



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE HUATUSCO**

**Análisis de diseño factorial para la mejora del desempeño de un
dispositivo ahorrador de gas.**

Tesis

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
Ingeniero Industrial.

PRESENTA:
Fernando Flores Marini

DIRECTOR DE TRABAJO RECEPCIONAL
M.I. Ana Laura Piña Martínez

HUATUSCO, VER.

Noviembre 2018.

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico Superior de Huatusco



Huatusco, Ver., a 25 de Octubre de 2018.

Fernando Flores Marini
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERIA INDUSTRIAL.
PRESENTE.

En relación a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación que después de haber sido analizado exhaustivamente la **TESIS** titulada:

“Análisis de diseño factorial para la mejora del desempeño de un dispositivo ahorrador de gas.”

Se le notifica que a mi juicio este cumple con los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes de la **TESIS**, por lo que se autoriza su impresión.

ATENTAMENTE.

ING. DAVID GERARDO VELASCO GONZÁLEZ
DIRECTOR DEL ITSH.



INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE HUATUSCO
CLAVE 30EIT0013Z
DIRECCION GENERAL



Avenida 25 poniente num. 100 Col. Reserva Territorial
Huatusco, Veracruz, México. C.P. 94100
Tel. (01 273-734-40-00), e-mail: tec_huatusco@hotmail.com
www.itshuatusco.edu.mx



***“Que tus sueños no sólo sean eso que está detrás de tu almohada;
tus sueños son las acciones y aspiraciones que consigues día con día”***

Fernando Flores Marini

Agradecimientos

A Dios por darme la habilidad y la confianza de creer en mí, ante todo.

A mis padres y hermanos que nunca me dejaron de apoyar.

*A mi esposa Abigail y mi hija Maia Fernanda;
que son mi inspiración para seguir creando mis sueños.*

A mi asesora de titulación

M.I. Ana Laura Piña Martínez

Índice

Índice de Tablas	6
Índice de Figuras	6
1. Introducción	7
1.1. Antecedentes	9
1.2. Descripción del problema.....	10
1.3. Planteamiento del problema	10
1.4. Objetivos de la investigación.....	12
1.4.1. Objetivo General.....	12
1.5. Justificación de la investigación.....	13
1.6. Alcances y limitaciones.....	13
1.7. Hipótesis	14
1.7.1. Hipótesis Nula.....	14
1.7.2. Hipótesis Alternativa	14
2. Marco teórico.....	15
2.1 Introducción al Diseño de Experimentos.....	16
2.2 Definiciones.....	18
2.3 Diseño experimental	20
2.4 Etapas del diseño experimental	22
2.4.1 Planeación	22
2.4.2 Análisis	23
2.4.3 Interpretación	24
2.4.4 Conclusiones finales.....	24
2.5 Principios básicos del diseño experimental	24

2.6 Clasificación del diseño experimental	26
2.7 Definiciones básicas en el diseño experimental	27
2.8 Análisis de varianza (ANOVA)	30
2.8.1 Pasos para llegar al ANOVA	32
2.8.2 Análisis de varianza	33
2.8.3 Diseño factorial 23	36
2.8.4 Análisis del diseño factorial 23	37
3. Desarrollo experimental.....	39
3.1 Planeación	39
3.1.2 Análisis	45
3.1.3 Interpretación	48
4. Conclusiones y recomendaciones.....	52
4.1 Conclusiones.	53
Bibliografía	54

Índice de Tablas

Tabla 3. Tabla de signos del diseño factorial 23	38
Tabla 4. Factores para el experimento 23	41
Tabla 5. Número de tratamientos.....	42
Tabla 6. Número de corridas experimentales.	43
Tabla 7. Resultados de los experimentos	44
Tabla 8. Resultado de las pruebas.....	45
Tabla 9. Efectos del diseño experimental 23	46
Tabla 10. Suma de cuadrados del diseño experimental 23	47
Tabla 11. Análisis de varianza del experimento.....	47

Índice de Figuras

Ilustración 1. Estadística del consumo de gas LP en México.	12
Ilustración 2. Clasificación de los diseños experimentales. (Gutiérrez 2004).	20
Ilustración 3. El proceso de generación de aprendizaje y conocimiento como un ciclo de retroalimentación.	21
Ilustración 4.	31
Ilustración 5. Pasos para llegar al ANOVA de un diseño de experimento 2k	32
Ilustración 6. ANOVA para el diseño factorial 22	35
Ilustración 7. Diseño factorial 23 y su representación gráfica.....	37
Ilustración 8. Resultados de los tratamientos.....	48
Ilustración 9. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	50

1. Introducción

En el mercado existen productos que ayudan a disminuir el consumo de gas. Estos se enfocan principalmente al acondicionamiento del gas antes de la combustión al aumentar la energía de salida.

Con este proyecto se pretende disminuir el consumo del combustible y contribuir a la economía familiar.

El dispositivo indudablemente impactará en la sociedad y en el medio ambiente ya que una de las razones para usarlo es que reduce las emisiones de CO₂, al tardar menos tiempo en llegar a la temperatura requerida para la cocción de los alimentos utilizando la flama mínima.

Lo anterior provocará que la duración del gas se prolongue y la adquisición del combustible se realice en periodos mayores, lo cual permitirá un ahorro sustancial en la economía familiar.

La presente investigación busca a través de la utilización de herramientas de Ingeniería Industrial realizar un análisis de un diseño factorial a un dispositivo ahorrador de gas elaborado con Barro que permita el mayor ahorro posible en el uso de combustible y tiempo de cocción de los alimentos.

Para lograr lo anterior, se pretende llevar a cabo un estudio en el cual se utilizará dicho dispositivo creado a base de barro. Se planearán los experimentos y las corridas definiendo la variable de respuesta. Posteriormente ya con los puntos definidos, se llevará acabo el experimento.

Con los datos obtenidos se procederá a realizar un análisis de varianza, lo cual nos permitirá aplicar distintas pruebas estadísticas a fin de determinar el tratamiento óptimo.

1.1. Antecedentes

Como individuos tomamos decisiones que afectan la forma y la cantidad en la que, por nuestras actividades, se consume energía y, por lo tanto, se emiten gases de efecto de invernadero. Algunas de estas decisiones son cotidianas y tienen que ver con la forma en que operamos los dispositivos que consumen energía. Aquí nuestros hábitos determinan si desperdiciamos o no energía.

Uno de los factores es la falta de conciencia e información en el uso responsable y eficiente de la energía y otros recursos.

Todos los días, muchas veces sin notarlo, desperdiciamos agua, alimentos, electricidad, gas, combustibles líquidos y muchos productos más que son necesarios para nuestro bienestar.

El objetivo de la presente investigación es realizar un dispositivo que se adapte en la estufa disminuyendo el tiempo de cocción de los alimentos y además que permita almacenar la energía liberándola poco a poco por un lapso de tiempo.

El dispositivo generará un campo térmico que permitirá calentar ciertos alimentos después de tener la estufa encendida, aprovechando la energía remanente almacenada en las paredes de este accesorio.

Para analizar el material que da como resultado el punto óptimo de la variable de respuesta, se aplicará la técnica de Diseño de Experimentos (DDE).

Teniendo en cuenta el diseño del dispositivo de acero inoxidable, cuya patente fue otorgada en octubre de 2017. Esta investigación retoma el diseño para generar un dispositivo con un material alternativo: El Barro. Con lo cual se pretende disminuir el costo de producción y que un mayor número de personas puedan tener acceso al mismo.

1.2. Descripción del problema.

Debido al alto consumo de gas que se está generando en los últimos tiempos y el alto desembolso económico que esto genera, muchas personas están teniendo problemas para obtener nuevas opciones para cocinar. Una gran mayoría de personas están empezando a optar por estufas eléctricas, pero, a largo plazo de igual manera implica un desembolso excesivo de dinero en el recibo de luz. Una estadística encontrada dice que los casi 90 millones de consumidores invierten 108 pesos más en un tanque de 20 kilos. El gasto residencial para calentar agua y cocinar alimentos, per cápita es de 74 kilos al año.

El precio del gas licuado de petróleo (LP), combustible que utilizan 7 de cada 10 hogares mexicanos para calentar agua y cocinar alimentos, se encareció 40 por ciento en 2017, primer año en el que los precios dejaron de estar regulados por el gobierno y se liberalizaron para fluctuar de acuerdo con las condiciones del mercado. Anteriormente se había realizado estudios con un dispositivo de acero inoxidable, el cual, al colocarlo en las hornillas de la estufa, se esperaba tuviera un ahorro sustancial, pero no fue así. El alto costo del dispositivo se aproximaba a los 300 pesos, ya que al ser un material de acero inoxidable eleva su valor. Entonces se comenzaron a investigar diferentes tipos de materiales de los cuales no se había probado su funcionamiento.

1.3. Planteamiento del problema

México ocupa el tercer lugar a nivel mundial en el consumo de Gas LP y el primero en consumo doméstico.

Se cree que el Gas LP continuará como la principal alternativa de combustible. El precio del gas licuado de petróleo (LP), combustible que utilizan 7 de cada 10 hogares mexicanos para calentar agua y cocinar alimentos, se encareció 40 por ciento en 2017, primer año en el que los precios dejaron de estar regulados por el

gobierno y se liberalizaron para fluctuar de acuerdo con las condiciones del mercado. (Miranda, 2018)

El presente proyecto tiene como finalidad analizar a través de un diseño factorial el material óptimo a emplear en la elaboración de un dispositivo cuya acción principal es la reorientación y acumulación de energía calorífica en las estufas de gas y como resultado de este fenómeno lograr el ahorro en el consumo del combustible. Dicho dispositivo se coloca entre las hornillas y las parrillas de todo tipo de estufas de gas, su acción provoca la disminución en el tiempo de cocción de los alimentos y además permite almacenar la energía liberada por un lapso de tiempo.

