



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN MODELO EXPERIMENTAL FACTORIAL EN LA  
IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE PRODUCCIÓN QUE  
AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA DE VEGETALES CONGELADOS EN UNA  
EMPRESA DE ALIMENTOS DE EL TEJAR, CHIMALTENANGO**

**Francisco Rolando García**

Asesorado por: Mtro. William Eduardo Fagiani Cruz

Guatemala, noviembre 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN MODELO EXPERIMENTAL FACTORIAL EN LA IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE PRODUCCIÓN QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA DE VEGETALES CONGELADOS EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS DE EL TEJAR, CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD E INGENIERÍA  
POR

**FRANCISCO ROLANDO GARCÍA**  
ASESORADO POR MTRO. WILLIAM EDUARDO FAGIANI CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2022



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Victor Hugo García Roque
EXAMINADORA	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADORA	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN MODELO EXPERIMENTAL FACTORIAL EN LA IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE PRODUCCIÓN QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA DE VEGETALES CONGELADOS EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS DE EL TEJAR, CHIMALTENANGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 17 de agosto de 2021.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Francisco Rolando García', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a large initial 'F' and 'R'.

**Francisco Rolando García**





**EEPFI-PP-0498-2022**

Guatemala, 31 de enero de 2022

**Director**  
**César Ernesto Urquizú Rodas**  
**Escuela Ingeniería Mecánica Industrial**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Urquizú**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE UN MODELO EXPERIMENTAL FACTORIAL EN LA IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE PRODUCCIÓN QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA DE VEGETALES CONGELADOS EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS DEL TEJAR, CHIMALTENANGO.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Muestreo**, presentado por el estudiante **Francisco Rolando Garcia** carné número **9415591**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Estadística Aplicada.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Mtro. William Eduardo Fagiani Cruz  
Asesor(a)

Mtro. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco  
Coordinador(a) de Maestría

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería







EEP-EIMI-0498-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE UN MODELO EXPERIMENTAL FACTORIAL EN LA IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE PRODUCCIÓN QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA DE VEGETALES CONGELADOS EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS DEL TEJAR, CHIMALTENANGO.**, presentado por el estudiante universitario **Francisco Rolando Garcia**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2022



LNG.DECANATO.OI.741.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN MODELO EXPERIMENTAL FACTORIAL EN LA IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE PRODUCCIÓN QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA DE VEGETALES CONGELADOS EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS DE EL TEJAR, CHIMALTENANGO**, presentado por: **Francisco Rolando García**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabeía Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, noviembre de 2022

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por el don de la sabiduría y perseverancia
<b>Mi esposa</b>	Por su amor y apoyo incondicional en todos los proyectos de mi vida.
<b>Mis padrinos</b>	Jesús y Helena Mora, por su apoyo, consejos y guía cuando más lo necesitaba.
<b>Mi madre</b>	Por sus sacrificios, apoyo e inculcarme el amor a Dios.
<b>Mi familia</b>	Por su apoyo y cariño
<b>Mi asesor</b>	Mtro. William Fagiani, por el seguimiento y asesoría prestada en la elaboración de este trabajo.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Pueblo de Guatemala**

Con sus impuestos, por brindarme la oportunidad de ser un profesional.

**Universidad de  
San Carlos de Guatemala**

Por la oportunidad de adquirir conocimiento y superarme profesionalmente.

**Facultad de Ingeniería**

Por el apoyo que como estudiante me ha brindado.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1 Contexto general .....	9
3.2 Descripción del problema .....	9
3.3 Formulación del problema .....	9
3.4 Delimitación del problema.....	10
4. JUSTIFICACIÓN .....	11
5. OBJETIVOS .....	13
5.1 General.....	13
5.2 Específicos .....	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN .....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	19

7.1	Diseño de experimentos.....	19
7.1.1	Origen.....	21
7.1.2.	Definición.....	22
7.2	Conceptos básicos.....	23
7.3	Clases de experimentos.....	25
7.3.1.	Experimentos exploratorios.....	26
7.3.2.	Experimentos confirmatorios.....	27
7.4.	Investigación no experimental.....	27
7.5	Experimentos factoriales.....	29
7.5.1.	Diseño factorial.....	30
7.5.2.	Factor cualitativo.....	31
7.5.3.	Factor cuantitativo.....	31
7.5.4.	Arreglo factorial.....	32
7.6	Efecto de un factor.....	32
7.6.1.	Efecto principal.....	32
7.6.2.	Efecto de interacción.....	32
7.6.3.	Réplica.....	33
7.7.	Características y ventajas.....	33
7.8.	Tipos de diseño factorial.....	35
7.8.1	Diseño factorial <b>22</b> .....	36
7.8.2.	Diseño factorial <b>23</b> .....	37
7.8.3.	Diseño general <b>2k</b> .....	37
7.8.4.	Diseño factorial mixto.....	38
7.8.5.	Factores con dos y tres niveles.....	39
7.8.6.	Aplicaciones del DEF.....	39
7.9.	Vegetales congelados.....	42
7.9.1.	Variedades de vegetales congelados.....	42

7.9.2.	Procesos que intervienen en su elaboración .....	43
7.9.3.	Productividad .....	45
7.9.3.1	Medición de la productividad.....	46
7.9.3.2	Variables de la productividad.....	47
7.9.3.3	Limitantes de la productividad.....	48
7.9.3.4	Factores que influyen en la productividad.....	49
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	51
9.	METODOLOGÍA.....	55
9.1	Enfoque .....	55
9.2.	Diseño.....	55
9.3	Tipo.....	55
9.4.	Alcance.....	56
9.5.	Fases.....	58
9.5.1.	Fase 1 .....	58
9.5.2.	Fase 2.....	58
9.5.3.	Fase 3.....	59
9.5.4.	Fase 4.....	59
9.6.	Resultados esperados .....	59
10.	Población y muestra.....	61
10.1	Unidad de análisis .....	61
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	63
12.	CRONOGRAMA.....	65

13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	67
	13.1 Recursos.....	67
	13.1.1 Humano.....	67
	13.1.2. Financiero.....	67
	13.1.3 Recurso tecnológico.....	67
	13.1.4. De acceso a la información y permisos.....	68
	13.1.5. Del equipo e infraestructura.....	68
14.	PRESUPUESTO.....	69
15.	REFERENCIAS.....	71
16.	ANEXOS.....	75

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de solución.....	17
2.	Cronograma de actividades .....	65

### TABLAS

I.	Operativización de variables .....	57
II.	Recursos necesarios para la investigación .....	69



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Ec</b>	Ecuación
<b>G</b>	Gramo
<b>Hr</b>	Hora
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Q</b>	Símbolo de la moneda Quetzal



## GLOSARIO

<b>Aleatorización</b>	Es una técnica que se utiliza para equilibrar el efecto de condiciones externas o no controlables que pueden influir en los resultados de un experimento
<b>Análisis</b>	Estudio minucioso de un asunto. Propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas.
<b>Blanqueado</b>	Es someter alimentos crudos a la acción del agua hirviendo, y luego refrescarlos y escurrirlos o simplemente escurrirlos. Es una técnica muy útil que preserva nutrientes, aviva colores y acorta el tiempo de cocción.
<b>Covariable</b>	En estadística es una variable que posiblemente predice el resultado bajo estudio.
<b>IQF</b>	Llamado también congelado rápido individual, es un método de congelación utilizado en la industria de procesamiento de alimentos. Los productos comúnmente congelados con tecnologías IQF suelen ser piezas más pequeñas de productos alimenticios y pueden variar desde todo tipo de bayas, frutas y verduras cortadas en cubitos o en rodajas. Los

productos que han sido sometidos a IQF se denominan Individualmente ultracongelados o IQF.

**Línea de  
Producción**

Es un conjunto de operaciones secuenciales en fábrica de materiales que se ponen, a través de un proceso XI para producir un producto final que es adecuado para su posterior consumo.

**Organoléptico**

Propiedad de un cuerpo que se percibe con los sentidos, untuosidad, aspereza, sabor, brillo y otros, a diferencia de las propiedades químicas microscópicas.

**Proceso**

Conjunto de actividades mutuamente relacionados o que interactúan, que transformarán elementos de entrada en resultados.

**Productividad**

Es la relación entre la cantidad de productos obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtenerla.

## RESUMEN

La mezcla de vegetales se encuentra entre los productos congelados con alta demanda a nivel internacional. En Guatemala actualmente se carece de estudios de rendimiento y la mejora del porcentaje presente de cada uno de sus ingredientes, por lo que fue necesario efectuar un análisis sobre estos aspectos.

Para efectuar el estudio se planteó la aplicación del diseño de experimentos en la modalidad experimental factorial para la identificación del nivel de influencia que tienen los factores de producción involucrados en la elaboración del producto que afectan el rendimiento productivo en la mezcla de vegetales congelados en una empresa de alimentos de El Tejar, Chimaltenango. Se realizó un experimento factorial completo de tres factores con dos niveles cada uno. También se realizaron tres réplicas para eliminar las ambigüedades en las respuestas.

El trabajo presenta la mejor combinación de los niveles de los factores para el mezclado del producto, siendo dicha combinación, la que maximiza el rendimiento productivo del proceso y a la vez es flexible con respecto a si existe algún nivel inmodificable en el proceso de mezclado.



# 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo consiste en el análisis de la correlación entre las variables productivas involucradas en el proceso de vegetales congelados, con el objetivo de establecer un modelo de regresión que describa la relación, se trata entonces de una sistematización del proceso.

El problema observado en este proceso es que se desconoce el punto en que las variables que intervienen en la elaboración de este producto se relacionan entre sí, y cómo este nivel de relación afecta el resultado obtenido. También se desconoce la configuración idónea de dichas variables que permita una mejora en la exactitud de los porcentajes deseados y sistematización.

La importancia de encontrar solución al problema planteado radica en la necesidad de disminuir costos operativos por reprocesos en producto que no se ajusta a los porcentajes deseados. De los resultados obtenidos al finalizar el estudio, se espera que al establecer las mejoras y modificaciones necesarias en la interacción de los factores involucrados en el proceso, se logre un incremento en la productividad y por consiguiente una reducción en los costos de operación, es por ello por lo que se considera una sistematización de mejora. También se pretende sentar las bases para que en una investigación posterior se profundice en la problemática abordada.

