



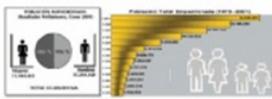
MAESTRIA EN
ADMINISTRACION Y LIDERAZGO

ESTADISTICA APLICADA A LOS
NEGOCIOS

DISEÑO DE EXPERIMENTOS
(D O E)

Lic. Norma Irene Solís Reyna
Lic. Jesús Daniel Márquez Meléndez

Lic. Eric Cárdenas Cervantes
Ing. Jesús Gerardo Armijo Wong



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Diseñar un experimento significa *planear* un experimento de modo que reúna la información pertinente al problema bajo investigación.

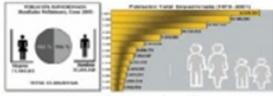
El diseño de un experimento es la secuencia completa de pasos tomados de antemano para asegurar que los datos apropiados se obtendrán de modo que permitan un análisis objetivo que conduzca a deducciones válidas con respecto al problema establecido.

**UN DISEÑO DE EXPERIMENTO SURGE DE LA NECESIDAD DE
RESPONDER A PREGUNTAS COMO:**

¿Cómo se va a medir el efecto?, ¿Cuáles son las características a analizar?

- ¿Qué factores afectan las características que se van a analizar?
- ¿Cuáles son los factores que se estudiarán en esta investigación?
- ¿Cuántas veces deberá ejecutarse el experimento?
- ¿Cuál será la forma de análisis?
- ¿A partir de que valores se considera importante el efecto?

2



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

OBJETIVOS DE UN DISEÑO DE EXPERIMENTOS

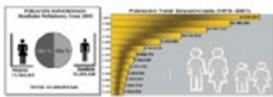
Proporcionar la máxima cantidad de información pertinente al problema bajo investigación.

El diseño, plan o programa debe ser tan simple como sea posible. La investigación debe efectuarse lo más eficientemente posible; ahorrar tiempo, dinero, personal y material experimental. "Proporcionar la máxima cantidad de información al mínimo costo"

PRINCIPIOS BÁSICOS DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

- 1.- Reproducción. Proporciona una estimación del error experimental. Permite obtener una estimación más precisa del efecto medio de cualquier factor.
- 2.- Aleatorización. Asignación al azar de tratamiento a las unidades experimentales. Una suposición frecuente en los modelos estadísticos de diseño de experimentos es que las observaciones o los errores en ellas están distribuidos independientemente. La aleatorización hace válida esta suposición
- 3.- Control Local. Cantidad de balanceo, bloqueo y agrupamiento de las unidades experimentales que se emplean en el diseño estadístico adaptado.

3



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

ETAPAS DE UN DISEÑO DE EXPERIMENTOS

- Enunciado o planteamiento del problema.
- Formulación de hipótesis.
- Proposición de la técnica experimental y el diseño.
- Examen de sucesos posibles y referencias en que se basan las razones para

la indagación que asegure que el experimento proporcionará la información requerida y en la extensión adecuada.

- Consideración de los posibles resultados desde el punto de vista de los procedimientos estadísticos que se aplicarán y para asegurar que se satisfagan las condiciones necesarias para que sean válidos estos procedimientos.

- Ejecución del experimento.

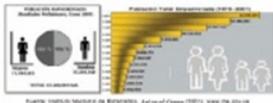
Aplicación de las técnicas estadísticas a los resultados experimentales.

- Extracción de conclusiones con medidas de la confiabilidad de las estimaciones generadas.

- Deberá darse cuidadosa consideración a la validez de las conclusiones para la población de objetos o eventos a la cual se van a aplicar.

- Valoración de la investigación completa y contrastación con otras investigaciones del mismo problema o similares.

4



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

LISTA DE COMPROBACIÓN PARA PLANEAR PROGRAMAS DE PRUEBAS.

Obtenga el enunciado claro del problema.

Identifique la nueva e importante área del problema.

Subraye el problema específico dentro de sus limitaciones usuales.

Defina el propósito exacto del programa de prueba.

Determine la relación del problema particular con la investigación total o desarrollo del programa.

REÚNA LA INFORMACIÓN BÁSICA DISPONIBLE.

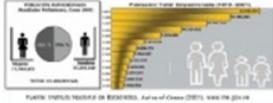
- Investigue todas las fuentes de información posible.

REÚNA LA INFORMACIÓN BÁSICA DISPONIBLE.

- Investigue todas las fuentes de información posible.

- Tabule los datos pertinentes para planear el nuevo problema.

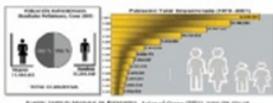
5



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

DISEÑE EL PROGRAMA DE PRUEBA

- a. Sostenga una conferencia respecto a todas las partes concernientes. Enuncie las proposiciones por probar.
- c. Especifique respecto a la magnitud de las diferencias que usted considere que valen la pena.
- d. Esboce las alternativas posibles de los sucesos.
- e. Escoja los factores por estudiar.
- f. Determine el rango práctico de estos factores y los niveles específicos a los que se harán las pruebas.
- g. Escoja las mediciones finales que van a hacerse.
- h. Considere el efecto de variabilidad de muestreo y de la precisión de métodos de prueba.
- i. Considere las posibles interrelaciones (o interacciones) de los factores.
- j. Determine las limitaciones de tiempo, costo, materiales, potencia humana, instrumentación y otros factores y de condiciones extrañas tales como condiciones metereológicas.
- k. Considere los aspectos de las relaciones humanas del programa. 6



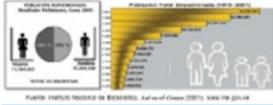
DISEÑO DE EXPERIMENTOS

DISEÑE EL PROGRAMA EN FORMA PRELIMINAR

- Prepare una cédula sistemática y completa.
- Proporcione las etapas de ejecución o adaptación de la cédula si es necesario.
- Elimine los efectos de las variables que no están en estudio.
- Reduzca al mínimo el número de ejecuciones del experimentos.
- Elija el método de análisis estadístico.

- Haga las indicaciones prudentes para una acumulación ordenada de datos.

7

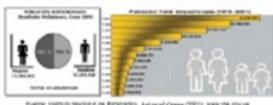


DISEÑO DE EXPERIMENTOS

REVISE EL DISEÑO CON TODO LO CONCERNIENTE.

- Ajuste el programa de acuerdo con los comentarios.
- Desglose en términos precisos los pasos a seguir.
- Planee y lleve a cabo el trabajo experimental.
- Desarrolle métodos, materiales y equipo.
- Aplique los métodos o técnicas.
- Desarrolle métodos, materiales y equipo.
- Aplique los métodos o técnicas.
- Supervise y cheque los detalles modificando los métodos si es necesario.
- Registre cualquier modificación al diseño del programa.
- Sea cuidadoso en la colección de datos.
- Registre el avance del programa.

8



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

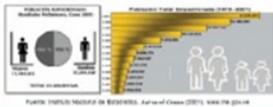
ANALICE LOS DATOS.

Reduzca los datos registrados a forma numérica, si es necesario.
Aplique las técnicas adecuadas de la Estadística Matemática.

INTERPRETE LOS RESULTADOS

- Considere todos los datos observados.
- Límite las conclusiones a deducciones estrictas a partir de la evidencia obtenida.
- Pruebe, mediante experimentos independientes, las controversias que susciten los datos.
- Llegue a conclusiones, tanto respecto al significado técnico de resultados como respecto a significancia estadística.
- Especifique lo que implican los resultados para su aplicación y para trabajos posteriores.
- Tome en cuenta las limitaciones impuestas por los métodos usados.
- Enuncie los resultados en términos de probabilidades verificables.