Realizado con el fin de obtener numerosas y notables ventajas respecto a otros medios existentes.

Es un dispositivo que a través de la concentración y conservación de la energía calorífica permite el ahorro del consumo del gas y con ello prolonga el tiempo de servicio de un tanque normal o uno estacionario, contribuyendo a minimizar el gasto familiar y al cuidado de este recurso no renovable.

ALGUNAS CIFRAS DEL GAS LP EN MEXICO

Concepto	Monto (Aprox.)
Servicios diarios	1 millón
Hogares que lo utilizan	20 millones
Preferencia de los Hogares	80%
Servicios de reparto diario cilindros portátiles	540,000
Servicios de reparto diario a tanques estacionarios	460,000
Plantas de almacenamiento	980
Estaciones de Carburación	2,689
Vehículos que usan Gas LP	400,000
Cilindros en circulación	20 millones
Tanques estacionarios	2, 2 millones
Camiones de reparto portátil	14,200
Camiones de reparto estacionarios	10,000
Tractocamiones con semi remolque	3,212

Fideicomiso de Reposición de Activos para la Industria de Gas L.P.



Ilustración 1. Estadística del consumo de gas LP en México.

1.4. Objetivos de la investigación.

1.4.1. Objetivo General.

Realizar un análisis de diseño factorial a un dispositivo ahorrador de gas elaborado a base de barro, cuya acción principal sea la reorientación y acumulación de energía calorífica en las estufas de gas, lo cual provoque un ahorro en el consumo de este combustible, mismo que se vea reflejado en la economía de las familias.

Objetivos Específicos.

Los objetivos del presente estudio son:

- Desarrollar un dispositivo que se adapte en la estufa domestica de gas y que sea capaz de retener cierta cantidad de calor después de un lapso de servicio.
- Realizar el dispositivo utilizando barro, cuya característica es la retención de energía calorífica.
- Desarrollar un modelo de diseño factorial a fin de analizar los tratamientos formados considerando los factores que afectan el comportamiento de la variable de respuesta.
- Determinar los puntos óptimos del experimento.
- Realizar la comparación de los resultados de la variable de respuesta de un dispositivo hecho a base de acero inoxidable y uno hecho de barro.

1.5. Justificación de la investigación.

Algunos de los principales motivos para la realización de dicha investigación y validación de los dispositivos son:

- Mejorar el rendimiento en el consumo de Gas LP.
- Beneficiar a familias con la reducción económica en la compra de combustible. (decir que las familias ya no gastaran tanto dinero)
- Reducir las emisiones de CO₂.
- Contribución al cuidado de un recurso no renovable.

Esto conlleva a obtener beneficios que logran presentarse a corto y mediano plazo, logrando generar un impacto altamente positivo a la población, con el fin de atender en tiempo y forma las necesidades que se presentan en cada hogar.

1.6. Alcances y limitaciones.

Una de las variables de ruido que afectan el experimento son las condiciones medio ambientales de la zona en la cual se desarrolla el proyecto de investigación. La cual provoca una variabilidad que no se pueden controlar durante la operación normal

del proceso. Por ejemplo, algunos factores que suelen ser no controlables son la luz, humedad, temperatura, partículas, ruido, etc.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis Nula

No existen diferencias significativas entre el tiempo promedio de ebullición de 250 ml de agua al utilizar un dispositivo ahorrador de gas en conjunto con diferentes materiales (Peltre, Barro, Aluminio) para la cocción de alimentos.

1.7.2. Hipótesis Alternativa

Existen diferencias significativas entre el tiempo promedio de ebullición de 250 ml de agua al utilizar un dispositivo ahorrador de gas en conjunto con diferentes materiales (Peltre, Barro, Aluminio) para la cocción de alimentos.

2. Marco teórico

2.1 Introducción al Diseño de Experimentos.

Investigadores de prácticamente todos los campos de estudio llevan a cabo experimentos, generalmente para descubrir algo acerca de un proceso o sistema particular (Montgomery D. , 2004). Las personas realizan experimentos frecuentemente, por ejemplo; trabajadores de una ciudad buscan el camino más corto y/o rápido para llegar a trabajar, en cada casa se experimenta con las recetas de cocina para mejorar el sabor de los platillos o se analizan distintas alternativas para mejorar el estado físico (Ryan, 2007).

En la industria, la experimentación suele utilizarse básicamente en dos áreas: el diseño y la mejora de procesos y productos. La experimentación proporciona en estos casos la descripción aproximada de cómo se comportan los procesos y/o productos, restringida a una sesión de interés. La mejora de los procesos es generalmente el objetivo hasta que este alcanza el nivel deseado (Ryan, 2007). Pero, la mayoría de los problemas industriales, están acondicionados por el tiempo y el presupuesto, lo que supone una limitación importante a la hora de experimentar. Por eso todas las empresas deberían intentar responder antes de realizar sus experimentos la siguiente pregunta: ¿cómo puedo obtener de los experimentos la mayor información posible y de la manera más eficiente? (García, 2015).

En el diseño experimental, se identifican los efectos de las variables controlables e incontrolables del producto. Este enfoque minimiza las variaciones en las dimensiones y propiedades del producto y finalmente lleva la media al nivel deseado (Kalpakjian, 2006). Los métodos utilizados para el diseño experimental son complejos. Comprenden el uso del diseño factorial y de los arreglos ortogonales, que reducen el número de experimentos requeridos. También son capaces de identificar los efectos de variables que no se pueden controlar (llamadas ruido), como los cambios en las condiciones ambientales. El uso de estos métodos produce (a) la rápida identificación de las variables de control (observando los efectos

principales), y (b) la habilidad para determinar el mejor método de control del proceso. Algunas veces, el control de estas variables requiere equipo nuevo o modificaciones importantes al equipo existente (Kalpakjian, 2006).

Es común que estas pruebas o experimentos se hagan sobre la marcha, con base en el ensayo y error, apelando a la experiencia y a la intuición, en lugar de seguir un plan experimental adecuado que garantice una buena respuesta a las interrogantes planteadas. Algo similar ocurre con el análisis de los datos experimentales, donde más que hacer un análisis riguroso de toda la información obtenida y tomar en cuenta la variación, se realiza un análisis informal, “intuitivo”. Es tal el poder de la experimentación que, en ocasiones, se logran mejoras a pesar de que el experimento se hizo con base en el ensayo y error. Sin embargo, en situaciones de cierta complejidad no es suficiente aplicar este tipo de experimentación, por lo que es mejor proceder siempre en una forma eficaz que garantice la obtención de las respuestas a las interrogantes planteadas en un lapso corto de tiempo y utilizando pocos recursos. El diseño estadístico de experimentos es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas.

El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso o resolver un problema (Pulido, 2012).

Algunos problemas típicos que pueden resolverse con el diseño y el análisis de experimentos son los siguientes:

1. Comparar a dos o más materiales con el fin de elegir al que mejor cumple los requerimientos.
2. Comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.

3. Determinar los factores (las x vitales) de un proceso que tienen impacto sobre una o más características del producto final.
4. Encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad, por ejemplo) donde se reduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso.
5. Reducir el tiempo de ciclo del proceso.
6. Hacer el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales.
7. Apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos.
8. Ayudar a conocer y caracterizar nuevos materiales (Pulido, 2012).

2.2 Definiciones.

El término “experimento”, se refiere a la creación y preparación de lotes de prueba que verifiquen la validez de las hipótesis establecidas sobre las causas de un determinado problema o defecto, objeto de estudio. En un experimento, el experimentador elige ciertos factores para su estudio, los altera deliberadamente de forma controlada y después, observa el efecto resultante (Fundibeq, 2018).

Una vez definido el tipo de estudio a realizar y establecer las hipótesis de investigación, el investigador debe concebir la manera práctica y concreta de responder a las preguntas de investigación. Esto implica seleccionar o desarrollar un diseño de investigación y aplicarlo al contexto particular de su estudio. Diseño se refiere al plan o estrategia concebida para responder a las preguntas de investigación. El diseño señala al investigador lo que debe hacer para alcanzar sus objetivos de estudio, contestar las interrogantes que se ha planteado y analizar la certeza de las hipótesis formuladas en un contexto en particular. (Martínez, 2008).

La metodología estadística por excelencia para optimizar la experimentación se conoce como Diseño de Experimentos, la cual se abrevia como DDE o DOE proveniente de su significado en inglés: “Design of Experiments”. Se define

simplemente como un método para aplicar sistemáticamente la estadística al proceso de experimentación. Más precisamente, puede ser definido como realizar un conjunto de pruebas en las cuales se realizan cambios voluntarios a los parámetros de control de un proceso o sistema, para observar e identificar las razones de los cambios en la variable de salida o respuesta del proceso (Montgomery D. , 2004).

De acuerdo al libro análisis y diseño de experimentos, (Pulido, 2012) el diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso. Actualmente se utiliza en la industria como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, con ellas se maximiza la eficacia de los procesos minimizando los costos. El diseño de experimentos no solo permite que un producto contenga la calidad requerida desde la etapa del diseño del producto y del proceso.