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, por cuanto se hará un análisis de causa-efecto, en donde el desarrollo del proceso será de manera secuencial con una bondad de precisión. Es de diseño experimental debido a

que se realiza medición de variables, es decir, la investigación está enmarcada en lo que se considera experimentos puros.

Es un tipo de estudio descriptivo dado que permite responder interrogantes del caso en cuestión, en base a la determinación del proceso analizado.

De este estudio se obtendrá un alcance correlacional porque se cuantifican las relaciones existentes entre las variables. También tendrá un alcance metodológico descriptivo, porque se trata de una propuesta, es decir se tiene disponible la caracterización del proceso de mezcla, para su posterior evaluación.

Para que el proceso cumpla con los objetivos del diseño de investigación se llevará a cabo de la siguiente manera: fase 1, revisión documental; fase 2, análisis de las causas de las deficiencias en el proceso estudiado; fase 3, diseño de la metodología de análisis de resultados y fase 4, elaboración del informe final con toda la información recaudada.

El resultado esperado es establecer la base teórica como marco de referencia, para desarrollar el trabajo de investigación. También se espera determinar las áreas de oportunidad en el uso de los recursos en el proceso de mezcla de vegetales.

El trabajo de investigación es factible, porque se cuenta con los recursos necesarios para ejecutar las diferentes fases del trabajo de investigación. La empresa autoriza la realización del trabajo de investigación, brindando recursos necesarios, humanos, tecnológicos, información e infraestructura.

En los antecedentes se detalla todo lo referente al marco referencial, que consiste en una compilación breve y precisa de conceptos, teorías y reglamentos que están directamente ligados con el tema y el problema de la investigación.

En el marco teórico, donde se realiza una revisión de la teoría que tiene relación con toda la teoría estadística relacionada con análisis de experimentos además de describir una breve descripción de la industria de los alimentos congelados, específicamente la que tiene que ver con el procesamiento de las mezclas de vegetales congelados.

El planteamiento del problema corresponde a la sección donde se realizará un diagnóstico de la empresa para definir el punto de partida y las estrategias a utilizar para el desarrollo de la investigación.

En presentación y discusión de resultados, se discuten los resultados para verificar el impacto que tuvo la investigación en la empresa y su relación con los antecedentes de la investigación.



## 2. ANTECEDENTES

Según (Aguilar, 2012):

Las técnicas de conservación han permitido que alimentos naturalmente estacionales tengan un consumo permanente. En general, los alimentos son perecederos, por lo que necesitan ciertas condiciones de tratamiento, conservación y manipulación para ser consumidos en condiciones adecuadas. La principal causa de este deterioro se debe al ataque de diferentes tipos de microorganismos y conservar bien los alimentos implica preservar la calidad, las propiedades nutritivas y organolépticas (sabor, olor, color, textura) de los mismos. Entre los métodos de conservación por frío se tiene refrigeración y congelación. Lo anterior justifica realizar la solución del problema planteado en esta investigación para evitar que por reprocesos el producto incremente su temperatura y pierda las características antes mencionadas.

Por otro lado, la exposición de las manos y pies al frío puede disminuir la circulación, la fuerza muscular y la destreza manual. Además de las diferencias en temperatura, el lugar de trabajo puede estar muy iluminado o demasiado oscuro para la tarea que se va a llevar a cabo. La iluminación inadecuada puede obligar a los empleados a asumir posturas forzadas para hacer tareas, tales como inclinarse hacia adelante para examinar productos pequeños en un puesto de inspección. (Gobierno de EE. UU., 2003) Lo cual, hace tomar en cuenta a la ergonomía como uno de los factores que influye positiva o negativamente en el rendimiento de los procesos productivos.

“El diseño de experimentos consiste en planear un conjunto de pruebas experimentales, de manera que los datos obtenidos se puedan analizar estadísticamente para obtener una conclusión válida de un proceso”. (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 2). El anterior párrafo justifica el uso de diseño de experimentos para analizar el problema de forma que se obtenga resultados en base a la ciencia aplicando la estadística. Como también lo justifica (M., López P., y Melo M., 2020 P. 4): “En este sentido, la estadística juega un papel importante en la fundamentación del método científico, mediante tres funciones primordiales que son: la descripción, el análisis y la predicción”.

También se justifica su uso, debido a que su aplicación produce una serie de mejoras además de los beneficios económicos, según (Montgomery, 2017) El uso de diseño experimental en estas áreas puede redundar en productos cuya fabricación sea más sencilla, en productos que tengan un desempeño y confiabilidad de campo mejorados, en costos de producción más bajos y en tiempos más cortos para el diseño y desarrollo del producto.

Según M., López P., y Melo M. (2020):

La mayoría de los experimentos industriales satisfacen que: (a) la capacidad para realizar experimentos es muy rápida, el tiempo de intervalo puede ser uno o unos pocos días, inclusive horas; (b) la variación natural entre las unidades experimentales es generalmente muy pequeña. Más aún, la mayoría de la experimentación se hace secuencialmente, dado que los resultados están disponibles para su análisis antes de terminar el experimento. Como resultado, hay una gran flexibilidad. Con ello se justifica su uso dado brinda resultados de manera más rápida y con base estadística.

Para la solución a diferentes problemas, se utiliza la investigación científica y uno de sus elementos principales es la experimentación, fundamental para esclarecer una causa manifestada por algún fenómeno. El experimento es entonces un recurso que busca comprobar una hipótesis relacionada con un determinado fenómeno a través del análisis de diferentes variables. Los modelos de diseños de experimentos tienen como objetivo averiguar si determinados factores influyen en la variable de interés. (Puente, López, Rodríguez y Trejo, 2015). Lo anteriormente descrito orienta sobre la metodología de trabajo que se debe llevar a cabo en el análisis del proceso de mezclas pues este tiene una serie de variables que lo afectan.

El término aleatorización se define de la siguiente manera por (Gutiérrez y De La Vara, 2008). Consiste en hacer las corridas experimentales en orden aleatorio (al azar) y con material también seleccionado aleatoriamente. Este principio aumenta la probabilidad de que el supuesto de independencia de los errores se cumpla, lo cual 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. Esto justifica el uso de la aleatoriedad en la extracción de muestras necesarias para el estudio.

Para hacer válidas las comparaciones entre tratamientos se debe de trabajar con unidades experimentales homogéneas, según (M., López P., y Melo M., 2020) la selección de más unidades experimentales homogéneas. Esto incluye producir condiciones ambientales más uniformes con el fin de mantener las variables potenciales “constantes”. El criterio para la selección del material debería ser obtener el máximo beneficio con unos recursos dados (generalmente escasos).

Finalmente, sobre el uso del diseño de un experimento factorial (Mazariegos, 2009):

Este tipo de diseño experimental (factorial) es el más eficiente de los diseños experimentales, dado que en cada ensayo o réplica completa del experimento se investiga el efecto de la interacción de todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores. El anterior texto justifica el uso de diseño factorial para la investigación dado que, en el problema planteado, se consideran más de dos variables y este enfoque brinda la mejor aproximación al problema planteado.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1 Contexto general**

Las mezclas de vegetales congelados son realizadas en forma manual en una empresa congeladora de vegetales y a menudo no se ajustan a las proporciones requeridas por el cliente. Esto afecta al rendimiento, por consiguiente, se incrementan los costos de producción, así como también provoca reclamos del cliente, debido a porcentajes más bajos en alguno de los ingredientes.

#### **3.2. Descripción del problema**

No se conocen los factores que intervienen en la producción de mezclas de vegetales son los que provocan mayor variabilidad en los resultados de la obtención de mezclas correctas, esta variabilidad provoca reprocesos incrementando el costo de la producción y aumenta el riesgo de obtener producto que no satisfaga el estándar de calidad definido por el cliente.

#### **3.3. Formulación del problema**

Pregunta central

¿Cuál es el nivel de influencia de factores de producción que afectan el rendimiento de la mezcla de vegetales congelados?

## Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es el tamaño óptimo de la muestra para un diseño experimental con mezclas de vegetales congelados?
- ¿Cuál es la configuración de variables que tiene mayor influencia en la obtención de los porcentajes deseados en las unidades de vegetales mezclados?
- ¿Cuál es el grado de correlación existente entre los factores que influyen directamente en el proceso de obtención de mezclas?

### **3.4. Delimitación del problema**

El problema abarca el proceso de producción de la mezcla de vegetales llamada Mezcla California conformada por piezas de brócoli, coliflor y zanahoria, en una congeladora de alimentos.

## 4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación abordada en este estudio corresponde al diseño y análisis de experimentos que sirve para determinar cómo los diversos factores intervienen en la elaboración de mezclas de alimentos afectan el rendimiento.

La problemática es importante estudiarla porque hoy en día el proceso analizado está ocasionando reprocesos, costos mayores de producción y quejas de los clientes internos (departamento de calidad) y clientes externos (consumidor final).

Se hace necesario establecer las mejoras y modificaciones necesarias en la interacción de cada uno de los factores involucrados en el proceso para que se logre un incremento en la productividad y por consiguiente una reducción en los costos de operación.

La motivación para realizar este trabajo es el deseo de aportar a la empresa alguna mejora a los procesos productivos de alimentos, además se considera que podría servir como base para futuras investigaciones que llegasen a profundizar sobre el tema.

El beneficio que se obtenga con este trabajo será el aumento en la satisfacción de los clientes, tanto internos como externos, al cumplir con los tiempos de trabajo y aumento de la productividad, para con ello mejorar la rentabilidad de la empresa, debido al resultado de optimizar los recursos disponibles.