9



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

PREPARE EL REPORTE.

Describa claramente el trabajo dando antecedentes, aclaraciones pertinentes del problema y del significado de los resultados.

Use métodos gráficos y tabulares para la presentación de los datos en forma eficiente para usos futuros.

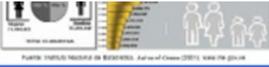
Suministre información suficiente para que el lector pueda verificar resultados y sacar sus propias conclusiones.

Limite las conclusiones a un resumen objetivo, tal que el trabajo evidencie su uso para consideraciones rápidas y acciones decisivas.

10



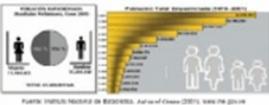
DISEÑO DE EXPERIMENTOS



VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS EXPERIMENTOS DISEÑADOS ESTADÍSTICAMENTE.

4. Se requiere una estrecha colaboración entre los estadísticos y el investigador o científicos con las consiguientes ventajas en el análisis e interpretación de las etapas del programa.
5. Se enfatiza respecto a las alternativas anticipadas y respecto a la preplaneación sistemática, permitiendo aun la ejecución por etapas y la producción única de datos útiles para el análisis en combinaciones posteriores.
6. Debe enfocarse la atención a las interrelaciones y a la estimación y cuantificación de fuentes de variabilidad en los resultados.
7. El número de pruebas requerido puede determinarse con certeza y a menudo puede reducirse.
8. La comparación de los efectos de los cambios es más precisa debido a la agrupación de resultados.
9. La exactitud de las conclusiones se conoce con una precisión matemáticamente definida.

11



DESVENTAJAS DE LOS EXPERIMENTOS DISEÑADOS ESTADÍSTICAMENTE.

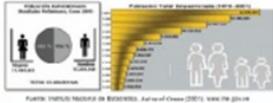
DESVENTAJAS DE LOS EXPERIMENTOS DISEÑADOS ESTADÍSTICAMENTE.

Tales diseños y sus análisis, usualmente están acompañados de enunciados basados en el lenguaje técnico del estadístico. Sería significativo a la generalidad de la gente, además, el estadístico no debería subestimar el valor de presentarnos los resultados en forma gráfica. De hecho, siempre debería considerar a la representación gráfica como un paso preliminar de un procedimiento más analítico.

Muchos diseños estadísticos, especialmente cuando fueron formulados por

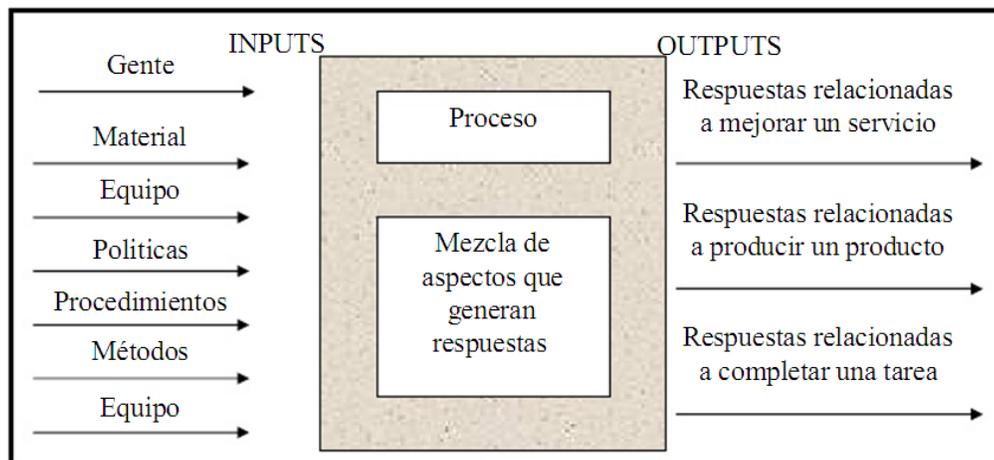
primera vez, se han criticado como demasiado caros, complicados y que requieren mucho tiempo. Tales críticas, cuando son válidas, deben aceptarse de buena fe y debe hacerse un intento honesto para mejorar la situación, siempre que no sea en detrimento de la solución del problema.

12

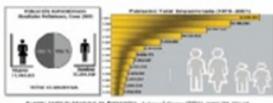


DISEÑO DE EXPERIMENTOS

- Para conducir a diseñar un experimento nos propondremos a hacer cambios en los factores (inputs) para poder observar los cambios correspondientes a las respuestas (outputs).
- La información obtenida de un buen diseño experimental puede ser utilizado para desarrollar las características de mejora, reduce costos y tiempos asociados al desarrollo del producto, diseño y producción, así como construir modelos matemáticos que se aproximan a la realidad entre los factores y el resultado.



13

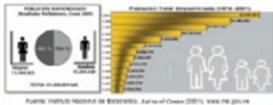


DISEÑO DE EXPERIMENTOS

- ◆ La información obtenida de un diseño experimental adecuado puede ser usado para mejorar las características analizadas; reduce costos y tiempo asociado con el desarrollo del producto, diseño de producción y construye modelos matemáticos que aproximan la verdad entre los factores y los resultados. Estos optimizan procesos, perfecciona los análisis para usarse en las evaluaciones de tolerancia y reduce la variación así como la posibilidad de evitar una respuesta insensible, es decir que se pudiera salir de control.

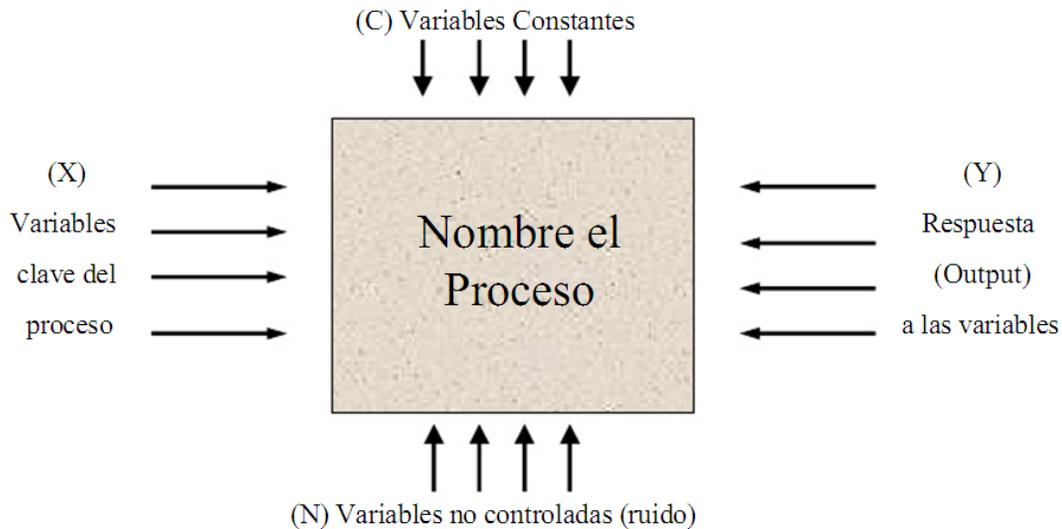
- ◆ Un proceso tiene cuatro categorías de variables las cuales deben de estar bien documentadas en un diagrama de causa y efecto:
 - Respuesta a las variables* .- (outputs) Son medidas para evaluar el desempeño de un proceso y/o producto.
 - Controlar variables y mantenerlas constantes*.- Mediante el SOP (procedimiento estándar de la operación)
 - Variables no controladas (Ruido)*.- Estas variables no pueden mantenerse constantes ni durante la producción ni cuando es un producto terminado. Esto hace un producto robusto.
 - Variables Clave en el Proceso*.- Son las variables que intentaremos variar durante el experimento para lograr la respuesta de mejora en el producto.