El diseño de experimentos la técnica de definir e investigar todas las condiciones posibles en un experimento que envuelve múltiples factores 33 como lo es el diseño de experimentos. En la literatura esta técnica es también referenciada como diseño factorial. Los conceptos de diseño de experimentos han sido usados desde el trabajo de Fisher (Fisher, 1953). El diseño experimental de acuerdo con el libro Manufactura, Ingeniería y Tecnología (Kalpakjian, 2006) identifica los efectos de las variables controlables (factores) de un producto o proceso e incluye el desarrollo del diseño factorial, combinándolo con los arreglos ortogonales.

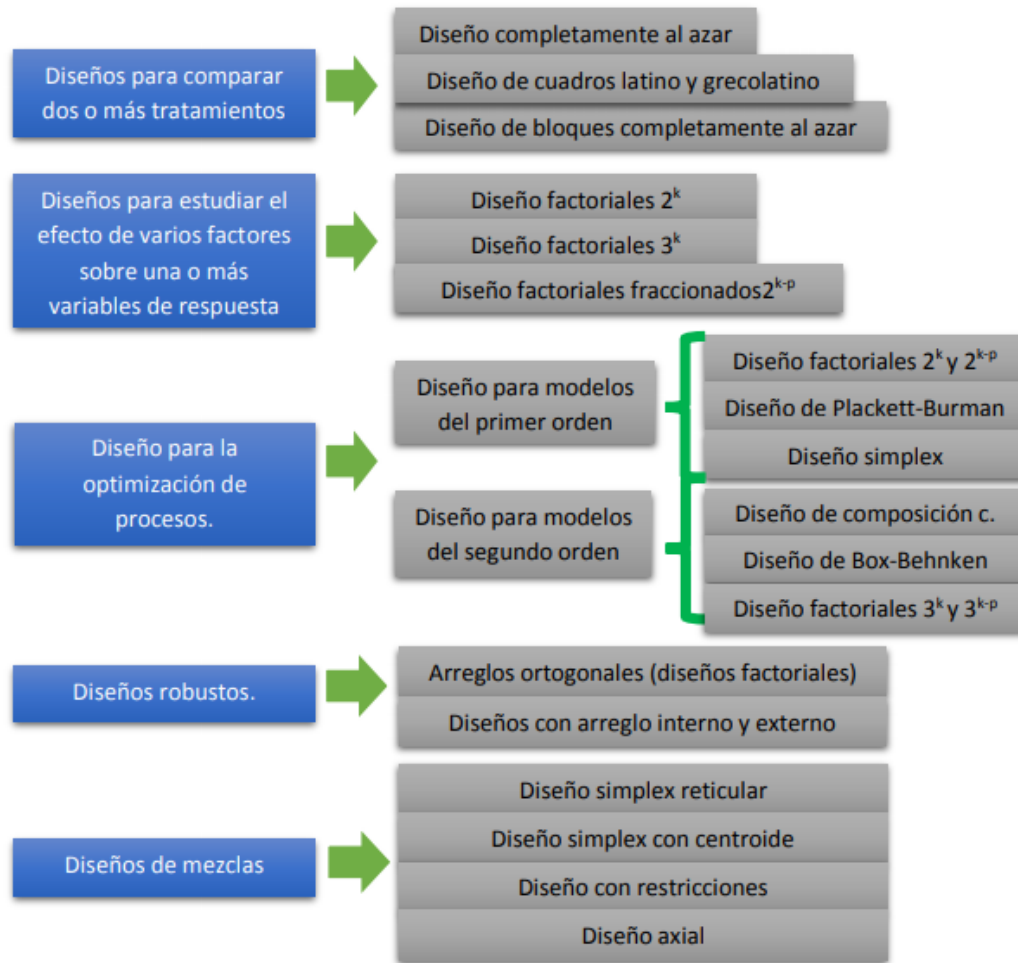


Ilustración 2. Clasificación de los diseños experimentales. (Gutiérrez 2004).

2.3 Diseño experimental

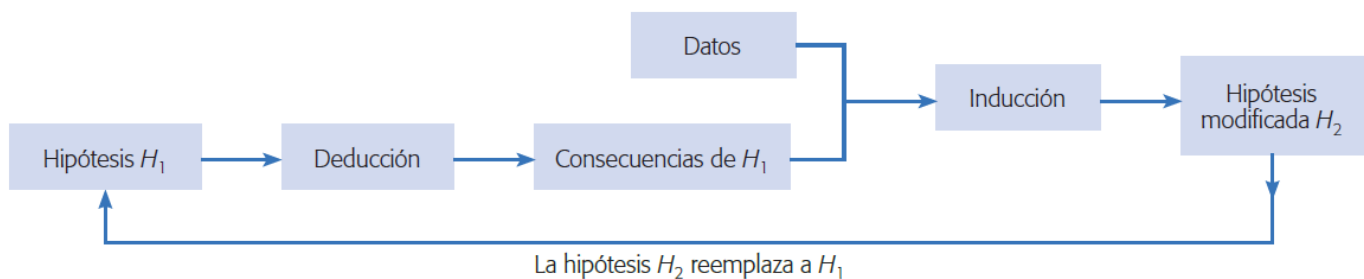
El diseño de experimentos es fundamental en la investigación científica, cuyo objetivo es ampliar el conocimiento que sobre la naturaleza y la humanidad se tiene.

En el caso de la ciencia, el objetivo es producir conocimiento y soluciones fundamentales, por tanto, aquí es más necesario recurrir a estrategias bien planeadas que lleven a responder con mayor seguridad y amplitud las interrogantes planteadas. También en este campo encuentra el obstáculo de la estrategia tradicional de la prueba y error.

El objetivo de los métodos estadísticos es lograr que el proceso de generar conocimiento y aprendizaje sea tan eficiente como sea posible. Este proceso ha demostrado, a lo largo de la historia de la humanidad, ser un proceso secuencial en el cual interactúan dos polos por un lado la teoría, modelos, hipótesis, conjeturas, supuestos y por el otro la realidad, hechos, fenómenos, evidencia, datos.

EL proceso interactivo de aprendizaje puede visualizarse con un ciclo de retroalimentación:

Ilustración 3. El proceso de generación de aprendizaje y conocimiento como un ciclo de retroalimentación.



En el cual las discrepancias entre los datos y las consecuencias de la hipótesis H_1 , lleva a una hipótesis modificada H_2 , y de la verificación de ésta, además de conocimiento, se llega a una modificación de la modificación (hipótesis H_3), y así sucesivamente.

La dirección del aprendizaje es: conocimiento, conjeturas, imaginación, experimentación, análisis y reflexión; y esto de forma repetida se transforma en aprendizaje. Para establecer conjeturas se requiere conocimiento previo, para que tales conjeturas sean más concretas.

2.4 Etapas del diseño experimental

Un diseño experimental es algo más que un conjunto de condiciones de prueba; más bien es una secuencia de etapas o actividades que deben realizarse para cumplir con éxito los objetivos que se persiguen.

A continuación, se describen de manera breve las etapas del diseño de experimentos con objeto de dar una visión global de lo que implica su correcta aplicación.

2.4.1 Planeación

1. Encontrar un problema de calidad

Es el primer paso en cualquier esfuerzo por entender el problema. Es fundamental además tener un conocimiento inicial sobre el proceso donde se ubica el problema; tener idea de cuáles variables de respuesta son más importantes y cuáles factores de proceso o variables pueden influir en su desempeño.

2. Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse

A través de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta. No se trata de que el experimentador tenga que saber a priori cuáles factores influyen, puesto que precisamente para eso es el experimento, pero sí de que utilice toda la información disponible al respecto.

3. Elegir la(s) variable(s) de respuesta que serán medidas en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.

La elección de esta(s) variable(s) es vital, ya que son el objetivo del experimento, y son las que se pretende mejorar. Es frecuente que haya más de una variable de respuesta.

4. Seleccionar el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.

Este paso también implica determinar cuántas re-peticiones se harán para cada tratamiento, tomando en cuenta el tiempo, costo y la precisión deseada.

5. Planear y organizar el trabajo experimental.

Con base en el diseño seleccionado, organizar y planear con detalle el trabajo experimental, por ejemplo, las personas que van a intervenir, la forma operativa en que se harán las cosas, etcétera.

6. Realizar el experimento.

Seguir al pie de la letra el plan previsto en la etapa anterior, y en caso de algún imprevisto no contemplado, señalar la persona a la que se le reportaría y lo que se haría.

2.4.2 Análisis

Se debe determinar el modelo de análisis de varianza ANOVA (es su acrónimo en inglés) o la técnica estadística que mejor describa el comportamiento de los datos. En algunos experimentos el análisis de varianza que arrojan directamente los sistemas computacionales no es el más adecuado y el experimentador debe refinarlo, para lo cual se recomienda utilizar técnicas gráficas de apoyo.

2.4.3 Interpretación

Aquí se debe ir más allá del análisis estadístico formal, y se debe analizar con detalle lo que ha pasado en el experimento, desde contrastar las conjeturas iniciales con los resultados del experimento, hasta observar los nuevos aprendizajes que sobre el proceso se lograron, verificar supuestos y elegir el tratamiento ganador.

2.4.4 Conclusiones finales

Para concluir el proyecto se recomienda decidir qué medidas implementar para generalizar el resultado del estudio y para garantizar que las mejoras se mantengan. Además, organizar una presentación para difundir los logros.

2.5 Principios básicos del diseño experimental

El punto de partida para una correcta planeación es aplicar los principios básicos del diseño de experimentos: aleatorización, repetición y bloqueo, los cuales tienen que ver directamente con que los datos obtenidos sean útiles para responder a las preguntas planteadas, es decir, la validez del análisis de los datos se apoya en estos principios.