Los trabajadores también serán beneficiados dado que la reducción de reprocesos y aumento de la productividad les incentivarán generando con ello un ambiente de trabajo agradable. El beneficio del investigador será aumentar el conocimiento del proceso de diseño de análisis factorial aplicado a la industria productiva, lo que le da una oportunidad de crecimiento profesional.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 General

Diseñar un modelo experimental factorial en la identificación del nivel de influencia de los factores de producción que afectan el rendimiento de la mezcla de vegetales congelados en una empresa de alimentos de El Tejar, Chimaltenango.

### 5.2 Específicos

- Identificar el método de muestreo idóneo se adapte a las condiciones del proceso y las características inherentes a las muestras. Para ello se hará uso del muestreo aleatorio sistemático, con el objetivo de obtener un método de muestreo ideal al proceso que permita obtener muestras espaciadas y balanceadas del proceso.
- Estimar el grado de correlación entre las variables involucradas del proceso, a través de una prueba *t de student* aplicada a cada par de variables involucradas en la producción para determinar cómo el grado de relación entre dichas variables puede estar afectando los resultados de los porcentajes de mezcla de vegetales.
- Analizar la configuración óptima de factores que permitan obtener los resultados deseados, a través de la aplicación de un diseño factorial, al conjunto de factores de producción involucrados en la mezcla de

vegetales, para encontrar la combinación de factores que permita obtener la estabilización del proceso de producción

- Analizar el comportamiento del índice de rotación de personal mensual de la empresa, por medio de un análisis de series de tiempo, para identificar si existe estacionalidad, tendencia y/o auto correlación.

## 6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

El estudio de la problemática satisfará las necesidades laborales, en cuanto a inferir la mejor combinación de factores de producción y con ello lograr una mejor productividad y disminución de errores al momento de realizar la mezcla.

Se realizará muestreo aleatorio sistemático con la corrida de producción y analizar el porcentaje de los ingredientes presentes en cada muestra, para identificar la combinación óptima de cada uno de los grupos de factores que intervienen en el proceso produce una mejora en los porcentajes objetivo. Para realizar el análisis de los porcentajes muestreados, se realizará el conteo del número de piezas de cada uno de los ingredientes.

Luego la correlación existente entre los factores que influyen en el proceso de obtención de mezclas se hará planteando hipótesis utilizando para ello la prueba t de *Student* a la combinación de cada par de factores involucrados en el proceso, en la que la hipótesis nula es que no existe correlación y la hipótesis alterna es que, si la hay entre cada par de factores que intervienen en el proceso, esto con el objetivo de determinar el nivel de relación que existe entre cada par de variables.

La identificación de la configuración idónea de variables que influyan positivamente en el proceso se hará aplicando un diseño factorial<sup>3</sup> para investigar los efectos individuales (principales) de cada factor e identificar si existe alguna interacción óptima entre los mismos. Esto se hará identificando primero el número de factores que intervienen directamente en el proceso de

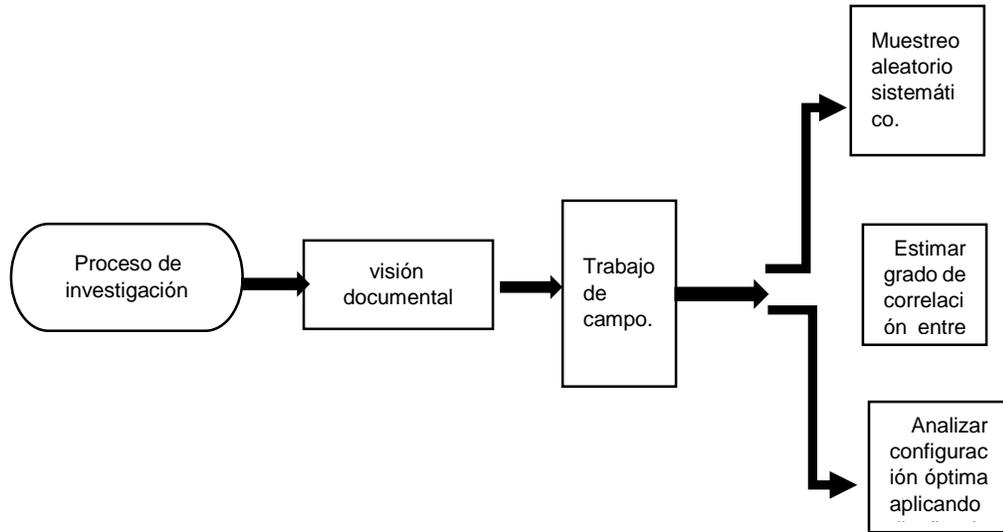
mezcla realizando para ello corridas de producción para analizar y determinar la mejor interacción entre las variables.

Al averiguar qué variables y que combinación de estas son las que ofrecen la combinación óptima que permita obtener un proceso estable y que la empresa alimentaria pueda mejorar sus rendimientos productivos será la necesidad suplida para contribuir a la problemática. Se desea describir con mayor confiabilidad el proceso de manera que se logre establecer un mayor rendimiento y disminución de costos de producción.

Otra necesidad suplida será que el personal trabaje confiando en que los procedimientos realizados ayudaran a obtener un proceso estable y uniforme y con ello incrementar la confianza en las capacidades laborales de cada trabajador involucrado en el proceso.

Dado que el estudio es experimental, se hace necesario realizar análisis de varianza, para observar si hay alguna diferencia entre los grupos. En este caso, se ignoran los factores subyacentes y se realizará una comparación de las medias de dichos grupos, que resultan de las distintas combinaciones de factores. Si las medias son todas iguales (a nivel poblacional) está claro que no influye ninguno de los factores.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: Elaboración propia.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Diseño de experimentos**

La estadística se ha transformado en una herramienta indispensable y de suma importancia para dar sustento y base científica a todas las investigaciones experimentales. Para conseguir la fundamentación y la consistencia de las experimentaciones realizadas se aplica el uso de las herramientas estadísticas para así valorar el fundamento de los datos experimentales obtenidos.

El término experimento se define como el procedimiento sistemático que se lleva a cabo en condiciones controladas para descubrir un efecto desconocido, probar o establecer una hipótesis o ilustrar un efecto conocido. Al analizar un proceso, los experimentos se utilizan a menudo para evaluar qué entradas del proceso tienen un impacto significativo en la salida del proceso y cuál debe ser el nivel objetivo de esas entradas para lograr el resultado deseado (salida). Los experimentos se pueden diseñar de muchas formas diferentes para recopilar esta información. El diseño de experimentos también se conoce como experimentos diseñados o diseño experimental; todos los términos tienen el mismo significado.

El diseño experimental se puede utilizar en el punto de mayor apalancamiento para reducir los costos de diseño al acelerar el proceso de diseño, reducir los cambios de diseño de ingeniería tardíos y reducir la complejidad del material y la mano de obra del producto. Los experimentos diseñados también son herramientas poderosas para lograr ahorros en los

costos de fabricación al minimizar la variación del proceso y reducir el reproceso, el desperdicio y la necesidad de inspección.

Según (M., López P., y Melo M., 2020):

La aplicación o uso del diseño experimental que se da en la mayoría de las áreas del conocimiento, debe cumplir las siguientes fases:

- Caracterización de un proceso: en esta fase se busca determinar los rangos de las variables o factores controlables de mayor influencia en la(s) variable(s) respuesta(s), que a la vez minimizan el efecto de las variables no controlables (factores o covariables).
- Depuración y optimización de un proceso ya caracterizado: en esta fase se hallan los niveles de los factores estudiados que proporcionan la respuesta óptima a la solución del proceso caracterizado en la fase anterior.

Un experimento planificado y ejecutado estratégicamente puede proporcionar una gran cantidad de información sobre el efecto en una variable de respuesta debido a uno o más factores. Muchos experimentos implican mantener ciertos factores constantes y alterar los niveles de otra variable. Este enfoque de "un factor a la vez" para el conocimiento del proceso es, sin embargo, ineficaz cuando se compara con los niveles de factores cambiantes simultáneamente.

### 7.1.1. Origen

De acuerdo con (Gutiérrez y De La Vara, 2008), muestran algunos de los antecedentes más importantes del diseño de experimentos.

El diseño estadístico de experimentos, desde su introducción por Ronald A. Fisher en la primera mitad del siglo XX en Inglaterra, se ha utilizado para conseguir un aprendizaje acelerado. El trabajo de Fisher a través de su libro *The Design of Experiments* (1935), influyó de manera decisiva en la investigación agrícola, ya que aportó métodos (ahora usados en todo el mundo) para evaluar los resultados de experimentos con muestras pequeñas. La clave de las aportaciones de Fisher radica en que este investigador se dio cuenta de que las fallas en la forma de realizar experimentos obstaculizaban el análisis de los resultados experimentales. Fisher también proporcionó métodos para diseñar experimentos destinados a investigar la influencia simultánea de varios factores.

Los desarrollos posteriores en diseños de experimentos fueron encabezados por George E. P. Box, quien trabajó como estadístico durante ocho años en la industria química en Inglaterra y desarrolló la metodología de superficie de respuestas, que incluye nuevas familias de diseños y una estrategia para la experimentación secuencial. Es posible afirmar que entre 1950 y 1980, el diseño de experimentos se convirtió en una herramienta de aplicación frecuente, pero sólo en las áreas de investigación y desarrollo. Hasta la década de 1970, la aplicación a nivel planta o procesos de manufactura no estaba generalizada, debido a la falta de recursos computacionales y a que los ingenieros y especialistas en manufactura carecían de formación en el área de estadística.

En la década de 1980 se dio un gran impulso al conocimiento y la aplicación del diseño de experimentos debido al éxito en calidad de la industria japonesa. El movimiento por la calidad, encabezado por los gurúes Deming e Ishikawa, promovió el uso de la estadística en calidad, donde el diseño de experimentos demostró su utilidad tanto para resolver problemas de fondo como para diseñar mejor los productos y los procesos. En Japón destaca el trabajo de Genichi Taguchi, cuyos conceptos sobre diseño robusto también tuvieron un impacto significativo en la academia en el mundo occidental. Como respuesta al movimiento por la calidad y la mejora de procesos, las industrias empezaron a entrenar a sus ingenieros en la aplicación del diseño de experimentos. Esto continúa en la actualidad; incluso en los últimos veinte años, las universidades han incorporado el diseño de experimentos como materia obligatoria u operativa en la mayoría de las ingenierías.