14

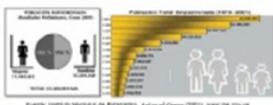


DISEÑO DE EXPERIMENTOS

- ◆ Usando las 4 categorías de variables, se puede representar un diagrama de proceso más completo, tal como se observa en la siguiente gráfica:

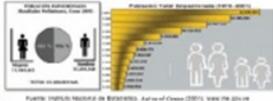


15



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

- Permite el estudio simultáneo de los efectos de varios factores que pueden haber en una respuesta. Cuando se mejora un experimento guía el nivel de todos los factores simultáneamente permitiendo uno a la vez para el estudio o interacción entre los factores.
- En el gráfico se puede observar como cada punto represente una combinación única de niveles de factor.
- También se puede hacer una corrida de diseño de factores completos (QUE SON TODAS LAS COMBIANCIONES DEL LOS NIVELES DEL FACTOR EXPERIMENTAL) ó una fracción del diseño factorial (SON MEDIDAS DE RESPUESTA A UN SUBGRUPO FRACCIÓN DE TODAS LAS COMBINACIONES DE LOS NIVELES DEL FACTOR EXPERIMENTAL)



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

DISEÑO FACTORIAL DE 2 NIVELES

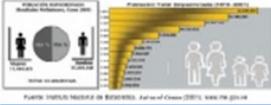
Es donde cada factor solo tiene dos niveles y no cuenta con un punto central.

El diseño factorial de dos niveles es usado para guiar futuros experimentos, por ejemplo, cuando se necesita explorar una nueva región donde se supone que un grupo mejor puede existir.

El diseño factorial de dos niveles puede ser:

Factorial completo que son corridas experimentales que incluyen todas las combinaciones en los niveles de factor.

Factorial fraccionado o fraccional que experimenta corridas que incluyen solo una fracción de todas las posibles corridas.



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

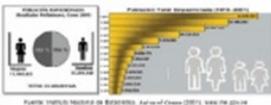
DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO

- Este diseño experimenta la mejora solo en una subsección o fracción de la

DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO

- Este diseño experimenta la mejora solo en una subsección o fracción de la corrida en el diseño del factorial completo.
- Este diseño fraccional, es un buen recurso cuando los recursos son limitados o el número de factores en el diseño es largo ya que usa menos corridas que un diseño factorial completo.
- El número de corridas necesarias para un factorial completo de dos (2) niveles es 2^k donde “k” es el número de factores. Si el número de factores en un diseño 2^k , el número de corridas necesaria para mejorar un diseño de factorial completo se incrementa rápidamente. Por ejemplo: un diseño factorial completo de 2 niveles con 6 factores, requerirá de 64 corridas, un diseño con 9 factores requiere de 512 corridas. Con una media fracción, el diseño factorial completo deberá requerir solo la mitad de esas corridas.

18

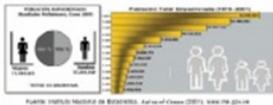


DISEÑO DE EXPERIMENTOS

- En el diseño factorial fraccionado, algunos de los efectos son confundidos y no pueden ser separados de otros efectos. Usualmente no es preocupación cualquier término mayor de 2- way (dos vías) de interacción, ya que se pueden asumir los efectos que se tengan en los más grandes porque las diferencias realmente son mínimas y no es necesario estimarlas. Un diseño factorial fraccionado usa un subgrupo de un factorial completo para obtener información acerca de los efectos principales de interacciones de bajo orden con menos corridas. *** El diseño factorial completo tiene tantos puntos del diseño como la mitad del diseño fraccionado.
- La respuesta es cuatro de los posibles ocho esquemas del diseño o de la porción

- La respuesta es cuatro de los posibles como esquinas del diseño o de la porción factorial . Esta práctica puede confundirse con una iteración de 2 way (dos direcciones)

19

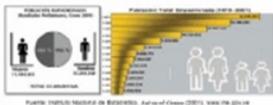


DISEÑO DE EXPERIMENTOS

DISEÑO FACTORIAL COMPLETO (GENERAL)

- Diseña en cuales factores puede tener X número de niveles. Por ejemplo, los ingenieros dirigen un experimento para investigar los efectos de humedad, temperatura y contenido de cobre en la cantidad de recubrimiento en una placa del mismo material.
- El factor A humedad tiene dos niveles.
- El factor B temperatura tiene tres niveles
- El factor C contenido de cobre tiene 5 niveles.
- Las corridas experimentales incluyen las 30 combinaciones de estos niveles de factor.

20



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

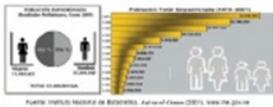
DISEÑO DE RESPUESTA DE SUPERFICIE

- ◆ Las técnicas del DOE en un grupo son técnicas que ayudan a entender mejor y optimizar su respuesta. La metodología de la respuesta de superficie es

regularmente usada para definir modelos después de que factores importantes ha sido determinados usando diseños factoriales, especialmente si se sospecha que hay una superficie de respuesta con curvatura.

- ◆ La diferencia entre una ecuación respuesta de superficie y la ecuación para un diseño factorial es la adición de los términos cuadrados que permiten curvatura en la respuesta del modelo, haciendo útil este para:
 - ◆ Entendimiento y mapeo de una región de respuesta de superficie. Respuesta del modelo de superficie de ecuación para ver el cambio de inputs de influencia variable a una respuesta de nuestro interés.
 - ◆ Encuentro de niveles de inputs variables que optimizan una respuesta.
 - ◆ Selección de las condiciones de operación que logran las especificaciones.

21



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

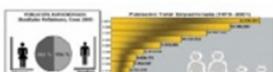
- ◆ Por ejemplo, si quisiera determinar las mejores condiciones para moldear una parte plástica de fuel injection. Se usará primero un experimento factorial para determinar los factores significativos (temperatura, presión, tarifa de enfriamiento). Se usa un experimento de diseño de respuesta de superficie para encontrar el grupo ideal para cada factor.

- ◆ Hay 2 tipos principales de respuesta en diseños de superficie:

Diseño Central Compuesto.- Puede adecuar un model cuadrático completo. Son usualmente utilizados cuando los planes de diseño piden experimentación secuencial debido a que esos diseños pueden incorporar información de un experimento factorial apropiadamente planeado.

Diseños Box – Behnken. Típicamente tiene menos puntos en el diseño, por lo tanto, hay menos corridas que en el diseño central compuesto con el mismo número de factores. Permite una estimación eficiente de los coeficientes del primer y segundo orden; como quiera aquél no se puede incorporar corridas de un experimento factorial

22

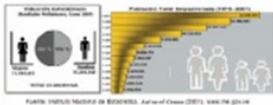


DISEÑO DE EXPERIMENTOS

COMPONENTES (DOE)

- Son los ingredientes que hacen una mezcla, mejorando un Diseño de Experimentos (DOE), se puede determinar la proporción relativa de cada componente que optimizará la mezcla (es decir, la respuesta). Comúnmente los experimentos de mezcla ocurren en alimentos, en proceso y refinamiento , también en la manufactura de químicos.
- Suponga que quiera estudiar como las proporciones de 3 componentes en un desodorante de mezcla herbal casera afecta la aceptación del producto basado en el aroma. Los 3 componentes son: aceite de rosas, aceite de mandarina y neroli.
- Se crea un diseño de mezclas y se analizan los resultados en un trazo de puntos (trace plot), con un alto valor en la escala vertical para representar el aroma más conveniente.

