

## 4 Teoría de diseño de Experimentos

### 4.1 Introducción

---

En los capítulos anteriores se habló de PLC y de ruido, debido a la inquietud por saber si en una instalación eléctrica casera que cuente con el servicio de PLC, las cargas o electrodomésticos conectados a la red eléctrica son capaces de introducir ruido a la comunicación del PLC. Para llevar a cabo las pruebas necesarias para obtener resultados que aclaren esta duda, es necesario pasar por un proceso de experimentación y pruebas con el fin de obtener datos reales y que se puedan analizar objetivamente para llegar a una conclusión. Es por esto que en este capítulo se aborda el tema de la teoría para el diseño de experimentos, de forma que las mediciones que se pretenden hacer, estén respaldadas por un método científico y/o estadístico. Al final del capítulo se mostrará el esquema para llevar a cabo el experimento para la obtención de muestras del ruido generado por diversos electrodomésticos.

**4.2 Teoría del diseño experimental**

---

Los experimentos se realizan virtualmente en todos los campos del conocimiento, por lo general, con la intención de descubrir algo acerca de un proceso o sistema en particular. El diseño de experimentos se define como un conjunto de técnicas activas que manipulan el proceso para inducirlo a proporcionar la información que se requiere para mejorarlo. [20] El diseño estadístico de experimentos es la forma más eficaz de hacer pruebas en los procesos. Consiste en determinar las pruebas pertinentes y el método para realizarlas, para obtener datos que al analizarlos estadísticamente se arrojen conclusiones.

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso. En el diseño experimental se planea un conjunto de pruebas experimentales de manera que los datos generados puedan ser analizados estadísticamente para obtener conclusiones válidas y objetivas. [26]

Sir Ronald A. Fisher fue el innovador del uso de los métodos estadísticos en el diseño de experimentos. Durante algunos años estuvo a cargo de la estadística y del análisis de datos en la estación agrícola experimental Rothamsted en Londres, Inglaterra. Fisher desarrolló y usó por primera vez el análisis de varianza como herramienta primaria para el análisis estadístico en el diseño experimental. Muchas de las primeras aplicaciones de los métodos del diseño experimental se dieron en el área de agricultura y ciencias biológicas, sin embargo, las primeras aplicaciones industriales del diseño experimental se hicieron en la década de 1930. Después de la Segunda Guerra Mundial,

los métodos del diseño experimental se introdujeron en las industrias químicas y de transformación en Estados Unidos y Europa. La industria de los semiconductores y la Electrónica se ha servido también por muchos años y con considerable éxito de los métodos del diseño experimental. [20]

Los métodos de diseño experimental tienen amplia aplicación en muchas disciplinas. En efecto es posible considerar a la experimentación como parte del proceso científico y una de las formas en que aprendemos acerca de la forma en que funcionan los sistemas o procesos. Realizamos experimentos para generar datos a partir del proceso, y entonces usamos la información del experimento para establecer nuevas conjeturas. [20]

Alguna aplicaciones del diseño experimental en el diseño técnico son:

- Evaluación y comparación de diseños básicos.
- Evaluación de materiales alternativos.
- Selección de parámetros de diseño con el fin de mejorar un sistema.[31]

## **4.2.1 Conceptos y Definiciones**

### **4.2.1.1 Experimento**

Un experimento es un procedimiento en el cual se crean pruebas con el fin de verificar una o varias hipótesis relacionadas con un fenómeno determinado. En un experimento se inducen cambios en las condiciones de operación de un sistema con el

objetivo de medir el efecto del cambio en una o varias propiedades del producto. [20] La experimentación constituye uno de los elementos clave del método científico y es fundamental para ofrecer explicaciones causales. [16]

Un experimento generalmente se realiza por alguno de los siguientes motivos:

- Determinar las causas de variación en la respuesta.
- Comparar las respuestas en diferentes niveles de observación de variables controladas.
- Obtener un modelo estadístico-matemático que permita hacer predicciones de respuestas futuras. [31]

#### **4.2.1.2 Unidad Experimental**

Es el material para evaluar la variable respuesta y al que se le aplican los distintos niveles de los factores de tratamiento para obtener una medición o dato representativo. Una persona, una unidad de tiempo, una señal, entre muchas otras, pueden ser consideradas como unidad experimental.

#### **4.2.1.3 Variables, factores y niveles**

Una variable es la característica de un objeto que puede ser observada, medida y analizada para encontrar las respuestas al problema en cuestión. Según el papel que desempeñan en el experimento. [17]

Un factor es aquella variable de interés cuyo posible efecto sobre la respuesta se quiere estudiar; por otro lado, los niveles de un factor son los tipos o grados específicos del factor que se tiene en cuenta en la realización del experimento [31].