Un diseño experimental pretende entonces, la producción de un plan de acuerdo al que se asignan las diferentes variables, a los diferentes grupos o condiciones en los que el diseño experimental establece de antemano la manera en que serán comparados estos sujetos y el tipo de análisis estadístico idóneo según la naturaleza de los datos.

### **7.1.2. Definición**

Un experimento puede definirse como una o en una serie de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema para después observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la respuesta de salida. (Montgomery, 2017). Un experimento es un cambio en las condiciones de operación de un sistema o

proceso, que se hace con el objetivo de medir el efecto del cambio sobre una o varias propiedades del producto o resultado. (Gutiérrez y De La Vara, 2008).

## **7.2. Conceptos básicos**

- Control de condiciones

Se trata de controlar aquellas condiciones externas a las unidades experimentales que pueden ocasionar variación o ruido en los resultados del experimento. (Badii, Castillo, Rodríguez, Wong y Villalpando, 2007)

- Diseños factoriales

Por diseño factorial se entiende que en cada ensayo o réplica completa del experimento se investiga todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores. Por ejemplo, si el factor A tiene a niveles y B tiene b niveles, cada réplica contiene todas las combinaciones de los tratamientos. Cuando los factores están incluidos en un diseño factorial, es común decir que están cruzados. (Montgomery, 2017)

- Error experimental

Según (Montgomery, 2017), el error o error experimental es un error inevitable que tienen los factores sobre la respuesta. La presencia del error o ruido implica una variabilidad en la respuesta, la confiabilidad o el impacto.

- Factores controlables

Según (Gutiérrez y De La Vara, 2008) Son variables de proceso o características de los materiales experimentales que se pueden fijar en un nivel dado. 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 de ruido o no controlables

“Son variables o características de materiales y métodos que no se pueden controlar durante el experimento o la operación normal del proceso” (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 5), es decir son factores que son externos al experimento.

- Metodología de superficie de respuesta

La metodología de superficie de respuesta, o MSR, es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y análisis de problemas en los que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables y donde el objetivo es optimizar esta respuesta. (Montgomery, 2017).

- Réplica

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. (Badii Castillo, Rodríguez, Wong y Villalpando, 2007).

- Tratamiento

Según Badii, Castillo, Rodríguez, Wong y Villalpando (2007): La condición específica del experimento bajo el cual está sujeto la unidad experimental. Es una de las formas que, en cantidad y calidad, el factor a estudiar toma durante el experimento. Por ejemplo, si el factor a estudiar es la cantidad de fósforo, cada una de las dosis de fósforo aplicados durante el experimento es un tratamiento. Los tratamientos por estudiar durante un experimento pueden ser una combinación de varios factores simples.

- Variable aleatoria

Una variable aleatoria puede ser discreta o continua, si el conjunto de todos los valores posibles de la variable aleatoria es finito o contablemente finito, entonces la variable aleatoria es discreta, mientras que, si el conjunto de todos los valores posibles de la variable aleatoria es un intervalo, entonces la variable aleatoria es continua. (Montgomery, 2017).

### **7.3. Clases de experimentos**

El método científico requiere la realización de experimentos para validar una hipótesis: la supuesta explicación y teoría del resultado esperado. El método también se usa ampliamente en marketing cuando se investigan nuevas formas de impulsar el crecimiento, por ejemplo, al probar audiencias, canales u optimizar creatividades.

Debido al trabajo manual que implica, la formulación de hipótesis representa un cuello de botella a la hora de escalar la experimentación en una organización. Aún más importante, el enfoque confirmatorio basado en hipótesis para las pruebas limita los resultados de los esfuerzos de experimentación, ya que el sesgo de congruencia y el sesgo de confirmación son dos trucos comunes que la experimentación basada en la teoría puede jugar con nuestras mentes.

Especialmente cuando las circunstancias son complejas, formular una teoría y proponer una hipótesis puede llevar a pensar dentro de una caja. Examinar una hipótesis sobre la base de una teoría previamente establecida nos hace tratar de dar sentido a los resultados de la prueba dentro de las limitaciones del conocimiento y la investigación previos. A continuación se describen las dos clases de experimentos: exploratorios y confirmatorios.

### **7.3.1. Experimentos exploratorios**

Hay una gran cantidad de información valiosa cuando se amplía la interpretación de los resultados más allá de lo obvio, lo esperado, prometedor o deseado. En contraste con la experimentación confirmatoria que trata de establecer correlación y potencialmente causalidad, los experimentos exploratorios están más enfocados en la conceptualización, buscando correlaciones fácticas que puedan aplicarse posteriormente para definir fenómenos y descubrir posibles regularidades causales.

La experimentación exploratoria está informada por la teoría más que impulsada por la teoría, lo que significa que la teoría sigue siendo importante como marco para organizar las percepciones, pero no tan restrictiva como en la

experimentación confirmatoria que puede mantener los resultados de las pruebas como "rehenes".

### **7.3.2. Experimentos confirmatorios**

Este es el tipo de experimento más común. Se utiliza para probar una hipótesis claramente establecida, antes de comenzar el experimento. Por lo general, esta es la hipótesis nula de que no hay diferencia entre las medias o las proporciones del tratamiento, con una hipótesis alternativa que es que hay una diferencia. Preferiblemente, la hipótesis debe ser bastante simple, involucrando uno o solo algunos resultados.

Los resultados se analizarán para obtener un valor  $p$  (la probabilidad de que un resultado tan extremo o más extremo que el observado pudiera haber surgido por casualidad). Se elige un valor crítico para  $p$  (generalmente 0.05) con el rechazo de la hipótesis nula si el valor  $p$  observado es menor que éste. No rechazar la hipótesis nula ("los resultados no son estadísticamente significativos") no significa que el tratamiento no tenga ningún efecto, solo que de este experimento no hay evidencia de un efecto. Si el experimento hubiera sido más grande o el material más uniforme, se podría haber detectado un efecto. El método de análisis de poder de determinación del tamaño de la muestra generalmente asume un experimento de confirmación.

### **7.4. Investigación no experimental**

La investigación no experimental es la etiqueta que se le da a un estudio cuando un investigador no puede controlar, manipular o alterar la variable predictora o los sujetos, sino que se basa en la interpretación, la observación o

interacciones para llegar a una conclusión.

- Aplicaciones

Cualquier tipo de industria puede ser beneficiada al implementarse el diseño de experimentos, aún sean de servicios. La aplicación del Diseño de Experimentos puede redituar máximos beneficios cuando ésta se emplea en la investigación aplicada y al diseño de nuevos productos. (Montgomery, 2017), nos dice: La mayoría de las industrias estuvieron trabajando durante más de 75 años para mejorar la eficiencia de sus procesos. Para aquellos casos en los que consiguieron una mejora importante en la eficiencia de los procesos puede que no haya mucho lugar para mejoras importantes. Pero en el diseño de productos, las oportunidades de mejora son casi ilimitadas, debido a que la mayoría de los costes de un producto (costo de producción, garantías, reparaciones, retrabajos y servicio postventa.) vienen predeterminados por la etapa de diseño.

Algunos de los beneficios de utilizar el diseño de experimentos son:

- Mejora la eficiencia, confiabilidad y rendimiento de procesos.
- Provee asistencia en la solución de problemas.
- Estudiar la relación entre los procesos y sus fallos.
- Establecimiento entre las entradas de los procesos y sus respectivas salidas, es decir las relaciones de causa y efecto.
- Identificar los factores que en los procesos y productos tienen el mayor como el menor impacto.
- Lograr que los productos que se produzcan cumplan con las especificaciones que sean robustas a variaciones externas.
- Establecer un rango de operabilidad donde los procesos puedan operar tomando en cuenta la sensibilidad al cambio de algunos factores en la

respuesta.

- La fijación de especificaciones y tolerancias lógicas para los productos y procesos.
- Verificación de si la solución adoptada para la mejora de algún proceso produce realmente los resultados esperados.
- Además de las áreas de investigación, desarrollo y manufactura pueden verse beneficiadas con la aplicación de experimentos, sino también el mercadeo o finanzas como entre otras muchas áreas desarrolladas por las empresas.

## **7.5 Experimentos factoriales**

- Definición

La forma en que se configura un experimento científico se denomina diseño. Un diseño factorial es una configuración experimental que consta de múltiples factores y su influencia separada y conjunta sobre el tema de interés en el experimento. Un factor es una variable independiente en el experimento y un nivel es una subdivisión de un factor. Los factores y niveles son condiciones diferentes a que están expuestos los sujetos experimentales. Se utiliza un estudio o experimento para ver si alguna de las condiciones influye en el sujeto y de qué manera influye.

“El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores”. (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p.116)

El beneficio de un diseño factorial es que permite a los investigadores

observar múltiples niveles a la vez y cómo influyen en los sujetos del estudio. Un ejemplo sería un investigador que quiere ver cómo la duración del recreo y la cantidad de tiempo que se les enseña al aire libre influyen en las calificaciones de los estudiantes. Un factor sería el receso, el otro factor en este estudio es el tiempo de instrucción al aire libre con dos niveles (instrucción al aire libre e instrucción sólo en interiores). Esto se llamaría un diseño factorial 2x2, porque hay dos factores que tienen cada uno dos niveles que crean cuatro grupos (receso largo con instrucción externa, receso corto con instrucción externa, receso largo con instrucción solo en el interior y receso corto con instrucción solo en el interior). Cuatro clases de estudiantes se colocarían cada una en uno de estos cuatro grupos y recibirían diferentes factores y niveles. Luego, se pueden usar pruebas estadísticas para determinar los diferentes efectos que estos factores y niveles tienen en las calificaciones de los estudiantes.