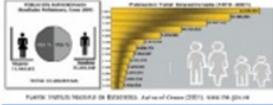
23



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

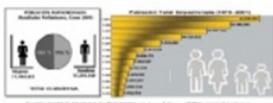
EFFECTOS DE COMPONENTES

- Como la proporción de la esencia de mandarina (línea verde) se incrementa en referencia a la mezcla, lo conveniente de la primera esencia incrementa, entonces empieza a decrecer.
- Como la proporción de la esencia de rosas (línea roja) decrece en referencia a la mezcla, lo conveniente del aroma se incrementa.
- Como la proporción de neroli (línea blanca) se incrementa en referencia a la mezcla, la conveniencia del aroma decrece.
- La intersección entre las 3 líneas a "0" representa la mezcla (1/3 de esencia de rosas, 1/3 de mandarina y 1/3 de neroli) Moviéndose hacia la derecha del "0" muestra la proporción relativa para que un ingrediente se incremente y moviéndolo a la izquierda del "0" muestra la proporción relativa el decremento de un componente y como los otros ingredientes se mantienen en proporciones iguales.



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

- Las cantidades de componentes , medidas y pesos, volúmenes o cualquier otra unidad, se adhieren al total común. Esto es, la suma de las proporciones de todos los componentes en cada mezcla de aroma debe ser 100%.
- Se pueden especificar límites alto o bajo para cada componente cuando se está tratando de mejorar en un diseño de experimento. Por ejemplo, si la mandarina es el más caro componente, se puede colocar en el límite superior para controlar el total del costo de la mezcla. De por sí Minitab genera grupos de diseños que no necesariamente debieran existir. Es decir, si el límite bajo es cero y el más alto es uno para todos los componentes.
- Cuando se diseña un experimento con mezcla, el número de puntos en el diseño dependen del número de componentes. Por ejemplo un diseño de centoride simple para una mezcla con q components consiste en $2^{**}q-1$ puntos. En un diseño de trama simple, el número de puntos en ese diseño depende del número de componentes. (q) y del grado (m).



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA

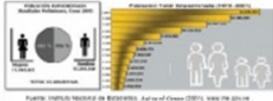
Una clase de experimento de respuesta de superficie que investiga productos contiene algunos componentes. Se usa un diseño de mezcla para estudiar las características de los productos asociados con cambios en proporción a los componentes, condiciones del proceso, o la cantidad de la mezcla. Minitab provee tres diseños (Centroide Simple, trama simple y vértices extremas) y analiza los tres tipos de experimentos:

Mezcla.- Donde la respuesta se asume que sólo depende en proporción de los componentes en la mezcla. Por ejemplo, el color de la pintura sólo depende de los pigmentos usados.

Proceso- Mezcla variable.- Cuando la respuesta asume la dependencia de las

proporciones relativas de los componentes y del proceso de las variables, que son los factores en un experimento que no es parte de la mezcla, pero puede afectar la propiedad al revolver en la mezcla. Por ejemplo, las propiedades del adhesivo de una pintura dependen de la temperatura a la cual es aplicada.

Mixture-amount.- Donde la respuesta asume la dependencia de las proporciones de los componentes y al cantidad de la mezcla. Por ejemplo, La cantidad aplicada y la proporción de los ingredientes de una planta comestible puede afectar el crecimiento de una planta casera.



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

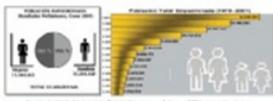
Experimentos Mixture-Amount (Mezcla de Cantidades)

La respuesta es asumida dependiendo de las proporciones de los componentes y de la cantidad de la mezcla . Por ejemplo, la cantidad aplicada y las proporciones de los ingredientes de una planta comestible puede afectar el crecimiento de una planta casera. Cuando el experimento mezcla es mejorada a dos o más niveles del total de la mezcla, es llamada experimento de mezcla de cantidades.

DISEÑO DEL PROCESO VARIABLE DE LA MEZCLA

Es el diseño de la mezcla que incluye factores de procesos variables en un experimento que no es parte de la mezcla pero puede afectar la respuesta. Por ejemplo, las propiedades del adhesivo de una pintura puede depender de la temperatura a donde ésta se aplique.

En Minitab se puede incluir un proceso hasta 7 de 2-niveles en un diseño de la mezcla. El diseño de la mezcla generará a cada combinación de niveles de las variables del proceso o una fracción de niveles de combinación.



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

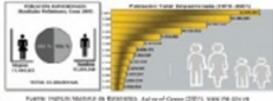
DISEÑO DE EXPERIMENTO FUNCION TAGUCHI

Llamada así porque Genichi Taguchi, ingeniero japonés, desarrolló una nueva filosofía de calidad basada en los valores de la tarea en vez de en las variables en el proceso de las especificaciones. El cuadrante de Taguchi hace una

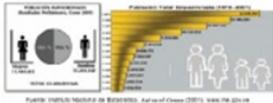
en el proceso de las especificaciones. El cuadrado de Taguei hace una aproximación de un término de pérdidas por desviación en el objetivo. Donde las pérdidas son resultado de una combinación de desperdicio, retrabajo, pobre desempeño, pérdida de clientes, satisfacción, etc.

La medida de pérdida de un producto puede ser estimado usando $L = k (y-T)^2$ donde:

- y es el valor de la respuesta
- T es el valor deseado
- k es una constante



DISEÑO DE EXPERIMENTOS



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Para determinar k se estima la pérdida de un valor específico de y. Por ejemplo si la pérdida estimada para :

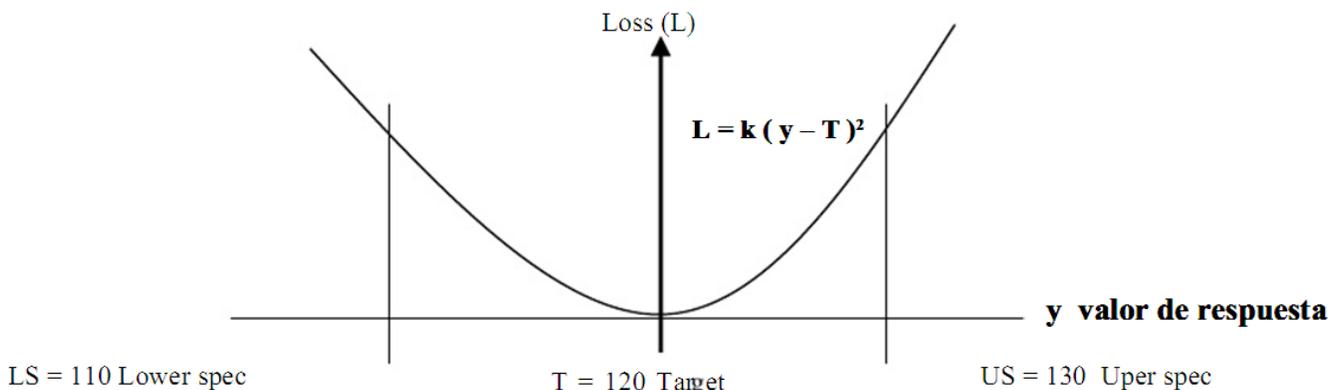
y = 130 es \$ 100.00

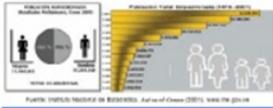
$$k = 100 / (130 - 120)^2 = 1.0$$

La función de pérdida es :

$$L = 1.0 (y - T)^2$$

Ahora ya se puede usar el estimado de pérdida asociado con otros y valores

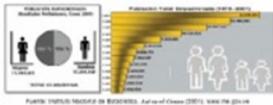




DISEÑO DE EXPERIMENTOS

- Permite elegir un producto o proceso que permite la mejora consistente en la operación. Reconoce que no todos los factores que causan variabilidad pueden ser controlados en la práctica. Estos factores incontrolables. Estos factores son llamados factores de ruido.
- El diseño Taguchi identifica los factores controlables que minimiza los factores de ruido. Durante la experimentación se puede manipular el factor de ruido o forzar a que ocurran las variables y entonces encontrar el máximo control de los factores se realizan para hacer un proceso robusto o resistente a la variación de los factores de ruido.