En todo proceso intervienen distintos tipos de variables o factores:

- *Variable de respuesta:* es la característica del producto cuyo valor interesa mejorar mediante el diseño de experimentos.
- *Factores controlables:* Son variables de proceso que se pueden fijar en un punto o en un nivel de operación.
- *Factores no controlables o de ruido:* son variables que no se pueden controlar durante la operación normal del proceso.
- *Factores estudiados:* son las variables que se investigan en el experimento para observar cómo afectan o influyen en la variable respuesta.
- *Niveles y tratamientos:* son los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental. Una combinación de niveles de todos los factores se llama tratamiento o punto de diseño.[20]

#### **4.2.1.4 Errores**

El error designa las pequeñas diferencias entre el valor exacto y el observado en cada medición [14]. En otras palabras, indica cómo es determinada situación cuando no se obtienen resultados idénticos cuando dos unidades son tratadas igualmente.

Se puede considerar los siguientes errores:

- *Error Aleatorio*: es la variabilidad observada que no se puede explicar por los factores estudiados; y resulta del pequeño efecto de los factores no estudiados y del error experimental.
- *Error Experimental*: es un componente del error aleatorio que refleja los errores del experimentador en la planeación y ejecución del experimento.

#### **4.2.2 Principios Básicos**

El diseño de experimentos trata de fenómenos que son observables y repetibles. Sin pensamiento estadístico los conceptos de observabilidad y repetibilidad son inherentemente contradictorios. Nada ocurre de la misma forma dos veces, incluso las mediciones del mismo evento varían.

Para que los datos obtenidos en un proceso experimental sean útiles para responder a las preguntas del planteamiento del problema, se apoya en los siguientes principios [20]: de aleatorización, repetición y bloqueo.

##### **4.2.2.1 Aleatorización**

Se entiende por aleatorización el hecho de que tanto la asignación del material experimental, como el orden en que se realizan las pruebas individuales o ensayos se

determinan aleatoriamente. Esto ayuda a cancelar los efectos de factores extraños que pudieran estar presentes [26].

#### **4.2.2.2 Repetición**

Implica correr más de una vez un tratamiento o combinación de factores. Permite obtener una estimación del error experimental. Tal estimación se convierte en la unidad básica para determinar si las diferencias observadas en los datos son estadísticamente significativas [26].

#### **4.2.2.3 Bloqueo**

Es una técnica que se usa para incrementar la precisión del experimento nulifica o toma en cuenta en forma adecuada todos los factores que puedan afectar la respuesta observada. [20]

### **4.3 Proceso para la medición de ruido**

---

Tal como se ha descrito anteriormente, el diseño de experimentos esta basado en la determinación y estudio de todas las variables de interés que pueden afectar el proceso del fenómeno de estudio.

A continuación, se mencionan las etapas sugeridas para una planeación y diseño de experimentos adecuados, mediante las cuales se pueda obtener datos suficientes para

ser analizados estadísticamente con el objeto de tener una visión global del comportamiento del fenómeno o del proceso con el cual se está experimentando.

### **4.2.3 Etapas en el diseño de experimentos**

Un aspecto fundamental del diseño de experimentos es decidir las pruebas o tratamientos que se van a correr en el proceso, con el fin de enfocarse en la variable de interés y para obtener la máxima cantidad de información. También es necesario definir el número de corridas o repeticiones a realizar en el experimento y la forma en que se combinarán para que sea de forma aleatoria.

#### **4.2.3.1 Planeación**

La planeación está compuesta por las actividades encaminadas a entender el problema, el diseño y la realización de las pruebas experimentales adecuadas. Un planteamiento claro del problema contribuye a menudo en forma sustancial a un mejor conocimiento del fenómeno y de la solución final del problema. [26]

El proceso de planeación consiste en los siguientes puntos:

- Definición de hipótesis.
- Variables y factores.
- Selección del diseño.
- Definición de la variable dependiente.



- Aleatorización.
- Planeación del trabajo.

#### **4.2.3.1.1 Definición de hipótesis**

En este punto se plantea el problema de forma concreta y se definen claramente los objetivos, los alcances y limitaciones del experimento, esto contribuye a mejorar el conocimiento del fenómeno, por ende a la solución del mismo. Se deben obtener datos que demuestren el impacto del problema, para lo cual es necesario medir y definir el punto de partida. Generalmente los objetivos se afinan durante el proceso de diseño del experimento.