El diseño factorial se relaciona con los siguientes conceptos:

### **7.5.1. Diseño factorial**

Los diseños factoriales son una forma de experimento verdadero, donde múltiples factores (las variables independientes controladas por el investigador) se manipulan o se les permite variar, y brindan a los investigadores dos ventajas principales. Primero, permiten a los investigadores examinar los efectos principales de dos o más variables independientes individuales simultáneamente. En segundo lugar, permiten a los investigadores detectar interacciones entre variables. Una interacción es cuando los efectos de una variable varían según los niveles de otra variable. Tales interacciones solo pueden detectarse cuando las variables se examinan en combinación.

### **7.5.2. Factor cualitativo**

Los factores cualitativos son aquellos a los que no se les asignan niveles medibles, como encendido / apagado o azul / verde / rojo. Los niveles de un factor cualitativo son nominales; no tienen un orden natural ni una medida de separación entre ellos. A menudo existen solo en unas pocas categorías discretas; también se denominan datos de atributos.

Cuando se realizan cálculos numéricos utilizando datos cualitativos, se debe asignar un valor numérico a cada categoría de factor. En ANOVA, se asigna un nivel geométrico. En Regresión, se utiliza la selección en Preferencias de acción/análisis. El orden en que se enumeran o muestran los factores cualitativos no tiene importancia numérica y los modelos no lineales no suelen estar asociados con parámetros cualitativos.

### **7.5.3. Factor cuantitativo**

Los factores cuantitativos tienen un orden natural que puede cuantificarse, como el peso o la distancia. A menudo se las denomina variables continuas o datos variables. Pueden medirse como un intervalo entre niveles o con respecto a algún origen común. En algunos casos, la información cualitativa puede expresarse cuantitativamente para propósitos de análisis, como establecer lento = 0, medio = 7 y rápido = 10. Tal cuantificación no necesita estar relacionada con ninguna escala reconocida, pero debe estar espaciada de manera realista. Los factores cuantitativos pueden describir una curva o superficie de respuesta específica, mientras que la forma de la respuesta a los factores cualitativos depende de un orden arbitrario de los factores.

#### **7.5.4. Arreglo factorial**

Un arreglo de tratamiento factorial es aquel en el que se investigan simultáneamente los efectos de varios factores diferentes. Los tratamientos incluyen todas las posibles combinaciones de niveles que se pueden formar a partir de los factores que se investigan.

### **7.6 Efecto de un factor**

Permite manipular múltiples factores de entrada, determinando su efecto en una salida deseada (respuesta). Al manipular múltiples entradas al mismo tiempo, el diseño de experimentos puede identificar interacciones importantes que pueden pasarse por alto al experimentar con un factor a la vez.

#### **7.6.1. Efecto principal**

Un efecto principal, también llamado efecto simple, es de una variable independiente sobre la variable dependiente. Ignora los efectos de cualquier otra variable independiente. En general, hay un efecto principal para cada variable dependiente.

#### **7.6.2. Efecto de interacción**

Cuando el efecto de un factor depende del nivel del otro factor. Puede utilizar una gráfica de interacción para visualizar posibles interacciones.

Las líneas paralelas en una gráfica de interacción indican que no hay

interacción. Cuanto mayor sea la diferencia de pendiente entre las líneas, mayor será el grado de interacción. Sin embargo, la gráfica de interacción no le alerta si la interacción es estadísticamente significativa.

### **7.6.3. Réplica**

Las réplicas son múltiples ejecuciones experimentales con la misma configuración de factores (niveles). Las réplicas están sujetas a las mismas fuentes de variabilidad, independientemente unas de otras. Puede replicar combinaciones de niveles de factores, grupos de combinaciones de niveles de factores o diseños completos.

## **7.7. Características y ventajas**

“La matriz de diseño o arreglo factorial es el conjunto de puntos experimentales o tratamientos que pueden formarse considerando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores”. (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 116).

Los diseños factoriales y factoriales fraccionales proporcionan el plan de recopilación de datos más eficiente (económico) para conocer la relación entre las variables de respuesta y las variables predictoras. Logran esta eficiencia asumiendo que cada efecto sobre la respuesta es lineal y, por lo tanto, puede estimarse estudiando solo dos niveles de cada variable predictora. A menudo, el efecto de una variable en su respuesta depende del nivel o la configuración de otra variable.

Los procesos industriales complejos suelen tener interacciones, tanto sinérgicas como antagónicas, entre las variables de entrada. No se puede cuantificar completamente los efectos de las variables de entrada en las respuestas a menos que se haya identificado todas las interacciones activas además de los efectos principales de cada variable. Los experimentos factoriales están diseñados específicamente para estimar todas las posibles interacciones.

Algunas veces la intuición lleva a muchos investigadores a reducir la lista de posibles variables de entrada antes del experimento para simplificar la ejecución y el análisis del experimento. Esta aproximación de solución puede no ser la correcta. El poder de un experimento para determinar el efecto de una variable de entrada en la respuesta se reduce a cero en el momento en que esa variable se elimina del estudio (en nombre de la simplicidad). Mediante el uso de diseños factoriales fraccionados y la experiencia en el diseño de experimentos será mucho más sencillo aproximarse a una solución.

Por otro lado, los experimentos factoriales estudian el efecto de cada variable sobre un rango de configuraciones de las otras variables. Por lo tanto, los resultados se aplican al alcance completo de todas las configuraciones de los parámetros del proceso en lugar de solo las configuraciones específicas de las otras variables. De esta manera, los resultados son más aplicables a todas las condiciones que los resultados de estudiar una variable a la vez.

Entre algunas de las ventajas que (Gutiérrez y De La Vara, 2008) nos indican de aplicar diseños factoriales están:

- Permiten estudiar el efecto individual y de interacción de los distintos factores.

- Son diseños que se pueden aumentar para formar diseño compuesto en caso de que se requiera una exploración más completa. Por ejemplo, es útil aumentar el diseño si el comportamiento de la respuesta no es lineal en los factores controlados.
- Se pueden correr fracciones de diseños factoriales, las cuales son de gran utilidad en las primeras etapas de una investigación que involucra a muchos factores, cuando interesa descartar de manera económica los que no son importantes, antes de hacer un estudio más detallado con los factores que sí son importantes.
- Pueden utilizarse en combinación con diseños de bloques en situaciones en las que no puede correrse todo el diseño factorial bajo las mismas condiciones. Por ejemplo, cuando cada lote de material sólo alcanza para correr la mitad del experimento, éste se puede realizar en dos bloques (dos lotes), lo cual implica repartir las pruebas en los dos lotes de la manera más conveniente posible.

“La interpretación y el cálculo de los efectos en los experimentos factoriales se puede hacer con aritmética elemental, en particular cuando cada factor se prueba en dos niveles”. (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 121)

## **7.8. Tipos de diseño factorial**

Para la investigación experimental primero se estudia el propósito del experimento. Posteriormente se realiza una lista de variables. Una vez realizada la investigación de una variable, se elige un diseño experimental para estimar la influencia de las variables independientes sobre las variables dependientes.

Para el valor de replicación del factor se elige el diseño factorial. Los factores de nivel bajo se indican con símbolos (-) y los factores de nivel alto se representan con símbolos más (+).

El diseño factorial se clasifica además en varios tipos. Los tipos de diseño factorial varían a medida que fluctúa el valor de k. En este trabajo de investigación se mencionarán tres casos de diseño factorial: diseño  $2^2$ , diseño  $2^3$  y diseño  $2^k$ . Estos diseños también se conocen como diseño factorial de dos niveles. Las otras variaciones del diseño factorial son bastante difíciles de discutir en términos literales.

### **7.8.1 Diseño factorial $2^2$**

Según (Gutiérrez y De La Vara, 2008), indican que el diseño  $2^2$  estudia dos factores en dos niveles, con lo que su diseño está dado por un  $2 \times 2 = 4$  combinaciones o tratamientos. Además de estar expresadas por los signos +, - que son la manera práctica para ajustar en los modelos de regresión de datos.

Es necesario para este tipo de experimento, denotar los factores por la notación de Yates cuya lógica es la siguiente: si una letra minúscula está presente, entonces el factor correspondiente se encuentra en su nivel alto; si está ausente, el factor está en su nivel bajo; por ejemplo, ab se refiere al tratamiento en el que los factores A y B están en su nivel alto.

### 7.8.2. Diseño factorial $2^3$

“En este tipo de diseño factorial  $2^3$  indica que se estudiarán tres distintos factores a dos niveles cada uno. En este caso la representación geométrica de las ocho combinaciones de tratamientos puede hacerse con un cubo” (Montgomery, 2017, p. 228).

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. (Gutiérrez y De La Vara, 2008).

“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”. (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 163).

### 7.8.3. Diseño general $2^k$

En el siguiente enunciado (Gutiérrez y De La Vara, 2008), señalan la manera en la que se genera un diseño general  $2^k$ . El caso general que es el diseño  $2^k$ , en el cual se consideran k factores con dos niveles cada uno, y tiene  $2^k$  tratamientos o puntos de diseño. Las k columnas y  $2^k$  renglones que componen la matriz para este diseño, considerando una réplica, se construyen de la siguiente manera: en la primera columna, que corresponde a los niveles del factor A, se alternan signos + y –, empezando con – hasta llegar a los  $2^k$  renglones; en la segunda columna se alternan dos signos menos con dos signos

más; en la tercera, se alternan cuatro signos menos y cuatro signos más, y así sucesivamente hasta la  $k$ -ésima columna compuesta por  $2^k-1$  signos  $-$ , seguidos de  $2^k-1$  signos  $+$ .

Procedimiento de análisis para un diseño  $2^k$

Montgomery (2017) propone una serie de pasos necesarios para realizar un análisis para un diseño  $2^k$ .

- Estimar los efectos de los factores
- Construir el modelo inicial
- Realizar las pruebas estadísticas
- Refinar el modelo
- Analizar los residuales
- Interpretar los resultados

#### **7.8.4. Diseño factorial mixto**

“El diseño factorial mixto es aquel donde no tienen el mismo número de niveles los factores utilizados en el experimento”. Según (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 218), un ejemplo de un diseño factorial mixto es el factorial  $4 \times 3 \times 2$  y es aquel donde cada uno de los factores se encuentra en diferente nivel, con 4,3 y 2 respectivamente. El diseño factorial mixto es más frecuente de utilizar, cuando por su naturaleza discreta o categórica, los factores tienen un número finito y distinto de niveles y el interés es estudiar todos los niveles. (Gutiérrez y De La Vara, 2008).