1. Aleatorización

Consiste en hacer las corridas experimentales en orden aleatorio y con material seleccionado también aleatoriamente. Este principio aumenta la probabilidad de que el supuesto de independencia de los errores se cumpla, que es un requisito para la validez de las pruebas de estadísticas que se realizan.

También es una manera de asegurar que las pequeñas diferencias provocadas por materiales, equipo y todos los factores no controlados, se repartan de manera homogénea en todos los tratamientos.

2. Repetición

Es correr más de una vez un tratamiento o combinación de factores dada. No confundir este principio con medir varias veces el mismo producto o artículos fabricados de una sola vez en cierta combinación de factores. Repetir es volver a correr el proceso, partir desde volver a fijar las condiciones de operación, para obtener un nuevo producto, hasta el medir resultado de esta otra corrida del proceso.

Las repeticiones permiten distinguir mejor qué parte de la variabilidad total de los datos se debe al error aleatorio y cuál a los factores. Cuando no se hacen repeticiones no hay manera de estimar la variabilidad natural o error aleatorio y esto dificulta la construcción de estadísticas realistas en el análisis de los datos. El repetir aumenta la confiabilidad de las mediciones, ya que las repeticiones en el mismo tratamiento se esperan razonablemente parecidas, en particular cuando el proceso está en control estadístico.

3. Bloqueo

Es nulificar o tomar en cuenta en forma adecuada todos factores que puedan afectar la respuesta observada. El nombre de E principio se deriva de experimentos agrícolas en los cuales se controla el efecto de la parcela (bloque) al comparar varios tratamientos. Al bloquear se supone que el subconjunto de datos que se obtengan dentro de cada bloque (nivel particular del factor bloqueado), deben resultar más homogéneos que el conjunto total de datos. Con el principio de bloqueo se logra mayor precisión del experimento al eliminar variabilidad no explica»: que provocaría el error aleatorio.

2.6 Clasificación del diseño experimental

Se han inventado y propuesto muchos diseños experimentales para poder estudiar la gran diversidad de problemas o situaciones que ocurren en la práctica. Esta cantidad de diseños hace necesario saber cómo elegir el más adecuado para el problema que se quiere resolver, y, por ende, conocer cómo es que se clasifican los diseños de acuerdo a su objetivo y a su alcance dentro del objetivo en cuestión.

Los cinco aspectos que más influyen en la selección de un diseño experimental, en el sentido de que cuando cambian nos llevan generalmente a cambiar de diseño, son:

1. El objetivo del experimento.
2. El número de factores a controlar.
3. El número de niveles que se prueban en cada factor.
4. Los efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta).
5. El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

2.7 Definiciones básicas en el diseño experimental

TRATAMIENTO

Es una de las formas que, en cantidad o calidad, el factor a estudiar toma durante el experimento. Los tratamientos a estudiar durante el experimento pueden ser una combinación de varios factores simples.

UNIDAD EXPERIMENTAL

Es el material experimental al que se aplica un tratamiento de manera uniforme. Puede ser un animal, un conjunto de semillas, una parcela, una maceta, un árbol, un tubo de ensaye, etcétera.

TRATAMIENTO TESTIGO

Es un tratamiento que se compara. Por ejemplo, si se quiere probar en una región el grado de adaptación y rendimiento de una variedad nueva de plátano, se planeará el ensayo de tal manera que se incluyen variedades locales como testigos. Si la nueva variedad presenta mayor resistencia a enfermedades, insectos, vientos, precipitación, etc., y en consecuencia produce mayor rendimiento por hectárea, esa variedad se recomendará para la zona.

REPETICIÓN

Cuando en un experimento se tiene un conjunto de tratamientos para poder estimar el error experimental, es necesario que dichos tratamientos aparezcan más de una vez en el experimento, para así aumentar la precisión de éste, controlar el error experimental y disminuir la desviación estándar de la media. Por lo tanto, se entenderá por repetición al número de veces que un tratamiento aparece en el experimento.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Es el procedimiento que se sigue para asignar los tratamientos a las unidades experimentales. Es un método aleatorio, o sea, de asignación al azar, porque se decide el tratamiento que corresponde a cada unidad experimental mediante un sorteo o por medio de una Cuadro de números aleatorios.

BLOQUE

Es un conjunto de unidades experimentales lo más homogéneas posibles, en el cual aparecen todos los tratamientos una sola vez; dicho bloque se debe colocar perpendicular al gradiente para tratar de minimizar el error.

ERROR EXPERIMENTAL

Los resultados experimentales varían no sólo por la acción de los tratamientos. Sino también por variaciones ambientales que tienden a enmascarar el efecto de los tratamientos. Por lo general, para expresar estas variaciones se usa el término error experimental. Pero el término error no quiere decir equivocación, sino que incluye todo tipo de variación externa ajena al material experimental.

El error experimental es la medida de variación que existe entre las observaciones de unidades experimentales en el mismo tratamiento, es decir, la variación no proveniente de los tratamientos.

Existen dos clases de variaciones: la variación inherente al material experimental, al que se aplican los tratamientos, y la que proviene de la falta de uniformidad en la realización física del experimento. Si los resultados obtenidos tienen la precisión necesaria para llegar a conclusiones válidas, ninguna de las dos fuentes de variación debe preocupar al investigador.

Durante la realización del experimento debe quedar claro que todas las labores se harán con uniformidad para todo el lote experimental, excepto las que estén en estudio. Cuando se efectúan experimentos de abonamiento, variedades, etc., es importante conocer el origen de cada tratamiento, las características de las variedades y el análisis de los abonos. Los materiales para aplicarlos tratamientos

se deben conseguir y preparar oportunamente hasta el día del inicio del experimento.

VARIABLES, FACTORES Y NIVELES

Es todo proceso intervienen distintos tipos de variables o factores como los que se definen a continuación.

VARIABLE DE RESPUESTA

Es la característica, variable de salida o propiedad del producto, cuyo valor interesa mejorar). Por lo general el valor de dicha característica determina algún aspecto de la calidad del producto. La conjetura típica para utilizar diseño experimental existe otra manera de operar el proceso en la cual el comportamiento de una o varias variables de respuesta sería mejor que el actual.

FACTORES CONTROLABLES

Son variables de proceso o variables de entrada que se pueden fijar en un punto o en un nivel de operación. Algunos de éstos son los que usualmente se controlan durante la operación normal del proceso y se distinguen porque para cada uno de ellos existe la manera o el mecanismo para cambiar o manipular su nivel de operación.

FACTORES NO CONTROLABLES O DE RUIDO

Son variables que no se pueden controlar durante la operación normal del proceso. Por ejemplo, algunos factores que suelen ser no controlables son las variables ambientales (luz, humedad, temperatura, partículas, ruido, etc.), el ánimo de los operadores, la calidad del material que se recibe del proveedor (interno o externo) y los diversos usos que el cliente pueda dar al producto. Un factor que ahora es no controlable puede convertirse en controlable, cuando se tenga el mecanismo o tecnología para ello.

Niveles y tratamientos

Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman niveles. Una combinación de niveles de todos los factores se llama tratamiento o punto de diseño. De acuerdo con estas definiciones, en el caso de experimentar con un solo factor, la combinación de niveles es a la vez un tratamiento.

2.8 Análisis de varianza (ANOVA)

La hipótesis de interés es la misma para todos los diseños comparativos, y está dada por:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \cdots \mu_k = \mu$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

La afirmación a probar es que la respuesta media poblacional lograda con cada tratamiento es la misma para los k tratamientos, y que por tanto cada respuesta media μ_i es igual a la media global poblacional, μ .

Por tanto, la hipótesis anterior se prueba con un Análisis de Varianza.

El análisis de la varianza (ANOVA cuyas siglas significan Analysis Of Variance, según terminología inglesa) es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas.

Las técnicas iniciales del análisis de varianza fueron desarrolladas por el estadístico y genetista R. A. Fisher en los años 1920 y 1930 y es algunas veces conocido como "Anova de Fisher" o "Análisis de Varianza de Fisher", debido al uso de la distribución F de Fisher como parte del contraste de hipótesis.

La lógica de un contraste en un análisis de varianza es sencillo puesto que se compara dos cálculos independientes de la varianza (dependiendo del modelo en el cual se efectúe) para la variable independiente:

Suma de cuadrados del error: refleja la variabilidad a los efectos del tratamiento.

Suma de cuadrados del tratamiento: representa la variabilidad existente entre los grupos que se atribuyen a los efectos del tratamiento.

Estas varianzas se detallarán más adelante en el respectivo estudio de los modelos utilizados en el proyecto.

VALOR P

Es conveniente citar el valor p porque es una medida (cuantitativa) de la fuerza de la evidencia en contra de la Hipótesis nula. Es conocido que, mientras más pequeño sea el valor p , más fuerte es la evidencia en contra de la hipótesis nula.

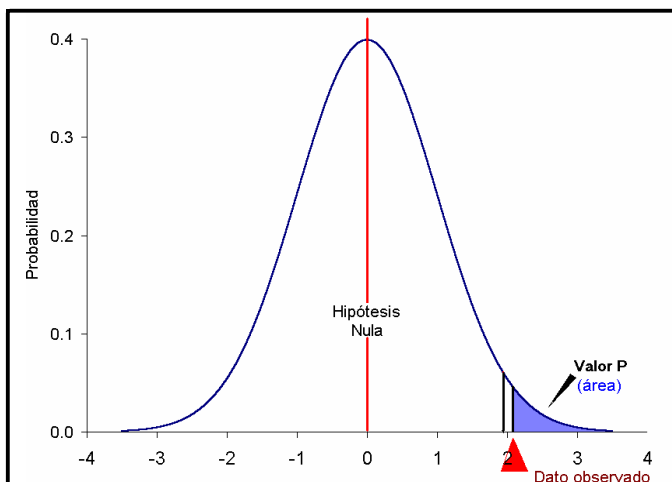


Ilustración 4.