#### **4.2.3.1.2 Variables y Factores**

En este punto se determinan los factores a estudiarse de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta. También se eligen las variables de respuesta que serán medidas en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable. La elección de estas variables es el objetivo del experimento, por lo que se deben seleccionar las que mejor reflejen el problema. [20]

#### **4.2.3.1.3 Selección del Diseño**

Seleccionar el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento [20]. Es en este momento donde conviene establecer el

número de muestras que han de tomarse y la forma en como han de hacerse las corridas del experimento. Cabe mencionar, que entre mayor sea la cantidad de datos recolectados y las repeticiones del experimento, se tendrá un mejor punto de comparación, para establecer la relación entre las variables.

#### **4.2.3.1.3 Definición de la variable dependiente**

La variable dependiente es el resultado del experimento, se puede afirmar que es la variable que proporciona la información que se está estudiando.

Para evitar confusión entre la variable dependiente y otras variables, se ha de definir los factores de ruido y las variables de bloqueo puesto que pueden afectar de forma indirecta a la variable dependiente, por lo que se han de tomar medidas para contra restar sus efectos.

#### **4.2.3.1.4 Aleatorización**

Como se mencionó anteriormente, el proceso de aleatorización es fundamental en el desarrollo del experimento puesto que permite que la información recolectada de la variable dependiente se deba a las variables independientes y no a situaciones provocadas.

**4.2.3.1.5 Planeación del trabajo**

Planear y organizar el trabajo experimental con base en el diseño seleccionado. Se recomienda seguir un diagrama de flujo en donde se tomen en cuenta cada punto del diseño del experimento [17].