Según (Montgomery, 2017), el diseño factorial mixto es una mezcla entre los diseños factoriales y factoriales fraccionados, son utilizados en situaciones en que es necesario incluir uno o varios factores con niveles diferentes. Esto puede ocurrir cuando hay factores tanto cuantitativos en el experimento y un factor se encuentra en 3 niveles y otro en 2 niveles.

#### **7.8.5. Factores con dos y tres niveles**

Según (Montgomery, 2017), los diseños en los que algunos factores tienen dos niveles y otros tres niveles pueden derivarse de las tablas de diseños 2k usuales. En el caso en el que tengamos dos factores a dos niveles y otro factor a 3 es posible hacer una combinación de los dos factores de dos niveles para cambiarlo por un factor a tres niveles.

#### **7.8.6. Aplicaciones del DEF**

El uso del método de diseño de experimentos es una excelente manera de determinar qué factores controlan el resultado final de los procesos. Es una buena metodología para establecer todas las relaciones relevantes en la operación y puede mostrar qué variables puede cambiar para impulsar el resultado final en la dirección correcta. Por lo tanto, es recomendado dominar su uso lo antes posible, si desea perfeccionar el diseño de su producto y brindar un mejor servicio. A continuación, se describirán algunos ejemplos de cómo se usa el diseño de experimentos en la práctica y los tipos de problemas que pueden abordar.

El ejemplo clásico del problema del peso

Un ejemplo común que se usa a menudo para explicar cómo funciona el diseño de experimentos implica pesar objetos en un plato e intentar identificar el peso correcto de cada uno. Se evalúan diferentes enfoques de pesaje, y el resultado de cada uno se registra paso a paso para facilitar la comparación. A partir de ahí, se puede inferir fácilmente cuál de los dos enfoques tiene un mayor potencial para identificar los resultados correctos más rápidamente, y además puede probar cómo cambian cuando modifica el tamaño de la entrada. Esto es más un experimento mental, pero tiene muchas implicaciones en la vida real y comúnmente se da como ejemplo en estudios de casos.

Como se verá a continuación, la forma en que se lleva a cabo este experimento tiene algunas aplicaciones de la vida real y se puede utilizar para estudiar cómo se llevan a cabo otros procesos.

#### Perfección en el diseño de obleas de silicio

La industria de la computación es un adoptante común de diseño de experimentos, y la metodología ha tenido muchos usos en esa área. Las obleas de silicio son muy sensibles a pequeños cambios en muchos de los parámetros bajo los que operan, por lo que es importante estudiar su diseño con mucho cuidado y asegurarse de que no haya desviaciones inesperadas. Desafortunadamente, esto a veces puede ser un gran desafío con la cantidad de parámetros involucrados típicamente en la instalación de producción de obleas estándar, lo que hace que el diseño de experimentos sea un buen candidato para este tipo de estudios.

De hecho, una aplicación correcta de diseño de experimentos puede ayudar a una instalación a identificar rápidamente las variables exactas que pueden hacer que el producto final no esté alineado con las restricciones de

parámetros de seguridad previstas, y puede ayudar a los operadores de la instalación a mejorar su trabajo general al enfocarse en esos factores específicos.

- Optimización del rendimiento de los procesos químicos

Es muy probable que se observe que el diseño de experimentos se usa con frecuencia en la industria química y por una buena razón. No es raro intentar optimizar el resultado de un determinado proceso, cuando se trabaja con reacciones químicas complejas y procesos de múltiples etapas, y la gran cantidad de variables que se pueden modificar, a veces puede hacer que sea imposible obtener el equilibrio correcto a mano.

Aquí es donde entra en acción el diseño de experimentos con el que puede ayudar a identificar los niveles de equilibrio exacto y apropiado entre las diferentes variables involucradas en el proceso y ajustarlos a la perfección hasta que pueda maximizar el rendimiento de cada ejecución. Vale la pena señalar que esto requiere que tenga un sistema subyacente muy bueno para la recopilación de datos, pues de lo contrario no puede esperar poder comparar adecuadamente los resultados de diferentes ejecuciones. Por otro lado, una vez que tenga ese sistema trabajando, es vital mantenerlo en funcionamiento y asegurarse de que el resultado de cada iteración se registre y almacene correctamente.

Los experimentos cuidadosamente planificados y diseñados estadísticamente ofrecen claras ventajas sobre las alternativas tradicionales de un factor a la vez. Estas técnicas son herramientas particularmente útiles para la validación de procesos, donde se deben determinar los efectos de varios factores en el proceso. El concepto DOE no solo se comprende fácilmente, sino que los

diseños de experimentos factoriales son fáciles de construir, eficientes y capaces de determinar los efectos de interacción. Los resultados son fáciles de interpretar y conducen a conclusiones estadísticamente justificadas.

## **7.9. Vegetales congelados**

Los vegetales destinados a la congelación se recogen en su momento óptimo de maduración y son sometidas a un proceso de ultracongelación, que conserva sus propiedades casi intactas y evita el posible deterioro causado por microorganismos.

En la actualidad, para preparar vegetales congelados se utiliza la técnica de la ultracongelación, descrita por la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA).

### **7.9.1. Variedades de vegetales congelados**

Entre las diferentes variedades de vegetales que actualmente se procesan en Guatemala están: brócoli, zanahoria, coliflor, arveja china, arveja dulce, calabaza, entre otros.

- Mezcla de vegetales congelados

De las variedades de vegetales disponibles se realiza un producto con alta demanda de la mezcla de tres de ellas, llamada *mezcla californiana*, compuesta por piezas de zanahoria, brócoli y coliflor.

### **7.9.2. Procesos que intervienen en su elaboración**

El proceso de fabricación de frutas y verduras es largo. Los vegetales y frutas se congelan dentro de las horas posteriores a la recolección. Por lo tanto, cuando se descongelan, tienen un sabor y una textura casi frescos. Este es un proceso de 9 pasos.

#### **Paso 1: Cultivo**

Los procesadores de alimentos suelen contratar a los agricultores para que cultiven sus productos de acuerdo con las necesidades específicas de congelación. Este proceso se lleva a cabo bajo la observación tanto del agricultor como del procesador. El procesador verifica la calidad de las verduras y frutas y evalúa la calidad requerida.

#### **Paso 2: Recolecta y lavado**

Los vegetales o frutas se recogen manualmente, luego se vierten en los lechos de las plantas de procesamiento y se lavan para eliminar impurezas. Generalmente se lavan en tres etapas: baño de agua, lavado con ducha y lavado con atomizador clorado.

#### **Paso 3: Escaldado**

Limpias las frutas o vegetales, se pasan a la sección de agua, donde se sumergen durante unos minutos, sin cocinarlas, a fin de matar las enzimas que afectan el sabor. Al haberse blanqueado, se enfrían con agua y se pasan al clasificador por gravedad.

#### Paso 4: Clasificación

Los vegetales o frutas se clasifican según su tamaño y existen diferentes técnicas que varían según la fruta y vegetal.

#### Paso 5: Corte e inspección

Los trabajadores inspeccionan los vegetales / frutas, se pasan por la cinta móvil y eliminan las defectuosas. La inspección debe realizarse antes y después de la congelación. Se revisan adecuadamente, las que están en óptimo estado se envían para ser congeladas. Otro grupo de trabajadores procede al corte con base a las especificaciones del cliente.

#### Paso 6: Congelación

Por lo general, se congelan primero en congeladores o incluso en cuartos refrigerados, donde la temperatura se establece en el punto ideal de congelación. Esta varía para cada fruta o vegetal. Después de congelarse, se envasan. Existen diferentes técnicas: por chorro de aire, de banda, de túnel, por contacto, instantánea; la criogénica es la tecnología más rápida en su género, utiliza temperatura de nitrógeno líquido ultra baja, de  $-196^{\circ}$ . C ( $-320^{\circ}$ . F).

#### Paso 7: Embalaje

El envasado es muy importante, porque si no se realiza correctamente, hay más posibilidades que el producto pierda sus propiedades nutritivas y entre en fase de descomposición. Por lo tanto, los procesadores deben prestar

atención al sector del embalaje. Se puede realizar antes o después de congelar. Depende de la empresa el método que prefiera aplicar.

#### Paso 8: Empaque

Una vez realizado el embalaje, el producto pasa a las cintas móviles para su envasado. Actualmente existen múltiples opciones para alimentos congelados: cajas, cartones, bolsas y otros. Es un proceso semi automático que se lleva a cabo mediante maquinaria y personas. Empacado, se traslada al almacén refrigerado entre 0 y -20° F (-17,8- -28,9° C).

#### Paso 9: Distribución

Los alimentos congelados se envían a los mercados y supermercados. Debe realizarse a 0 ° F (- 17,8 ° C) o más fría. Esta es la última etapa, luego los clientes los adquieren frescos en sabor y textura

### **7.9.3. Productividad**

El fin primario y propósito de toda industria es rentabilizar sus operaciones, siempre que se satisfagan los requerimientos de los clientes, cuidando la calidad e inocuidad de los productos alimenticios.

“La mejora de la productividad se refiere al aumento en la cantidad de producción por hora de trabajo invertida.” (Freivalds y Niebel, 2009, p. 1) Esto se lleva a cabo de una manera eficiente si se aplican distintas herramientas de mejora continua para producir con la innovación que beneficie las operaciones.

Acá se considera entonces que, para incrementar la rentabilidad de las actividades productivas, la organización debe trabajar de una manera más eficiente, optimizando de la mejor forma sus recursos y utilizando las mejores herramientas de que se dispongan.

El futuro de las actividades comerciales a través de los medios electrónicos ya está aquí. Está cambiando la forma en que se trabaja para ser más eficientes y productivos y para prestar un mejor servicio cuando apoyamos a nuestros clientes. Para lograrlo, se debe contar con las herramientas para estar mejores conectados. (Goldstein y Rungtusanatham 2011.)