Cabe recalcar que, si las observaciones en la muestra soportan la Hipótesis nula, entonces es más probable que esta Hipótesis sea cierta. Donde v es el valor del estadístico de prueba. Finalmente, la decisión se toma;

Si valor p es menor que Alfa (α), se rechaza H_0

Si valor p es mayor que Alfa (α), se acepta H_0

2.8.1 Pasos para llegar al ANOVA

Para obtener el ANOVA se necesita calcular la suma de cuadrados de cada uno de los efectos. Las sumas de cuadrados se pueden obtener ya sea de los efectos o directamente de los contrastes. Una vez obtenidos los contrastes se procede a estimar los efectos, dividiendo éstos por la constante que los convierte en diferencias de medias. Como se muestra en la siguiente ilustración:

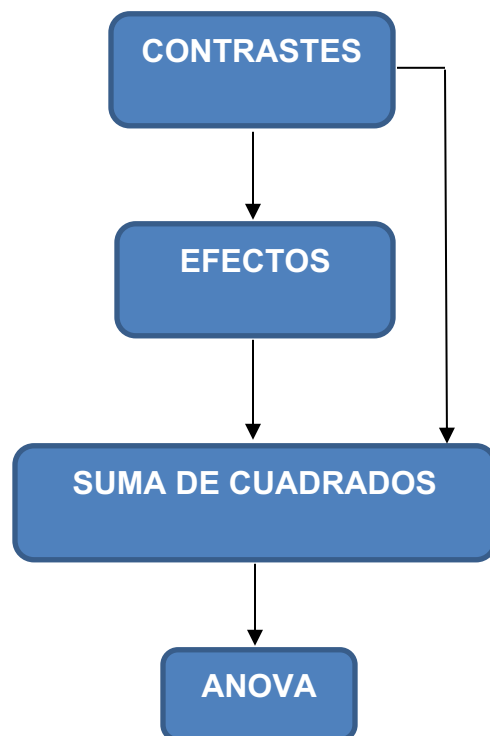


Ilustración 5. Pasos para llegar al ANOVA de un diseño de experimento 2^k .

En particular, el diseño factorial 2^2 que está constante es $2n$. Para investigar cuáles de los tres efectos están activos o si son significativos se procede a probar las hipótesis dadas por:

$$H_0 = \text{Efecto A} = 0$$

$$H_0 = \text{Efecto B} = 0$$

$$H_0 = \text{Efecto AB} = 0$$

cada una contra la alternativa de que el efecto en cuestión es diferente de cero. Estas hipótesis se prueban con el análisis de varianza.

2.8.2 Análisis de varianza

Aunque los efectos calculados con datos muestrales sean números distintos de cero, esto no implica que el efecto correspondiente sea estadísticamente diferente de cero. O, si en su representación gráfica aparentan ser importantes, eso tampoco es suficiente para concluir que afectan de manera significativa la variable de respuesta. Para afirmar que tales efectos contribuyen a explicar el comportamiento de la respuesta, se debe hacer la prueba estadística del análisis de varianza. Las sumas de cuadrados que componen el ANOVA se pueden calcular por medio de los efectos estimados, como veremos a continuación. Es obvio que si se tiene un software especializado que haga los cálculos, lo que sigue sirve de fundamento.

1. Definición de contraste

Una combinación lineal de la forma $C = \sum_{i=1}^{2^k} c_i Y_i$, con $\sum c_i = 0$ se llama contraste. Se sabe que la suma de cuadrados para cualquier contraste C está dada por

$$SC_C = \frac{\left(\sum_{i=1}^{2^k} c_i Y_i\right)^2}{n \sum_{i=1}^{2^k} c_i^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

lo cual sólo tiene un grado de libertad. Note que en el contexto de los diseños factoriales, las sumas corren sobre los 2^k tratamientos del diseño factorial 2^k , y cada término Y_i representa un término de la notación de Yates. Por ejemplo, los contrastes correspondientes a los tres efectos A, B y AB en el diseño factorial 2^2 están dados por:

$$\text{Contraste A} = [a + ab - b - (1)],$$

$$\text{Contraste B} = [b + ab - a - (1)]$$

$$\text{Contraste AB} = [ab + (1) - a - b]$$

que, como ya hemos visto, son las cantidades que definen a los efectos. Son contrastes por el hecho de que son combinaciones lineales donde los coeficientes suman cero ($1 + 1 - 1 - 1 = 0$). Una vez obtenido el contraste, el efecto correspondiente se obtiene dividiéndolo entre la constante que lo convierta en una diferencia de medias; este número es la mitad de las observaciones hechas en el experimento.

Para obtener las sumas de cuadrados para cada efecto se aplica el resultado sobre contrastes de la ecuación 1, y resultan las expresiones dadas por,

$$SC_A = \frac{[a+ab-b-(1)]^2}{n2^2}$$

$$SC_B = \frac{[b+ab-a-(1)]^2}{n2^2}$$

$$SC_{AB} = \frac{[ab+(1)-a-b]^2}{n2^2}$$

Donde cada una de ellas tiene sólo un grado de libertad, debido a que cada factor tiene únicamente dos niveles. La suma de cuadrados totales se calcula con la expresión,

$$SC_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^n Y_{ijl}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{n2^2}$$

Y si tiene $n2^{2-1}$ grados de libertad, es decir, el total de observaciones en el experimento menos uno. La suma de los cuadrados del error se calcula por la diferencia: $SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_{AB}$ y tiene $(n2^{2-1}) - 3 = 4(n-1)$ grados de libertad. La tabla de ANOVA del diseño factorial 2^2 con n réplicas se presenta en la tabla siguiente.

Recordemos que si el valor-p es menor que el nivel de significancia prefijado α , se concluye que el efecto correspondiente es estadísticamente distinto de cero, es decir, tal efecto está activo o influye de manera significativa sobre la respuesta. Además, mientras más pequeño sea el valor-p de un efecto, este último es más importante. En la tabla de ANOVA nótese que para calcular el CM_E se requieren al menos dos réplicas del experimento: con una réplica habría cero grados de libertad para el error, no se podría calcular su cuadrado medio y, por ende, no habría ANOVA. Como se verá más adelante, se recomienda correr la factorial 2^2 con al menos tres réplicas para poder estimar un CM_E confiable.

FV	SC	GL	CM	F_0	Valor -p
A	SC_A	1	CM_A	CM_A/CM_E	$P(F > F_0)$
B	SC_B	1	CM_B	CM_B/CM_E	$P(F > F_0)$
AB	SC_{AB}	1	CM_{AB}	CM_{AB}/CM_E	$P(F > F_0)$
Error	SC_E	$4(n-1)$	CM_E		
Total	SC_T	$n2^1-1$			

Ilustración 6. ANOVA para el diseño factorial 2^2 .

Con el análisis de varianza de la ilustración 2 se sabe cuáles de los tres efectos A, B o AB actúan sobre la variable de respuesta. Se recomienda graficar los efectos

que fueron activos y aquellos sobre los que se tenía algún tipo de conjetura muy definida; a continuación, se hace una interpretación a detalle y ésta se convierte en conocimiento sobre el proceso o fenómeno investigado. Para determinar las mejores condiciones de operación del proceso se deben utilizar sólo los efectos que resultan estar activos en el ANOVA.

2.8.3 Diseño factorial 2^3

Con el diseño factorial 2^3 se estudian tres factores en dos niveles cada uno. Consta de $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ tratamientos diferentes, los cuales pueden identificarse con las mismas notaciones introducidas con el diseño 2^2 . Los tratamientos del diseño 2^3 y su representación geométrica se muestran en la ilustración 3. La región experimental ahora es un cubo regular centrado en el origen (0, 0, 0), cuyos vértices son los ocho tratamientos. La matriz de diseño se construye fácilmente alternando el signo menos y el signo más en la primera columna, dos menos y dos más en la segunda columna, y cuatro menos y cuatro más en la tercera; el diseño resulta acomodado en el orden estándar o de Yates.

Con este diseño se pueden estudiar los $2^3 - 1 = 7$ efectos: tres efectos principales A, B, C; tres interacciones dobles AB, AC, BC y una interacción triple ABC. Por lo general, el interés se enfoca en estudiar los efectos principales y las interacciones dobles.

Sin embargo, aunque de antemano se puede considerar la interacción triple ABC en el diseño 2^3 como un efecto ignorable, es recomendable asegurarse de que su valor se mantiene pequeño, además de que al incluirla en el análisis, puede ayudar a mejorar la perspectiva de algunas gráficas, como se apreciará más adelante.

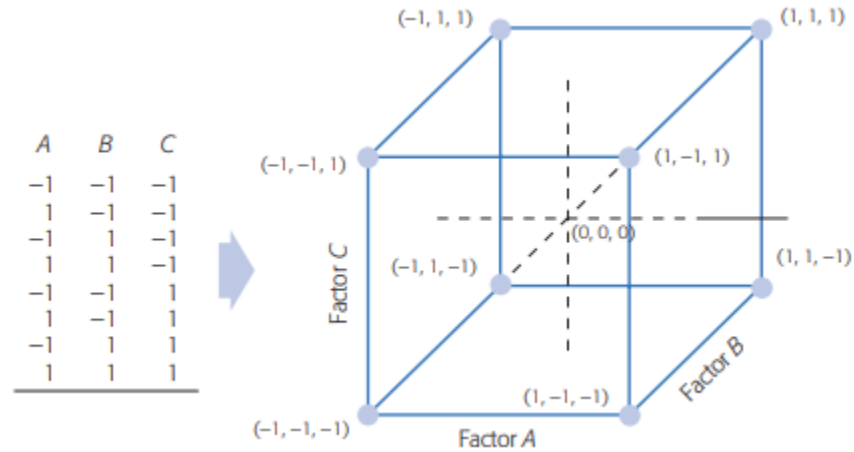


Ilustración 7. Diseño factorial 2^3 y su representación gráfica.