30



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

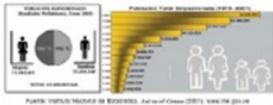
- Un buen ejemplo del diseño de Taguchi es el de Ina Tile (Compañía Japonesa en los 50's). Esta produjo mucho piso fuera de especificación en dimensiones. El equipo de calidad encontró que la temperatura usada en los hornos para los diversos pisos causaba una dimensión no uniforme. Ellos no pudieron eliminar las variaciones de temperatura porque construir un nuevo horno era muy costoso, así que se convirtió en una variable de ruido. Usando los diseños de Taguchi, el equipo encuentra que el incremento de arcilla puede ser un factor de control, los pisos se vuelven más resistentes o robustos para que la temperatura varíe en el horno y de ese modo propiciar que los pisos sean más uniformes.

DISEÑOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS DE TAGUCHI

- Dos tipos de diseños Taguchi permite escoger un producto o proceso que mejora la operación. Como sea en un sistema dinámico, la

respuesta variable depende no solamente en los factores de ruido y de control sino también de otros conceptos variables (input) es decir, el factor señal. El objetivo del Taguchi de diseño dinámico es para colocar factores de control que optimiza las características de la calidad en el sistema sobre un rango de señales de entrada.

31

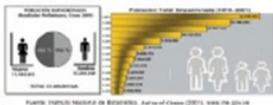


DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Por ejemplo la cantidad de la aceleración es una medida de mejora en los frenos. El factor señal es el grado de depresión en el pedal del freno; cuando el conductor presiona el pedal del freno, la desaceleración incrementa.

El grado de presión en el pedal tiene un significativo efecto en la desaceleración. Debido a que existe una presión en el pedal no óptima, no hay razón para realizar una prueba como factor de control. En lugar de eso, los ingenieros quieren diseñar un sistema de frenos que eficiente a la menor variable de presión en el pedal freno.

32



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

CONCLUSIONES

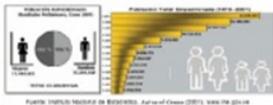
En este trabajo podemos darnos cuenta de la aplicación del diseño de experimentos, o dicho de otra manera, el planear paso a paso las operaciones para así obtener un resultado satisfactorio a nuestro problema planteado. Para el diseño de un experimento debemos tener en cuenta los efectos y las características de nuestro problema a resolver. Como se puede apreciar un diseño debe de ser lo más sencillo posible y así poder ahorrar tiempo, inversión y personal pero no por eso se deben de olvidar considerar los principios básicos del

personal, pero no por eso se deben de olvidar considerar los principios básicos del diseño.

También observamos el trabajo conjunto de los investigadores con los estadísticos que nos llevan a obtener una mejor planeación del experimento, aunque tiene sus desventajas se puede notar que actuando de manera correcta se puede cambiar la forma de ver de los inconvenientes que puede representar el alto costo que se tiene con los estadísticos.

Podemos estar seguros de que si llevamos a cabo todos los elementos de la lista de comprobación tendremos una planeación efectiva de nuestro experimento y así obtener los resultados esperados.

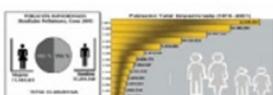
33



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

TERMINOLOGIA Y EJEMPLO DE UN DISEÑO DE EXPERIMENTO

34



DISEÑO DE EXPERIMENTOS Terminología

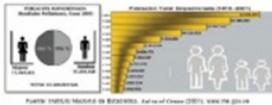
- *Diseño de experimentos:*

Es una parte clave del desarrollo de la metodología de Seis Sigma para determinar los factores importantes que influyen en un determinado proceso y encontrar su combinación óptima para así mejorar el rendimiento y el producto derivado.

- *Factores:*

Cualquier influencia que afecta las variables de respuesta (excluyendo a los tratamientos) es controlada casi completamente por el experimentador; de esta variable se desean estudiar los efectos ya sea de una o en varias respuestas. Puede presentarse de forma cuantitativa o cualitativa. Los factores son los componentes del proceso y el nivel en el que éstos se encuentran determina las variables de respuesta resultante, la cual se pretende mejorar u optimizar.

35



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Terminología ...

- *Niveles de un factor:*

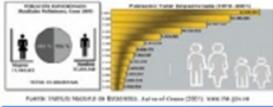
Son los valores del factor examinado en el experimento. Para factores cuantitativos, cada valor será un nivel. En un factor cualitativo, por ejemplo, limpio o sucio tiene 2 niveles.

- *Tratamientos:*

Término que se refiere al nivel de un factor (o la combinación de los niveles de varios factores) que afecte directamente a lo que le interesa al experimentador. Las influencias de varios niveles de los factores serán comparadas en el experimento.

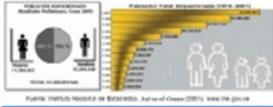
- *Estructura de tratamientos de un diseño experimental:*

Es el conjunto de tratamientos que han sido seleccionados para estudiar y/o comparar; la forma de la estructura de tratamientos



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Terminología ...



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Terminología ...

- *Unidad experimental:*

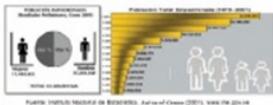
La unidad más pequeña o en la que un tratamiento es aplicado.

- *Variable de Respuesta:*

Medida cuantitativa de una unidad después de que el tratamiento es aplicado, su valor depende del tratamiento usado. Es la variable que se investiga y también es conocida como respuesta.

- *Efecto principal:*

Es la contribución de cada factor sobre las variables de respuesta después de medir el cambio producido en éstas (el cambio depende del nivel de cada factor).



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Terminología ...

- *Interacción:*

Cuando existe un relación o dependencia entre dos o más factores, es decir, cuando el efecto de un factor depende del nivel del otro.

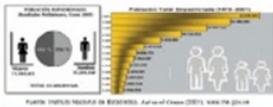
- *Variable concomitante:*

Medida cuantitativa sobre una unidad, tomada antes de que los tratamientos sean aplicados.

- *Bloque:*

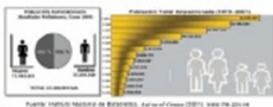
Grupo de unidades experimentales que son homogéneas con respecto a un factor bajo el cual se formó el bloque.

38



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Terminología ...



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Terminología ...

- *Error experimental:*

Debido a que ningún experimento puede considerar de forma explícita a todas las variables potenciales que afectan el experimento, esas variables no se consideran y se les denomina “nivel de ruido” ya que aunque se hace todo lo posible en el experimento por reducirlas por medio de la aleatorización), siempre van a estar presentes provocando variación por menor que ésta resulte ser.