#### **7.9.3.1. Medición de la productividad**

La productividad mide la eficiencia del proceso de producción de una empresa. Se calcula dividiendo los productos producidos, por los insumos utilizados. Los insumos comunes son las horas de trabajo, el capital y los recursos naturales, mientras que los productos generalmente se miden en ventas o en la cantidad de bienes y servicios producidos. La productividad se puede calcular midiendo el número de unidades producidas en relación con las horas de trabajo de los empleados o midiendo las ventas netas de una empresa, en relación con las horas de trabajo.

Por otro lado, existe la inquietud en las empresas de unir todo en un solo sistema para no perder la vista al todo. Si bien esta visión totalizadora se puede lograr en la teoría, en la práctica resulta muy difícil por la complejidad que esto implica y la dificultad que esto conlleva para que el personal lo asimile y lo utilice como insumo básico en la toma de las decisiones.

Chase, Jacobs y Alquilano (2009), definen como una medida general de productividad, las expresiones siguientes:

$$Productividad = \frac{Salidas}{Entradas} \text{ o } \frac{Bienes \text{ o } servicios \text{ producidos}}{\text{Todos los recursos utilizados}} \text{ (Ec. 1)}$$

Si se detallan los recursos que se utilicen para su cálculo se tienen las siguientes variantes de productividad

$$Productividad = \frac{Producto}{Trabajo+capital+Energía} \text{ o } \frac{Producto}{Trabajo+material+capital} \text{ (Ec. 2)}$$

### 7.9.3.2. Variables de la productividad

“Generalmente la productividad depende de tres variables: la mano de obra, la administración y el capital”. (Heizer y Render (2009, p. 17).

- Mano de obra

Selección de la mano de obra adecuada para un trabajo específico. Aplicación de la conocida división del trabajo. Capacitación, consideración de los requisitos de capacitación. Número de personal requerido, planificación de requisitos de mano de obra en cada uno de los departamentos de habilidad requerida.

- Administración

La función principal de la administración es la formación de planes, políticas y procedimientos, el establecimiento de metas y objetivos, el cumplimiento de reglas y regulaciones. La administración establece el marco fundamental de una organización, dentro del que funciona la gestión de la organización

- Capital

El capital económico es una medida de riesgo en términos de capital. Más específicamente, es la cantidad de capital que una empresa necesita para asegurarse de mantenerse solvente dado su perfil de riesgo.

El capital económico lo calcula internamente la empresa, a veces utilizando modelos propios. El número resultante es también la cantidad de capital que la empresa debería tener para soportar los riesgos que asume.

### **7.9.3.3. Limitantes de la productividad**

(Marco (2017), indica que existen tres factores que limitan la productividad de una empresa: sobrecarga, variabilidad y desperdicio

- Sobrecarga

Es empujar a los equipos y especialmente a las personas más allá de su capacidad, hasta el punto de producir un estrés improductivo. El nivel adecuado de estrés impulsa el rendimiento, pero demasiada sobrecarga afecta la seguridad

y la sostenibilidad, lo que repercute negativamente en el rendimiento a largo plazo. Este problema a menudo está enmascarado, si la administración solo está mirando los informes financieros, porque la rentabilidad puede verse muy bien a corto plazo. Deben tener en cuenta otras métricas, como los incidentes de seguridad, incluidos los cuasi accidentes y la rotación de empleados, así como una evaluación subjetiva honesta de la moral.

- Variabilidad

Resultados inconsistentes ya sea a nivel de estimación, compra o instalación. Esto puede ser tanto a nivel de proyecto como a nivel de empresa en su conjunto. Siempre habrá alguna variabilidad, pero racionalizar demasiado afectará el rendimiento.

- Desperdicio

Demasiados pasos en el flujo de valor no agregan valor. Esto se ve típicamente en falta de rentabilidad y / o falta de competitividad.

#### **7.9.3.4. Factores que influyen en la productividad**

Hay demasiados factores que afectan la productividad, por lo que si desea la productividad de una empresa, se necesita un enfoque integrado para resolver los problemas y obstáculos de su lugar de trabajo que dificultan el buen funcionamiento. Además, aumentar la productividad significa disminuir la cantidad de materiales y mano de obra que está poniendo en la operación o mejorar el nivel de producción para la misma cantidad de insumos.

En el caso de una empresa manufacturera (la productividad) es la relación entre la producción de bienes y las cantidades de insumos utilizados. Por lo tanto, la Productividad nos indica cuánto producto generan los insumos utilizados en una actividad económica. Para ver cómo ha cambiado esa relación entre productos e insumos a través del tiempo se expresa como índice de productividad. Todos estos factores interactúan y conforman un índice de productividad más integral. (Heredia, 2011).

## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN
2. ANTECEDENTES
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
  - 3.1 Contexto general
  - 3.2. Descripción del problema
  - 3.3. Formulación del problema
  - 3.4. Delimitación del problema
3. JUSTIFICACIÓN
5. OBJETIVOS
  - 5.1 General
  - 5.2 Específicos
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN
7. MARCO TEÓRICO
  - 7.1 Diseño de experimentos

- 7.1.1 Origen
- 7.1.2. Definición
- 7.2 Conceptos básicos
- 7.3 Clases de experimentos
  - 7.3.1. Experimentos exploratorios
  - 7.3.2. Experimentos confirmatorios
- 7.4. Investigación no experimental
  
- 8. APLICACIONES
  - Experimentos factoriales
  - Definición
  - Diseño factorial
  - Factor cualitativo
  - Factor cuantitativo
  - Arreglo factorial
  - Efecto de un factor
  - Efecto principal
  - Efecto de interacción
  - Réplica
  - Características y ventajas
  - Diseño general 2k
  - Aplicaciones del DEF
  - Vegetales congelados
  - Procesos que intervienen en su elaboración
  - Productividad
  - Medición de la productividad
  - Variables de la productividad
  - Limitantes de la productividad
  - Factores que influyen en la productividad

- 9. METODOLOGÍA
  - 9.1 Enfoque
  - 9.2. Diseño
  - 9.3 Tipo
  - 9.4. Alcance
  - 9.5. Fases
  - 9.6. Resultados esperados
  
- 10. Población y muestra
  - 10.1 Unidad de análisis
  
- 11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN
  
- 12. CRONOGRAMA
  
- 13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO
  - 13.1. Recursos
    - 13.1.1. Humano
    - 13.1.2. Financiero
    - 13.1.3 Recurso tecnológico
    - 13.1.4. De acceso a la información y permisos
    - 13.1.5. Del equipo e infraestructura
  
- 14. REFERENCIAS
  
- 15. ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Enfoque**

El enfoque es cuantitativo porque se hace un análisis de causa-efecto en que el desarrollo del proceso es secuencial, con una bondad de precisión. Se utiliza la medición de variables para el control de proceso, la evaluación del comportamiento del proceso y sus desviaciones.

### **9.2. Diseño**

Experimental, debido a que se realiza medición de variables, es decir la investigación está enmarcada en lo que se considera experimentos puros. Los datos se obtienen mediante herramientas de medición con el objetivo de hacer una observación y análisis de datos para determinar las áreas y procesos, en los que se deba hacer la mejora que se plantea.

### **9.3. Tipo**

Descriptivo porque se pretende responder interrogantes del caso en estudio, con base en la determinación del proceso analizado. Así mismo se realiza el registro de datos o comportamiento de variables de operación, para luego efectuar un análisis sobre las desviaciones y oportunidades de mejora de las variables respecto de la línea base y por último se evalúan los diseños para optimizar el proceso.

También se considera transversal, porque el estudio de investigación está delimitado en el tiempo, dado que existe una fecha de inicio y fin del proyecto.

#### **9.4. Alcance**

Correlacional, porque se cuantifican las relaciones existentes entre las variables. También tendrá un alcance metodológico descriptivo, porque se trata de una propuesta, es decir se tiene disponible la caracterización del proceso de mezcla, que permite su evaluación.

- Operativización de variables

Tabla I. **Operativización de variables**

<b>Variable</b>	<b>Definición Teórica</b>	<b>Definición operativa</b>
Peso	Peso de la muestra de mezcla de vegetales congelados. Variable continua.	El peso se mide en gramos y se utilizará para verificar el peso de la muestra. Es una escala de razón.
Porcentaje de cada ingrediente de muestra	Dimensionar el porcentaje encontrado de cada ingrediente de la muestra tomada	Número decimal entre 0 y 1 que resulta del cálculo del porcentaje encontrado de cada ingrediente de la muestra. Escala de razón. Es una variable de respuesta.
Operario	Estudiar las características del operario que influyen en la producción.	Número entero entre 1 y N. Diferenciación entre cada operario. Es de escala nominal.
Tiempo	Estudiar la relación entre el tiempo que se tarda en la realización de un lote de producción mezcla y los porcentajes correctos	Se medirá usando un cronometro del tiempo de realización de un lote de mezcla de vegetales. Escala de razón.
Iluminación	Entender como el nivel de iluminación afecta el proceso de la mezcla.	Se medirá usando un luxómetro el nivel de iluminación presente en el área donde se realiza la mezcla. Escala de razón.

Fuente: elaboración propia,

## **9.5. Fases**

Para que el proceso cumpla con los objetivos del diseño de investigación debe llevarse a cabo de la siguiente manera:

### **9.5.1. Fase 1**

Revisión documental para realizar la investigación de antecedentes del problema y marco teórico relacionado al mismo.

### **9.5.2. Fase 2**

Se definen las causas de las deficiencias en el proceso de mezclas de vegetales, por lo que se utilizarán como la línea base o referencia los objetivos que deben cumplir los indicadores, esto de acuerdo con revisión y análisis de las necesidades del negocio.

Se determinará el sistema de mezcla de vegetales y cómo se está gestionando, para rediseñar el procedimiento de trabajo necesario para optimizar dicha gestión. Las fuentes disponibles de información serán los colaboradores, así como los registros diarios de los departamentos de producción y de calidad; también se definirá el responsable del seguimiento del sistema de mejora, el método del registro a utilizar y hacer del conocimiento al personal involucrado.