2.8.4 Análisis del diseño factorial 2^3

Sean A, B y C los factores que se quieren estudiar y sean (1), a, b, ab, c, ac, bc y abc, los totales observados en cada uno de los ocho tratamientos escritos en su orden estándar. Los efectos en este diseño se pueden calcular a partir de la tabla de signos

Al igual que en el diseño 2^2 , las columnas de los efectos principales A, B y C son las mismas que en la matriz de diseño, y las columnas de los efectos de interacción se obtienen multiplicando las columnas correspondientes.

Al multiplicar las columnas de signos de la tabla 3 por la columna de totales representados por la notación de Yates, se obtienen los contrastes para siete efectos, dados por:

$$\text{Contraste A} = [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]$$

$$\text{Contraste B} = [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]$$

$$\text{Contraste C} = [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

$$\text{Contraste AB} = [ab - b - a + abc + (1) - bc - ac + c]$$

$$\text{Contraste AC} = [(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc]$$

$$\text{Contraste BC} = [(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc]$$

$$\text{Contraste ABC} = [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)]$$

Tabla 1. Tabla de signos del diseño factorial 2^3 .

Total	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
(1)	--	--	--	+	+	+	--
a	+	--	--	--	--	+	+
b	--	+	--	--	+	--	+
ab	+	+	--	+	--	--	--
c	--	--	+	+	--	--	+
ac	+	--	+	--	+	--	--
bc	--	+	+	--	--	+	--
abc	+	+	+	+	+	+	+

Si se hacen n réplicas de cada tratamiento, los efectos de un diseño 2^3 se estiman dividiendo los contrastes entre $4n$. Por ejemplo, el efecto principal de A se estima de la siguiente manera:

$$\text{Efecto A} = \frac{\text{Contraste A}}{n2^{k-1}}$$

También las sumas de cuadrados de los efectos se calculan a partir de sus contrastes con la fórmula,

$$SC_{efecto} = \frac{(\text{Contraste}_{efecto})^2}{n2^k}$$

La suma total de cuadrados se obtiene de la manera usual como:

$$SC_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^n y_{ijlm}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{n2^k}$$

y, por último, la suma de cuadrados del error se calcula por sustracción. Con esta información se obtiene ANOVA para el diseño 2^3 , dada en la tabla 6.6. Aquellos efectos cuyos valores-p son menores a $\alpha = 0.05$ se consideran activos y son los efectos a interpretar para conocer mejor cómo está operando el proceso y para determinar el mejor tratamiento. También recordemos que mientras menor sea el valor-p para un efecto, significa que éste tiene mayor influencia sobre la variable de res puesta. Nótese que se requieren al menos dos repeticiones ($n \geq 2$) para calcular el cuadrado medio del error, puesto que la SC_E tiene 0 grados de libertad cuando $n = 1$. Entonces se recomienda correr este diseño con al menos dos réplicas para contar con suficientes grados de libertad para el error.

3. Desarrollo experimental.

3.1 Planeación

1. Encontrar un problema de calidad

El presente trabajo se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, ubicado en la ciudad de Huatusco municipio de Veracruz. Donde las características climatológicas se encuentran entre los 39°C a -3°C . A una altura de 1344 msnm. Al tener un ambiente donde la temperatura varía constantemente, el experimento tendrá diferentes variables de respuesta.

El título de este estudio lleva por nombre: “Análisis de diseño factorial para la mejora del desempeño de dispositivo ahorrador de gas”. Y nuestro objetivo general es realizar un dispositivo de Barro cuya acción principal sea la reorientación y acumulación de energía calorífica en las estufas de gas, lo cual provoque un ahorro en el consumo de combustible, mismo que se vea reflejado en la parte económica y ergonómica para las personas que hagan uso del mismo.

2. Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse

Para ampliar la comprensión del tiempo de cocción que se ahorra al utilizar el dispositivo ahorrador de gas, se utilizará una corrida experimental de los diferentes factores principales los cuales son: un recipiente de Peltre y uno de Aluminio como factor A. Utilizaremos una estufa ordinaria marca Mabe de la cual se ocupará la flama en sus dos niveles, Alta y Baja. Y el dispositivo a prueba, el cual fue creado de material de barro con el que se probará Con o Sin él, en la parte posterior de las hornillas de la estufa.

Es importante recalcar todo el material que se utilizó para la elaboración del experimento; en este caso también se utilizó un tanque de gas de 10 kg el cual nos ayudó a obtener el tipo de flama ideal. Se utilizó también un termómetro industrial para lograr obtener la temperatura esperada. Un cronómetro para medir el tiempo que se tardaba en hacer ebullición el agua con las diferentes combinaciones. En un principio se utilizó un matraz para medir la cantidad exacta de agua que se pondría a hervir, en este caso se utilizó 500 ml.

- 1) Tipo de recipientes: los tipos de recipientes que se considerarán para hervir el agua son **Aluminio y Peltre**.
- 2) Nivel de flama: el nivel de flama se consideró en sus dos niveles: **Alta y Baja**.
- 3) Uso del dispositivo de barro: se consideró, que en este caso sería: **Con dispositivo y Sin dispositivo**.

3. Elegir la(s) variable(s) de respuesta que serán medidas en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.

Una vez teniendo en cuenta los factores elegidos, tenemos que: El experimento se llevará a cabo con tres factores y dos niveles cada uno como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Factores para el experimento 2³.

FACTOR A	TIPO DE RECIPIENTE	NIVEL 1a	ALUMINIO
		NIVEL 2a	PELTRE
FACTOR B	NIVEL DE FLAMA	NIVEL 1b	ALTA
		NIVEL 2b	BAJA
FACTOR C	DISPOSITIVO	NIVEL 1c	CON
		NIVEL 2c	SIN

La variable de respuesta a medir es:

- Tiempo de ebullición de 250 ml de agua considerando los factores y niveles descritos.

4. Seleccionar el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.

Dado que fueron 3 los factores y las repeticiones fueron Diseño factorial 2³ se recomienda realizar al menos 5 repeticiones. En este experimento se decidió hacer 4 repeticiones por tratamiento.

Teniendo los diferentes factores que se estudiarán, es momento de decidir cuantas repeticiones se realizarán por cada combinación. Para este proceso se utilizó el programa de Minitab, el cual, al introducir los diferentes factores que se tienen nos dará una prueba aleatoria del número de repeticiones que se deben realizar, con el fin de comprobar la reacción que tiene la temperatura al interactuar con las diferentes combinaciones. En la siguiente tabla se presenta el número de tratamientos que se tomarán en cuenta:

Tabla 3. Número de tratamientos

Tratamientos	Tratamiento	A	B	C	FACTOR A	FACTOR B	FACTOR C
					RECIPIENTE	FLAMA	DISPOSITIVO
1	(1)	-	-	-	PELTRE	BAJA	CON
2	a	+	-	-	ALUMNIO	BAJA	CON
3	b	-	+	-	PELTRE	ALTA	CON
4	ab	+	+	-	ALUMNIO	ALTA	CON
5	c	-	-	+	PELTRE	BAJA	SIN
6	ac	+	-	+	ALUMNIO	BAJA	SIN
7	bc	-	+	+	PELTRE	ALTA	SIN
8	abc	+	+	+	ALUMNIO	ALTA	SIN

5. Planear y organizar el trabajo experimental.

Una vez teniendo los datos del experimento se comenzó a trabajar. Para la realización de este experimento tuve la compañía Edgar Isaí Luna Munguía quien fue el encargado de tomar el tiempo correcto por cada experimento. El lugar donde se llevó a cabo dicho experimento fue en el laboratorio de Ciencias Básicas, el cual se encuentra dentro de las instalaciones de Instituto Tecnológico Superior de Huatusco. El objetivo a seguir fue cronometrar el tiempo en que comenzaba a hacer ebullición 250 ml de agua; tomando en cuenta que por la altura sobre el nivel del mar en la que se encuentra el municipio de Huatusco, el agua comenzaba a hervir a los 90°C.

Una lista de los materiales que se utilizaron para hacer el experimento fueron:

- Matraz.
- Termómetro industrial.
- Tanque de gas LP de 10 L.
- Cronómetro.
- Batas.

Tabla 4. Número de corridas experimentales.

