin embargo la ventaja de entrar antes me ha dado lo mejor de los dos mundos, y complementado para que al salir, no llegase en ignorancia total y experimentar a prueba y error siendo un ingeniero ya formado.

# Bibliografía y Referencias

---

- Taylor K. & Opperman V. (1986). "Handbook for the Quality Assurance of the Metrological Measurements (Handbook 145)". Gaithersburg: National Bureau of Standards.
- ISO/IEC 17025 (2005). "General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories". Switzerland: ISO 2005.
- Keysight [Agilent] (2002). "Agilent 33120A Service Guide". Palo Alto, CA: Agilent Technologies Inc.
- TEK (1989). "Service Manual 2247A Portable Oscilloscope". Beaverton, OR: Tektronix Inc.