- *Confusión:*

Ocurre cuando el efecto de un factor o tratamiento no puede ser separado o distinguido del de otro factor o tratamiento.

39



DISEÑO DE EXPERIMENTOS



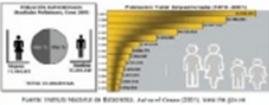
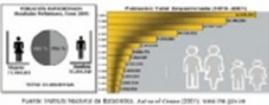
- Para ejemplificar de una mejor manera el funcionamiento del diseño de experimentos, se manejará un ejemplo en el que se investiga que tipo de palos y pelotas mejorarán el juego de golf de un golfista novato.

3. Título del experimento:

Evaluación de dos sets de palos y dos tipos de pelotas para golf

5. Objetivos:

Con el fin de ejemplificar el uso y funcionamiento del DOE, se desea saber como lograr un mejor juego de golf con referencia a dos marcas de palos y a dos marcas de pelotas.



Cabe mencionar que generalmente uno juega 2 cursos, cada uno con diferente condición de viento. Campo A nunca hace viento ya que está rodeado de montañas. Campo B siempre tiene vientos fuertes ya que está localizado en la llanura.

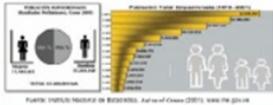
Se tiene el equipo.

Se tiene el tiempo para ambos cursos.

¿Cómo saber qué hacer para mejorar el juego?

Tratemos un Experimento Diseñado...

41



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...

1. Apoyos relevantes para los objetivos:

No se cuenta con información de experimentos previos.

4. Consideraciones sobre la variable Respuesta:

No se cuenta con información de experimentos previos.

4. Consideraciones sobre la variable Respuesta:

La variable Respuesta medirá la puntuación de los hoyos.

7. Consideraciones sobre factores:

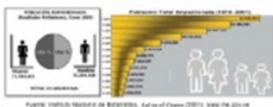
Factores controlados:

- * Tipos de palos (a. Ping; b. Callaway)
- * Tipos de pelotas (a. Titlest; b. Pinnacle)
- * Condición del clima (a. con viento; b. sin viento)

Factores de ruido:

- * Ninguno para este experimento controlado.

42



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...

1. Consideraciones sobre interacciones:

No hay interacciones evidentes en el experimento antes de su

realización.

4. Restricciones sobre el experimento:

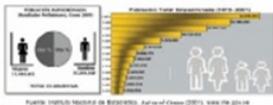
Ninguna, se cuenta con el tiempo para jugar ambos cursos.

7. Estructura (escoger los niveles de las variables):

El experimento se conducirá a dos condiciones de clima, entonces el factor clima, tipo de palos y pelotas tienen 2 “niveles”. Por tanto, esto es un factorial completo de 2^3

	Nivel -1	Nivel 1
Tipos de palos	Ping	Callaway
Tipos de pelotas	Titleist	Pinnacle
Condición del Clima	Con viento	Sin viento

43



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...

1. Análisis y presentación de datos:

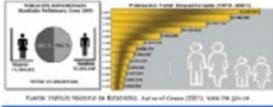
A continuación se presentan los niveles de los factores y el experimento en forma estándar.

¿Cuáles son todas las posibles combinaciones?

1	Palo Ping	Pelota Titleist	Sin viento
2	Palo Callaway	Pelota Titleist	Sin viento
3	Palo Ping	Pelota Pinnacle	Sin viento
4	Palo Callaway	Pelota Pinnacle	Sin viento
5	Palo Ping	Pelota Titleist	Con viento
6	Palo Callaway	Pelota Titleist	Con viento
7	Palo Ping	Pelota Pinnacle	Con viento
8	Palo Callaway	Pelota Pinnacle	Con viento

Veámoslo de una manera diferente en la siguiente hoja

44



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...

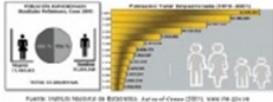
		Con viento	Sin viento
Palo Ping	Pelota Titleist	1	2
	Pelota Pinnacle	3	4
Palo Callaway	Pelota Titleist	5	6
	Pelota Pinnacle	7	8

Se juega:
sin viento,
con la pelota Titleist,
Con palo Ping

Se juega:
con viento,
con la pelota Titleist,
Con palo Callaway

Este un factorial completo. Veamos los resultados!...

45



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...

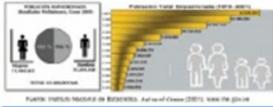
¿Cuáles son los Resultados? ¿Hay una diferencia para el golfista?

		Con viento	Sin viento
Palo Ping	Pelota Titleist	76	78
	Pelota Pinnacle	78	76
Palo Callaway	Pelota Titleist	80	83
	Pelota Pinnacle	83	82

Mejor
puntuación

Los palos Ping dan mejores puntuaciones...

:Δ esto se le llama **Efecto Principal**



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...

¿Y qué sobre le tipo de pelota?

Las mejores puntuaciones fueron cuando:

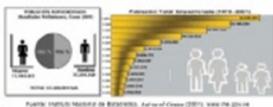
Se jugó con viento y con la pelota Titleist

		Con viento	Sin viento
Palo Ping	Pelota Titleist	76	78
	Pelota Pinnacle	78	76
Palo Callaway	Pelota Titleist	80	83
	Pelota Pinnacle	83	82

Se jugó sin viento y con la pelota Pinnacle

El tipo de pelota depende en el viento...

¡A esto se le llama Interacción!



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...

Veamos como se analizan los datos desde el minitab 15.



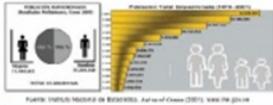
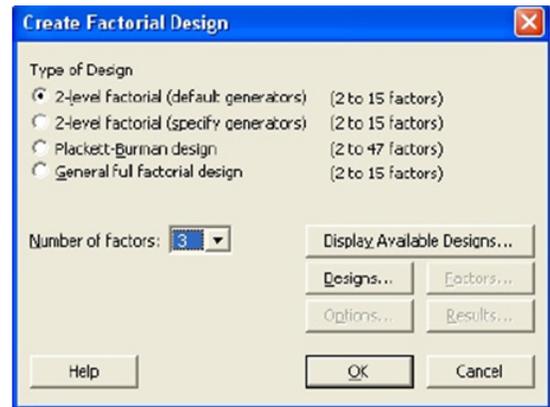
- Stat / DOE / Factorial / Create Factorial Design

- En seguida aparecerá una ventana:

Create Factorial Design

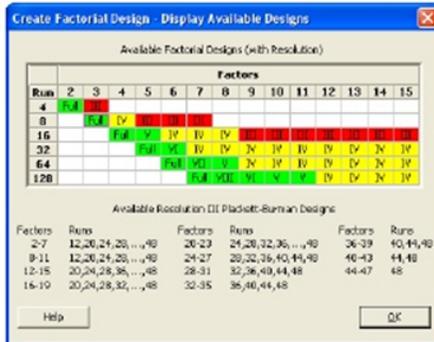
Tipo de diseño: 2 – level factorial (default generation)

Número de factores: 3



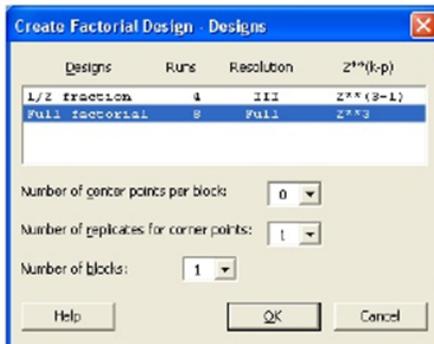
DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...