OrdenEst	OrdenCorrida	RECIPIENTE	NIVEL DE FLAMA	DISPOSITIVO
29	1	PELTRE	BAJA	SIN
8	2	ALUMINIO	ALTA	SIN
22	3	ALUMINIO	BAJA	SIN
19	4	PELTRE	ALTA	CON
2	5	ALUMINIO	BAJA	CON
18	6	ALUMINIO	BAJA	CON
14	7	ALUMINIO	BAJA	SIN
7	8	PELTRE	ALTA	SIN
21	9	PELTRE	BAJA	SIN
26	10	ALUMINIO	BAJA	CON
23	11	PELTRE	ALTA	SIN
27	12	PELTRE	ALTA	CON
25	13	PELTRE	BAJA	CON
3	14	PELTRE	ALTA	CON
17	15	PELTRE	BAJA	CON
11	16	PELTRE	ALTA	CON
30	17	ALUMINIO	BAJA	SIN
20	18	ALUMINIO	ALTA	CON
4	19	ALUMINIO	ALTA	CON
9	20	PELTRE	BAJA	CON
15	21	PELTRE	ALTA	SIN
31	22	PELTRE	ALTA	SIN
5	23	PELTRE	BAJA	SIN
24	24	ALUMINIO	ALTA	SIN
10	25	ALUMINIO	BAJA	CON
13	26	PELTRE	BAJA	SIN
32	27	ALUMINIO	ALTA	SIN
6	28	ALUMINIO	BAJA	SIN
12	29	ALUMINIO	ALTA	CON
28	30	ALUMINIO	ALTA	CON
1	31	PELTRE	BAJA	CON
16	32	ALUMINIO	ALTA	SIN

6. Realizar el experimento.

Posteriormente se realizó el experimento tal cual lo pedía la corrida experimental.

Lo cual no arrojo estos datos que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5. Resultados de los experimentos

OrdenEst	OrdenCorrida	RECIPIENTE	NIVEL DE FLAMA	DISPOSITIVO	TIEMPO
29	1	PELTRE	BAJA	SIN	09:22:01
8	2	ALUMINIO	ALTA	SIN	04:06:38
22	3	ALUMINIO	BAJA	SIN	07:48:28
19	4	PELTRE	ALTA	CON	03:44:59
2	5	ALUMINIO	BAJA	CON	07:32:17
18	6	ALUMINIO	BAJA	CON	07:51:22
14	7	ALUMINIO	BAJA	SIN	08:58:12
7	8	PELTRE	ALTA	SIN	04:39:13
21	9	PELTRE	BAJA	SIN	08:19:20
26	10	ALUMINIO	BAJA	CON	07:23:39
23	11	PELTRE	ALTA	SIN	04:27:39
27	12	PELTRE	ALTA	CON	03:40:27
25	13	PELTRE	BAJA	CON	04:50:15
3	14	PELTRE	ALTA	CON	04:01:15
17	15	PELTRE	BAJA	CON	04:41:40
11	16	PELTRE	ALTA	CON	03:59:12
30	17	ALUMINIO	BAJA	SIN	09:27:31
20	18	ALUMINIO	ALTA	CON	03:38:25
4	19	ALUMINIO	ALTA	CON	03:25:01
9	20	PELTRE	BAJA	CON	07:35:23
15	21	PELTRE	ALTA	SIN	04:59:32
31	22	PELTRE	ALTA	SIN	05:21.8
5	23	PELTRE	BAJA	SIN	09:18:28
24	24	ALUMINIO	ALTA	SIN	05:14:10
10	25	ALUMINIO	BAJA	CON	04:00:22
13	26	PELTRE	BAJA	SIN	09:36:46
32	27	ALUMINIO	ALTA	SIN	05:09:56
6	28	ALUMINIO	BAJA	SIN	08:12:28
12	29	ALUMINIO	ALTA	CON	03:26:59
28	30	ALUMINIO	ALTA	CON	03:26:23

1	31	PELTRE	BAJA	CON	06:10:36
16	32	ALUMINIO	ALTA	SIN	05:44:23

3.1.2 Análisis

Se debe determinar el modelo de análisis de varianza ANOVA (es su acrónimo en inglés) o la técnica estadística que mejor describa el comportamiento de los datos. En algunos experimentos el análisis de varianza que arrojan directamente los sistemas computacionales no es el más adecuado y el experimentador debe refinarlo, para lo cual se recomienda utilizar técnicas gráficas de apoyo.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del experimento:

Tabla 6. Resultado de las pruebas

	TRATAMIENTO	RECIPIENTE	FLAMA	DISPOSITIVO	Repeticiones				PROMEDIO	Y
					1	2	3	4		
1	(1)	-	-	-	4,83	4,68	7,58	6,16	5,8125	23,25
2	a	+	-	-	7,36	7,85	7,38	4	6,6475	26,59
3	b	-	+	-	3,75	3,66	4,01	3,93	3,8375	15,35
4	ab	+	+	-	3,63	3,41	3,45	3,43	3,48	13,92
5	c	-	-	+	9,36	8,3	9,3	9,6	9,14	36,56
6	ac	+	-	+	7,8	8,97	9,45	8,2	8,605	34,42
7	bc	-	+	+	4,65	4,45	4,98	5,36	4,86	19,44
8	abc	+	+	+	4	5,23	5,17	5,73	5,0325	20,13
										189,66

De acuerdo a la ilustración 5 presentada en el capítulo 2, se procederá a realizar cada uno de los pasos, para obtener el análisis de varianza (ANOVA) del experimento.

a) Contrastes

$$\text{Contraste A} = [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc] = 0.46$$

$$\text{Contraste B} = [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac] = -51.98$$

$$\text{Contraste C} = [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab] = -1.94$$

$$\text{Contraste AB} = [ab - b - a + abc + (1) - bc - ac + c] = 31.44$$

$$\text{Contraste AC} = [(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc] = -3.36$$

$$\text{Contraste BC} = [(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc] = -10.84$$

$$\text{Contraste ABC} = [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)] = 7.60$$

b) Efectos

Se realizaron $n = 4$ réplicas por cada tratamiento, considerando que los efectos de un diseño 2^3 se estiman dividiendo los contrastes entre $4n$. Por ejemplo, el efecto principal de A se estima de la siguiente manera:

$$\text{Efecto A} = \frac{\text{Contraste A}}{n2^{k-1}} = \frac{0.46}{4(2)^{(3-1)}} = 0.03$$

A continuación, se presentan los resultados de los efectos calculados:

Tabla 7. Efectos del diseño experimental 2^3 .

Efecto	A	0.03
Efecto	B	-3.25
Efecto	C	1.97
Efecto	AB	-0.12
Efecto	AC	-0.21
Efecto	BC	-0.68
Efecto	ABC	0.48

c) Suma de cuadrados:

También las sumas de cuadrados de los efectos se calculan a partir de sus contrastes, por ejemplo, la suma de cuadrados de A se calcula de la siguiente manera:

$$SC_{efecto A} = \frac{(\text{Contraste}_{efecto})^2}{n2^k} = \frac{(0.46)^2}{4(2)^3}$$

A continuación, se presentan los resultados de la suma de cuadrados de los efectos:

Tabla 8. Suma de cuadrados del diseño experimental 2³.

SC	A	0.01
SC	B	84.44
SC	C	30.89
SC	AB	0.12
SC	AC	0.35
SC	BC	3.67
SC	ABC	1.81

d) ANOVA

Tabla 9. Análisis de varianza del experimento.

FV	SC	GL	CM	F0	F-tablas	Decisión	VALOR -P
A	0,01	1	0,007	0,008	4,260	No se rechaza H0	0,9295
B	84,44	1	84,435	102,149	4,260	Se rechaza H0	0,0000
C	30,89	1	30,890	37,370	4,260	Se rechaza H0	0,0000
AB	0,12	1	0,118	0,142	4,260	No se rechaza H0	0,7093
AC	0,35	1	0,353	0,427	4,260	No se rechaza H0	0,5198
BC	3,67	1	3,672	4,442	4,260	Se rechaza H0	0,0457
ABC	1,81	1	1,805	2,184	4,260	No se rechaza H0	0,1525
Error	19,84	24	0,827				
Total	141,1168875	31					

3.1.3 Interpretación

Para lograr la interpretación de los resultados se utilizó la herramienta DOE (Design of experiments) del software Minitab. En la siguiente se aprecia el resultado de cada uno de los tratamientos representados en los vértices del cubo.

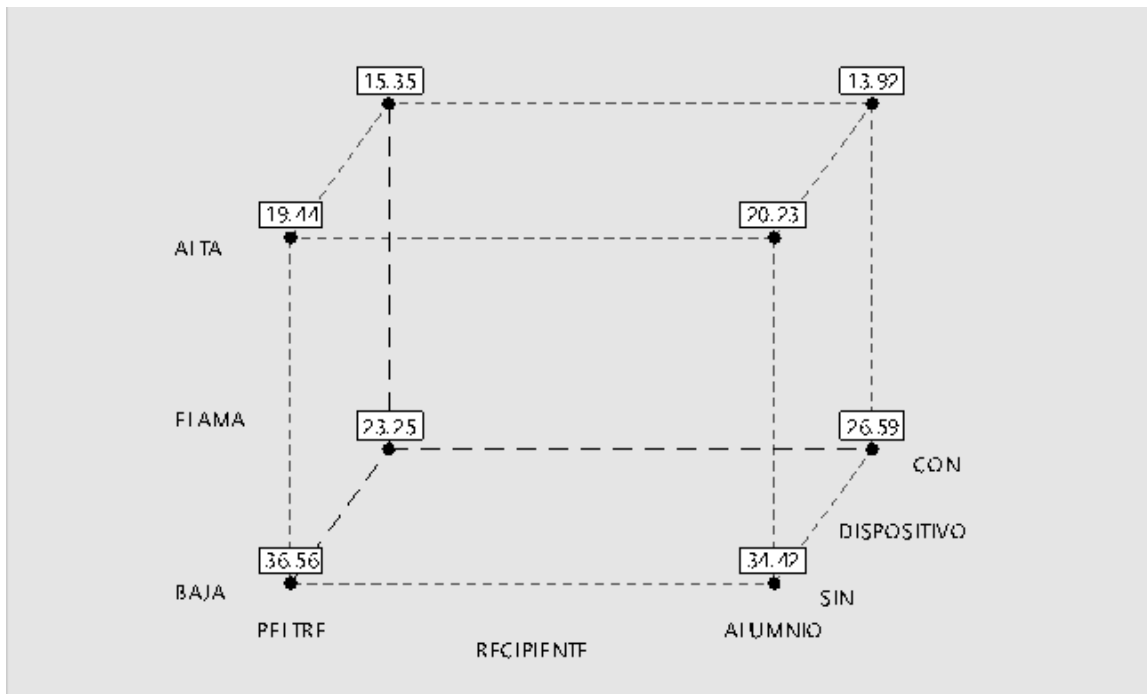


Ilustración 8. Resultados de los tratamientos.