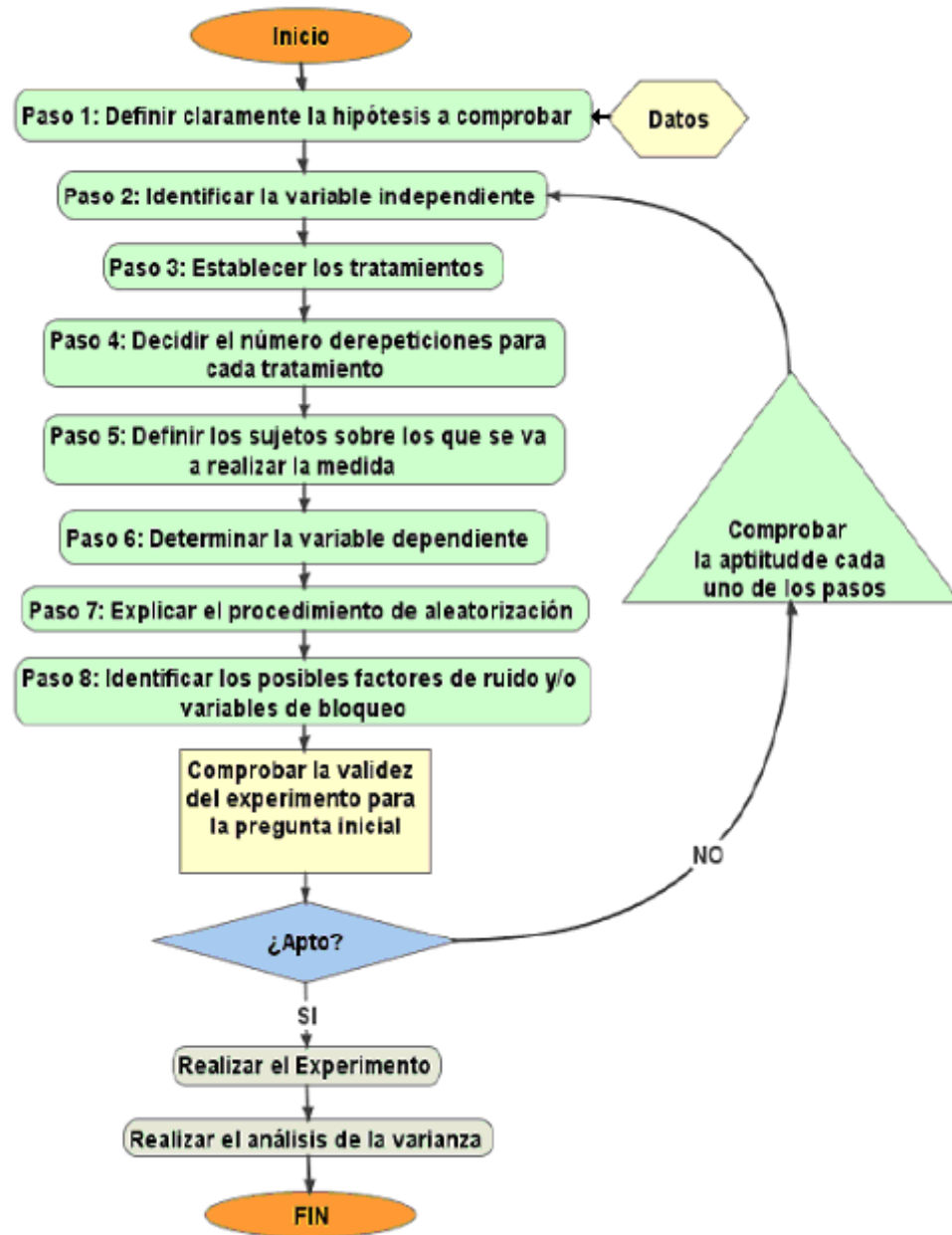


Figura 4.1 Diagrama con las etapas para el diseño de Experimentos [17]

#### **4.2.3.2 Análisis de datos**

Se debe determinar el modelo de análisis de varianza o la técnica estadística que mejor describa el comportamiento de los datos [20], lo cual no sólo permite al investigador tener un adecuado manejo de los datos, sino que al mismo tiempo puede servir para realizar estimaciones del comportamiento futuro del fenómeno.

Los métodos estadísticos sólo proporcionan directrices para la veracidad y validez de los resultados. Las técnicas estadísticas, aunadas a un buen conocimiento técnico o del proceso y al sentido común suelen llevar a conclusiones razonables [26].

#### **4.2.3.3 Interpretación**

Más allá del análisis estadístico formal, se debe analizar a detalle todo el proceso de experimentación para observar los nuevos aprendizajes que se lograron durante todo el proceso [20] y observar si existe una mejor manera de llevarlo a cabo ya que por lo general todo experimento es iterativo.

#### **4.2.3.4 Conclusiones Finales**

Una vez que se han analizado e interpretado los datos, se debe extraer conclusiones prácticas de los resultados. También, deben realizarse corridas de seguimiento y pruebas de confirmación para validar las conclusiones del experimento, y con base en los resultados, formular nuevas hipótesis.

#### 4.2.4 Diseño del experimento para la medición de ruido generado por electrodomésticos

<b>Etapa</b>	<b>Concepto</b>
Planeación	Se plantea el problema del ruido y se evalúa si es posible estudiar el fenómeno. En caso afirmativo, se buscan las pruebas y actividades para llevar a cabo el experimento.
Hipótesis	Determinar si el ruido armónico generado por distintos electrodomésticos puede llegar a interferir con la comunicación de PLC.
VARIABLES INDEPENDIENTES Y FACTORES	La fuente de energía, cada uno de los electrodomésticos, son la variable independiente. Las respuestas entre encendido, apagado y combinación entre los electrodomésticos son los factores.
Tratamientos	Utilizando una fuente de energía independiente, se tomarán las muestras de las respuestas en frecuencia de las señales de voltaje y corriente de cada uno de los electrodomésticos
Repeticiones y Muestras	Se realizan como mínimo dos repeticiones, y se toma el mayor número de muestras considerando siempre las que tengan mayor relevancia.
Unidad Experimental	El experimento se realiza con una planta de energía de gasolina, con equipo de medición de laboratorio que permita obtener la respuesta de la señal de los electrodomésticos tanto en el dominio del tiempo como en frecuencia.
Variable Dependiente	Ruido armónico generado por los distintos electrodomésticos.
Aleatorización	Las muestras se tomarán al azar, considerando las más significativas a lo largo de todo el barrido en frecuencia.
Efectos de Ruido	El ruido aleatorio de una red de distribución eléctrica puede afectar la respuesta. Para evitar este ruido, se utilizará una planta generadora con lo cual nos aseguramos que el ruido siempre sea el mismo y se pueda considerar como una constante
Interpretación y Conclusiones	Analizar todo el proceso y observar si se puede mejorar. Una vez obtenidas y graficadas las muestras, realizar el análisis estadístico y concluir acerca del comportamiento del fenómeno.

Tabla 4.1 Definición del diseño de experimento para la medición de ruido armónico generado por electrodomésticos.

**4.3 Resumen**

---

A lo largo de este capítulo, se trató el tema de la teoría de diseño de experimentos, la cual da pie a la realización de un experimento exitoso. Se expusieron los conceptos y puntos claves de manera clara y concisa, con lo cual se presentó un esquema para la realización experimental y toma de muestras del experimento de interés para esta tesis.

En los siguientes capítulos se presentará el proceso de experimentación así como los resultados del mismo, en donde se hará uso de técnicas estadísticas y de gráficos que ayuden a una mejor visualización del resultado.