Display Available Designs...

Nos muestra los diseños disponibles:
presionar OK



Designs...

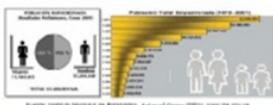
Nos muestra los tipos de diseños:

Factorial fraccional

Factorial completo

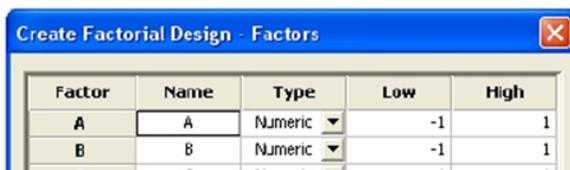
Seleccionar Full factorial / OK

49



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...



Factors...

Nos muestra la tabla de factores.

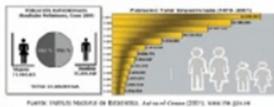


Llenarla en base a los datos del experimento



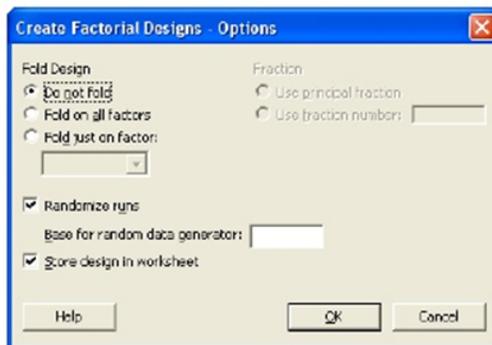
Una vez llenos presionar OK

50



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

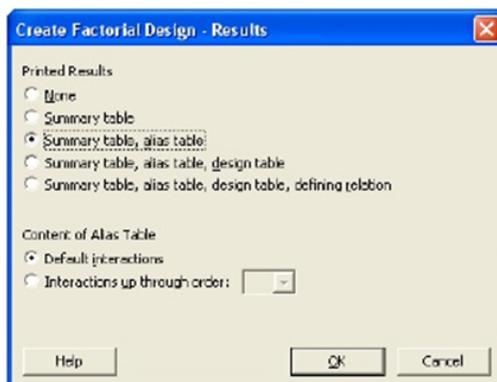
Definición del Ejemplo...



Nos muestra las opciones en que combinará los resultados.

Para este experimento dejarla como está.

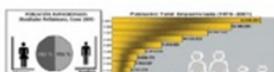
Presionar OK



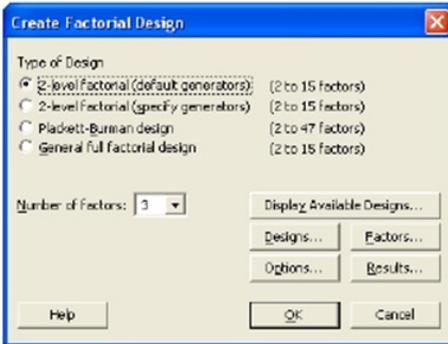
Verificar selección.

Presionar OK

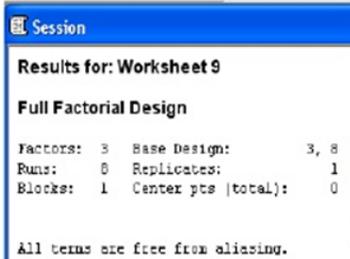
51



DISEÑO DE EXPERIMENTOS



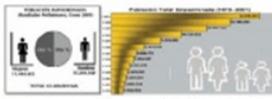
Presionar OK



Minitab nos va generar una tabla de la combinaciones de cómo se procederá a realizar el experimento

Run	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Palo	Pelota	Clima	
1	4	1	1	1	Callaway	Pinnacle	Con Viento	
2	5	2	1	1	Ping	Titleist	Sin Viento	
3	7	3	1	1	Ping	Pinnacle	Sin Viento	
4	1	4	1	1	Ping	Titleist	Con Viento	
5	3	5	1	1	Ping	Pinnacle	Con Viento	
6	8	6	1	1	Callaway	Pinnacle	Sin Viento	
7	2	7	1	1	Callaway	Titleist	Con Viento	
8	6	8	1	1	Callaway	Titleist	Sin Viento	

52



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Run	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Palo	Pelota	Clima	
1	4	1	1	1	Callaway	Pinnacle	Con Viento	83
2	5	2	1	1	Ping	Titleist	Sin Viento	78
3	7	3	1	1	Ping	Pinnacle	Sin Viento	76
4	1	4	1	1	Ping	Titleist	Con Viento	76
5	3	5	1	1	Ping	Pinnacle	Con Viento	78
6	8	6	1	1	Callaway	Pinnacle	Sin Viento	82
7	2	7	1	1	Callaway	Titleist	Con Viento	80
8	6	8	1	1	Callaway	Titleist	Sin Viento	83

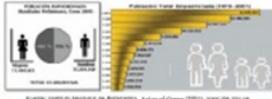
Una vez realizado el experimento introducir los datos obtenidos en la columna C8.

Se observa que las mejores puntuaciones fueron cuando:

Se jugó sin viento y con la pelota Pinnacle

Se jugó con viento y con la pelota Titleist

El mejor Palo fue el Ping



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

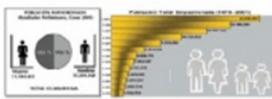
Definición del Ejemplo...

¿Cómo se traza el Efecto?

	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8	C9	C10
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Palo	Pelota	Clima			
1	4	1	1	1	Callaway	Pinnacle	Con Viento	83		
2	5	2	1	1	Ping	Titleist	Sin Viento	79		
3	7	3	1	1	Ping	Pinnacle	Sin Viento	76		
4	1	4	1	1	Ping	Titleist	Con Viento	76		
5	3	5	1	1	Ping	Pinnacle	Con Viento	78		
6	8	6	1	1	Callaway	Pinnacle	Sin Viento	82		
7	2	7	1	1	Callaway	Titleist	Con Viento	80		
8	6	8	1	1	Callaway	Titleist	Sin Viento	83		
9										

Stat / DOE / Factorial / Factorial Plots

54



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...

Gráfica de Efecto Principal.

Selecciona "Setup..."



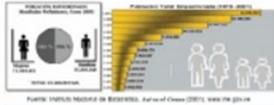
Colocamos el puntero en el campo de Responses.
 Colocamos el puntero sobre "C8".
 Selecciona "Select"



Desea graficar el efecto de todos los factores.

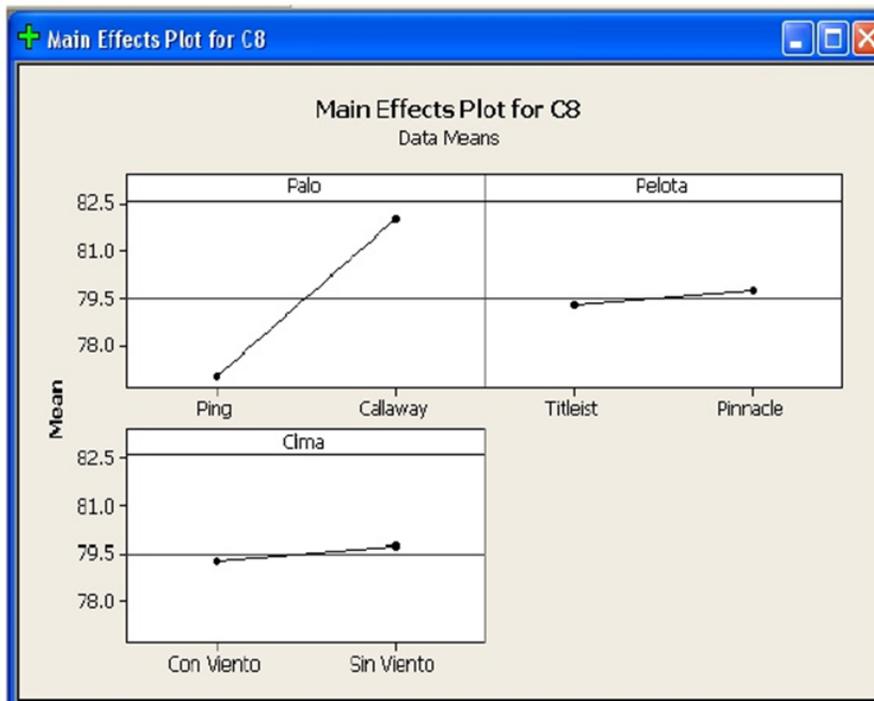
Entonces presionar

Presionar OK.