Estos efectos pueden graficarse en un diagrama de Pareto para así visualizar cuáles tienen un mayor impacto sobre la variable de respuesta. Un diagrama similar al referido se muestra en la ilustración 6. Sin embargo, en ésta se muestra un diagrama de Pareto estandarizado, en el cual se representan los efectos divididos entre su error estándar.

En general, para un diseño 2^k con n réplicas, sea CM_{error} el cuadrado medio del error que se obtiene a partir de la tabla de análisis de varianza, entonces el error estándar para un efecto puede ser estimado por:

$$\text{Estimación del error estándar de un efecto} = \sigma_{efecto} = \sqrt{\frac{CM_{error}}{n2^{k-2}}}$$

Recordemos que el error estándar de un estadístico es una estimación de su desviación estándar, y ésta a su vez es una estimación de la variación muestral o experimental que tiene dicho estimador. Así, en el diagrama de Pareto estandarizado se grafica la estimación de los efectos estandarizados:

$$\text{Efecto estandarizado de A} = \frac{efecto}{\sqrt{\frac{CM_{error}}{n2^{k-2}}}}$$

Por ejemplo, en el caso del efecto principal A del experimento tenemos que:

$$\text{Efecto estandarizado} = \frac{0.06}{\sqrt{\frac{0.827}{4(2)^{3-2}}}} = 0.538$$

Los efectos estandarizados para los demás efectos se obtienen de manera similar y se representan gráficamente (en valor absoluto) en el diagrama de Pareto siguiente:

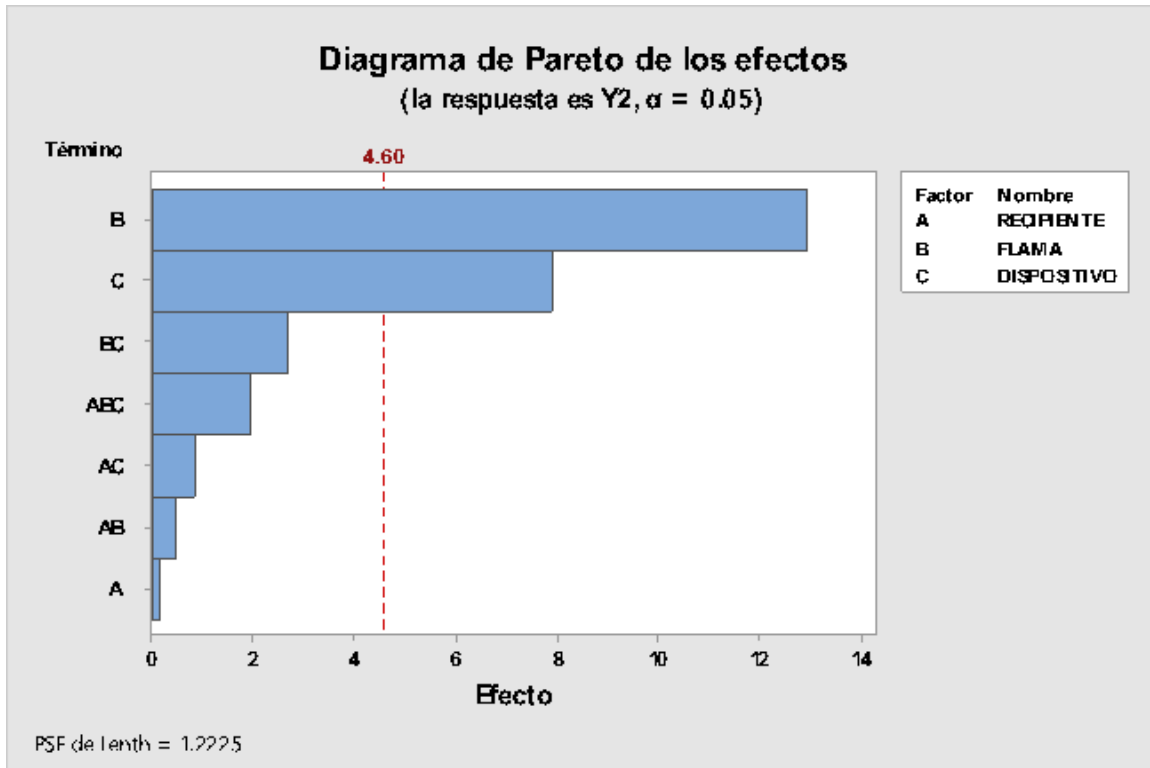


Ilustración 9. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

Es fácil demostrar que el efecto estandarizado sirve de estadístico de prueba para probar la hipótesis:

$$H_0: \text{Efecto poblacional} = 0$$

contra la alternativa de que el efecto poblacional es diferente de cero.

Así, se rechaza H_0 si el valor absoluto del efecto estandarizado es mayor que el valor crítico de tablas de la distribución T de Student con ν grados de libertad: $t_{\alpha/2, \nu}$, ν , donde α es el nivel de significancia prefijado para la prueba (por lo general = 0.05), y ν son los grados de libertad asociados al error. En el experimento, como el error tiene 24 grados de libertad y se trabaja con $\alpha = 0.05$, entonces de la tabla para la distribución T de Student se obtiene que el valor crítico es $t_{0.025, 24} = 4.60$. Por lo tanto, si el valor absoluto de la estimación del efecto estandarizado es mayor que 4.60, entonces el efecto poblacional correspondiente será estadísticamente diferente de cero. Una forma sencilla de hacer esta prueba es agregar una línea en el diagrama de Pareto estandarizado a la altura del valor crítico, como se muestra

en la ilustración 9. De esta manera, los efectos cuyas barras superen tal línea serán significativos. Así, para el caso del experimento, los efectos significativos son B y C, en ese orden de importancia.

4. Conclusiones y recomendaciones.

4.1 Conclusiones.

Tomando en cuenta los factores que se obtuvieron como el clima, la altura y la zona geográfica se puede concluir que el uso del dispositivo de barro si genera un cambio significativo y que retiene mucho más calor en una estufa convencional. Esto nos genera más confianza al usar este dispositivo hecho de barro. Cabe resaltar que el uso del gas Lp seguirá siendo un combustible de uso diario, por lo cual, se espera tener muchas más soluciones y experimentos relacionados con el uso del dispositivo de barro.

En este estudio se mostró una de las maneras alternativas que podemos utilizar para la cocción de alimentos; en la cual se espera generar un gran impacto económico y ambiental, ya que a lo largo del experimento se obtuvo mucha información sobre las propiedades del barro.

Tomando en cuenta la utilización del barro para este experimento como un nuevo material para realizar el dispositivo; se espera tener las pruebas necesarias para encontrar las mejoras que tiene y que tanto acumula calor, y así poder encontrar una manera más útil y económica para poder ahorrar gas.

Para este experimento se utilizó una medida estándar con el material elegido ya que los quemadores de las estufas convencionales por lo regular no varían en su medida. Así mismo se espera tener los mejores resultados del material en este caso el barro con el objetivo de agregarle valor en el mercado. Así mismo los productores de barro tendrán un mejor enfoque a su trabajo.

Finalmente podemos concluir que se identificaron los factores, niveles y variables que más crean valor para el experimento, esperando obtener datos significativos y futuros experimentos para obtener más información sobre el uso del dispositivo de barro.

Bibliografía

E. Y., F. M., H. Q., & M. P. (2004). *El Diseño Experimental y los métodos de Taguchi: Conceptos y Aplicaciones en la Industria Farmacéutica*.

Fisher, R. (1953). *Design of Experiments . Analytic Methods for Design Practice* .

Fundibeq. (12 de Mayo de 2018). *Fundibeq*. Obtenido de http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/disenos_de_experimentos.pdf.

García, J. C. (2015). Aplicación de diseño de experimentos para la mejora del proceso de moldeo por inyección de plástico de la pieza. México.

Kalpakjian, S. (2006). *Manufacturing Engineering & Technology*. Estados Unidos: Illinois Institute of Technology.

L. C., U. R., & C. J. (2011). *Introducción al diseño de experimentos*.

Martínez, M. (2008). Diseños experimentales de investigación. *Ejercicio Prácticos*.

Miranda, J. C. (2018). En un año se encareció 40% el gas LP, que usan 7 de cada 10 hogares. *La Jornada* , 10.

Montgomery, D. (2004). *Control Estadístico de la Calidad*. Limusa.

Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de Experimentos. Editorial Limusa Wiley.

Montgomery, D. C. (2004). *Control Estadístico de la Calidad*. Limusa.

Morillas, A. (2003). *Análisis de varianza de un factor*.

Pulido, H. G. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos*. McGraw-Hill Education.

Ryan, T. (2007). *Modern Experimental Design*. John Wiley & Sons, Inc.

Srinivasan, Murray, & Schiller. (2007). *Schaum's Outline of Theory and Problems of Probability and Statistics*. McGraw Hill.