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

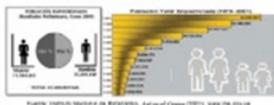
Definición del Ejemplo...



Entre mayor inclinada esté una pendiente mayor es el impacto.

Por tanto: Los palos dan las mejores puntuaciones (Ping).
 Cuando juega:

- Con Viento y pelotas Titleist
- Sin Viento y pelotas Pinnacle



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...

¿Cómo se traza las Interacciones?



Results for: Works

- Subvariable
- Time Series
- Tables
- Nonparametrics
- EDA
- Power and Sample Size

Full Factorial Design

Factors: 3 Base Runs: 8 Repl Blocks: 1 Cent

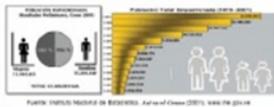
All tests are free from aliasing.

Worksheet 9 ***

#	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8	C9	C10
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Palo	Pelota	Clima			
1	4	1	1	1	Callaway	Pinnacle	Con Viento	83		
2	5	2	1	1	Ping	Titleist	Sin Viento	78		
3	7	3	1	1	Ping	Pinnacle	Sin Viento	78		
4	1	4	1	1	Ping	Titleist	Con Viento	78		
5	3	5	1	1	Ping	Pinnacle	Con Viento	78		
6	8	6	1	1	Callaway	Pinnacle	Sin Viento	82		
7	2	7	1	1	Callaway	Titleist	Con Viento	80		
8	6	8	1	1	Callaway	Titleist	Sin Viento	83		
9										

Stat / DOE / Factorial / Factorial Plots

57



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...

Factorial Plots

Main Effects Plot Setup...

Interaction Plot Setup...

Cube Plot Setup...

Type of Means to Use in Plots

Data Means

Fitted Means

Help OK Cancel

De esta manera se obtiene la gráfica de Interacciones

Factorial Plots - Interaction

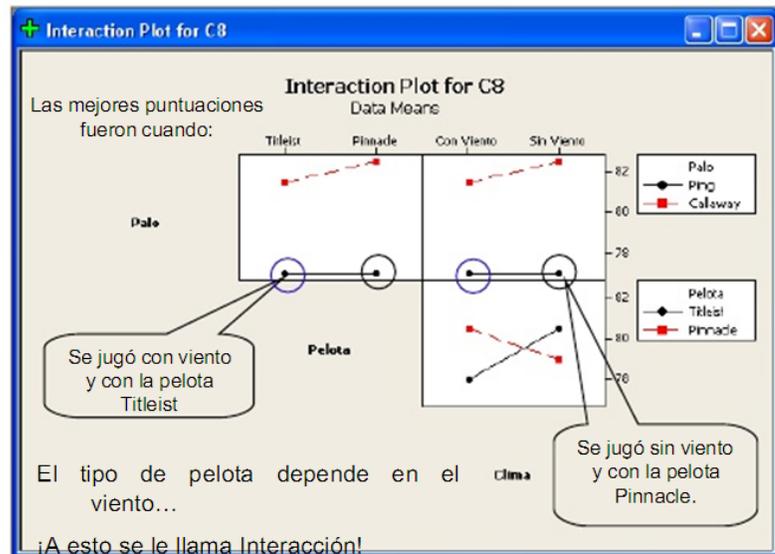
Responses: C8

Factors to Include in Plots

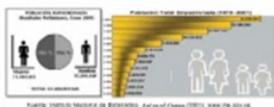
Available: A:Palo B:Pelota C:Clima

Selected: A:Palo B:Pelota C:Clima

Select Options... Help OK Cancel



58



DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Definición del Ejemplo...

¿Qué decisión se obtiene del experimento?

Ser un mejor golfista:

USANDO LOS PALOS PING

Y cuando la condición climática es:

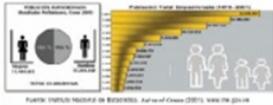
Con Viento
Sin Viento

Utilice:

Titleist
Pinnacle

DOE es una buena estrategia para cualquier proceso en necesidad de Mejora.

59



CONCLUSIONES

El reto de la materia Estadística Aplicada a los Negocios, impartida por el Ing. Juan Alejandro Garza Rodríguez, nos comprometió a aprender y a utilizar el Minitab como una herramienta más.

Con los grandes avances tecnológicos hemos ahorrado tiempo para el análisis estadístico, sin embargo la comprensión de la lógica que se utiliza para llegar a la resolución del mismo es algo que nos ha llevado a este estudio, el cual ha sido muy bien conducido por el Ing. Garza, quien nos imparte la asignatura.

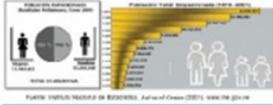
Con el desarrollo de este proyecto y gracias a la comprensión de conceptos y el manejo del programa Minitab entendimos que es una poderosa herramienta estadística que bien aplicada nos podrá ayudar a facilitar los cálculos para la solución de problemas. Lo cual continúa con el propósito esencial: Ahorro de costos y mejora continua en cualquier ámbito en que nos desarrollemos. Aprendimos que no es limitativa el área en que nos desempeñemos en nuestro trabajo ya que tanto en Ingeniería como Materiales, en Recursos Humanos como en un Negocio Propio, en Comercio o en Industria, o bien por puro pasatiempo en el panorama de la probabilidad estadística, estas herramientas serán siempre de gran utilidad.

Para esta presentación aprendimos el manejo del DOE, Diseño de Experimentos.

Deseamos compartir esta compilación de información con alguien más que al igual que nosotros tuvimos la necesidad de investigar y realizar un trabajo de este tipo. Análisis y estudios que nos han abierto la mente así como nuestras habilidades para desempeñarnos con mayor eficiencia en nuestras funciones laborales y personales.

Gracias por tomarse el tiempo de revisar nuestras aportaciones.

60



BIBLIOGRAFIA

- Mark J. Kiemele, Stephen R. Schmidt, Ronald J. Berdine. BASIC STATISTICS Fourth edition. Text Book # 1. Chapter 8
- Estadística para Administradores. Sexta Edición. Richard I. Levin & David S. Rubin. Editorial Prentice Hall. Capítulo 6 .3 Diseño de Experimentos, pp. 323 – 327
- GE Lighting - AEA. Curso para Green Belts, Iniciativa Sies Sigma Semana #1. Abril 1997.
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lat/valenzuela_c_f/capitulo4.pdf
- Minitab 15 (versión de prueba obtenida de www.minitab.com).
- MeetMinitabEs.pdf (obtenido de www.minitab.com)
- Diseño de Experimentos. www.monografias.com