### **9.5.3. Fase 3**

Se diseñará la metodología de análisis de resultados y causas de ineficiencias o incumplimientos de variables de proceso e indicadores necesarios para desarrollar el trabajo de investigación. Inicialmente se realizará un análisis estadístico de las variables relacionadas al trabajo de campo, posteriormente se utilizarán herramientas administrativas para llegar a las causas raíz de las desviaciones: análisis de causa y efecto, árbol de problemas.

Para enriquecer las conclusiones, se efectuarán reuniones con el personal involucrado en la operación y en función a las soluciones y la retroalimentación, se evaluará el diseño de optimización del proceso de gestión de reportes.

### **9.5.4. Fase 4**

Se elaborará el informe final con toda la información recaudada acerca del procedimiento de mezclas optimizado.

## **9.6. Resultados esperados**

El resultado esperado es establecer la base teórica como marco de referencia para desarrollar el trabajo de investigación. También se espera determinar las áreas de oportunidad en el uso de los recursos en el proceso de mezcla de vegetales.

Así mismo se espera determinar los subprocesos que son claves para el proceso de mezclas, establecer las causas de las deficiencias y obtener la evaluación y retroalimentación del modelo planteado a través del análisis de experimentos.

Por último, se espera obtener el reporte final del trabajo de investigación con base en las directrices establecidas por la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

## 10. Población y muestra

### 10.1 Unidad de análisis

La población en estudio serán las bolsas de empaque de 454 gramos de peso de las que se extraerán las muestras para ser estudiadas. Para la población se optará por la toma de muestra durante los días de producción de un mes; se realizará un muestreo por cada tarima de producción, tomando en cuenta que un contenedor tiene aproximadamente 32.

Para determinar la muestra se utiliza la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Nv^2z^2}{(N-1)e^2 + v^2z^2}$$

Donde:

N = tamaño de la muestra

v = desviación estándar de la población con un valor constante de 0.5

Z = valor obtenido mediante niveles de confianza. Se toma en relación con el 95% de confianza que es igual a 1.96.

e = límite aceptable de error, en este caso, se tomará igual a 0.05.

$$N = \frac{(32)(0.5^2)(1.96^2)}{(32-1)(0.05^2) + (0.5^2)(1.96^2)} = 29.61$$

Para llevar a cabo el estudio, se deben tomar aproximadamente un total de 30 muestras por contenedor, considerando que el número de tarimas es de 32 en promedio; estas se utilizarán en los gráficos de control que nos indicarán si el proceso se encuentra en control. La cantidad de días que tomará realizar el muestreo es de 30.

La información obtenida será tabulada y analizada utilizando la herramienta Microsoft Excel, a través de tablas, gráficas y tablas dinámicas.

## 11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Durante el desarrollo de la investigación, para la recolección de información se utilizaron técnicas directas tales como: la observación directa, (anexo I), grabación de video de los procesos de producción de mezclas de vegetales, para obtener los datos del proceso existente y entrevista (anexo II). Asimismo, se realizó el análisis de los datos de mezclas históricos.

El análisis de la información es utilizado durante el proceso, para obtener el procedimiento de mezcla eficiente. También se recopilaron, organizaron, presentaron, analizaron e interpretaron datos. Para ello se utilizaron las siguientes herramientas de estadística descriptiva:

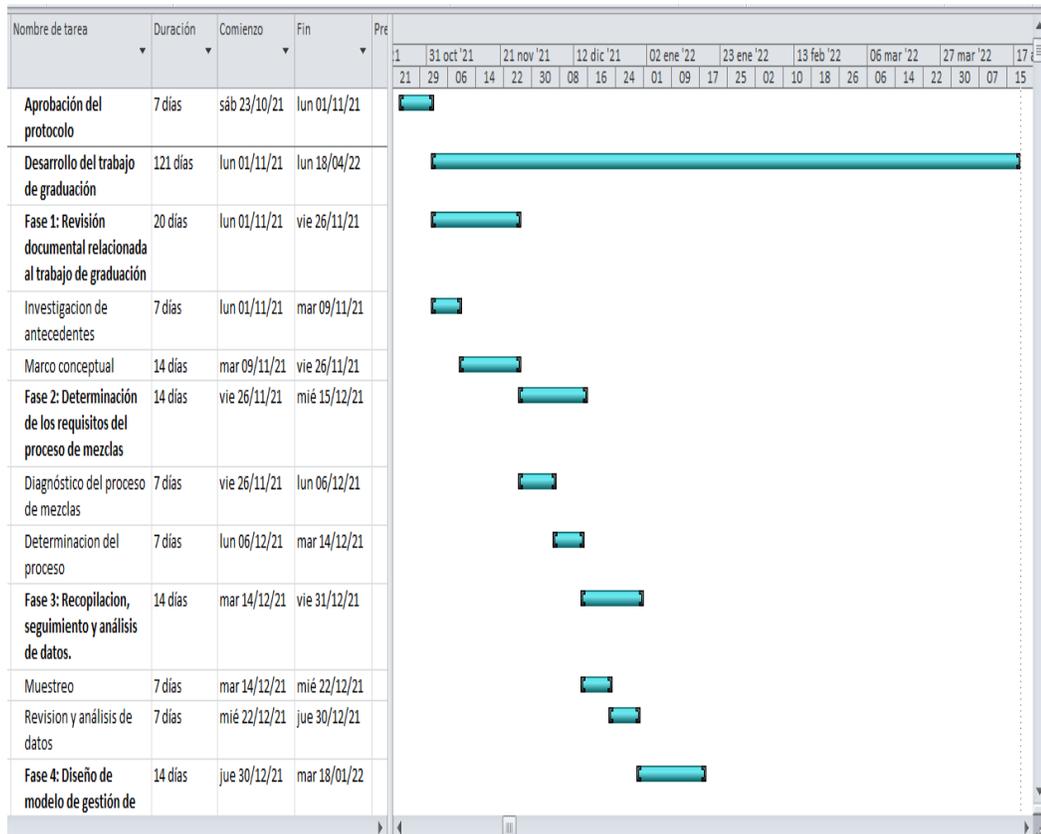
- Organización de datos
- Clasificación de actividades
- Tablas
- Gráficas
- Diagramas
- Histogramas

Se utilizó la representación gráfica del comportamiento de las variables, principalmente por medio de gráficos de control, con el propósito de caracterizar el comportamiento de las variables.



## 12. CRONOGRAMA

Figura 2. Cronograma de actividades



Fuente: Elaboración propia



## **13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

### **13.1 Recursos**

Los diferentes tipos de recursos utilizados en el trabajo de investigación se desglosan a continuación.

#### **13.1.1 Humano**

Se tiene la disposición dentro de la empresa, para realizar las tareas requeridas en la elaboración del proyecto.

#### **13.1.2. Financiero**

El recurso financiero necesario para realizar la investigación será aportado de la siguiente manera: el 50 % por el investigador y el 50 % restante por el propietario de la empresa beneficiada. Se presenta el siguiente presupuesto de gasto relacionado a la investigación: (véase tabla I).

#### **13.1.3 Recurso tecnológico**

Un ordenador y acceso a internet.

#### **13.1.4. De acceso a la información y permisos**

Acceso a la información requerida en la investigación, con el compromiso de respetar los derechos de propiedad intelectual. Se cuenta con el permiso 3. la investigación.

#### **13.1.5. Del equipo e infraestructura**

Se brinda la posibilidad de utilizar equipo, herramienta y mobiliario dentro de la empresa, así como la infraestructura, que permita la realización del estudio.

## 14. PRESUPUESTO

Tabla II. Recursos necesarios para la investigación

No.	Recurso	Descripción del gasto	Monto (Q)	Porcentaje %
1.	Humano	Tiempo del investigador	9,000.00	56.2
2.	Humano	Asesor trabajo investigación	0	0
3.	Material	Papelería y útiles	2,000.00	12.5
4.	Transporte	Combustible y depreciación vehículo.	1,500.00	9.4
5.	Alimentación	Alimentación del investigador	1,500.00	9.4
6.	Tecnológico	Internet	1,000.00	6.25
7.	Varios	Imprevistos	1,000.00	6.25
		<b>TOTAL</b>	<b>16,000.00</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia



## 15. REFERENCIAS

1. A.V.M. (2016). *La cadena de frío, refrigeración y congelación de Alimentos*. Madrid AMV Ediciones.
2. AFFI. (11 de julio de 2021). <https://affi.org>. Obtenido de <https://affi.org/category/news/press-release/>
3. Aguilar, J. (2012). *Métodos de conservación de alimentos*. México. Red Tercer Milenio.
4. Badii. M.H., Castillo, J., Rodríguez, M., Wong, A., & Villalpando, P. (2007). *Diseños Experimentales e Investigación Científica*. Obtenido de <https://revistainnovaciones.uanl.mx/inex.php/revin/article/view/190>. DOI: <https://doi.org/10.29/rinn4.8-5>
5. Barreiro, J., & Aleida, S. (2012). *Operación de conservación de los alimentos por bajas temperaturas*. México: Editorial Equinoccio.
6. C., A. V. (2015). *Procesos de conservación de los alimentos*. AMV Ediciones.
7. Campbell-Platt, G. (2014). *Ciencia y tecnología de los alimentos*. Madrid, España: Manole Ltda.
8. Chase, R., Jacobs, R., & Alquilano, N. (2009). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S. A. de C. V.

9. Freivalds, A., & Niebel, B. (2009). *Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño de trabajo*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S. A. de C.V.
10. Gobierno de EE. UU. (2003). Una guía de las mejores prácticas para la industria de alimentos. *Ergonomía en Acción*, 25.
11. Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: The McGraw-Hill Companies, Inc.
12. Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de Administración de Operaciones*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
13. Heredia, H. B. (2011). *La productividad en el sector de la manufactura del Ecuador*. Quito, Ecuador: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
14. M.O. O., López P., L. A., & Melo M., S. E. (2020). *Diseño de experimentos Métodos y aplicaciones*. Bogotá: Facultad de Ciencias. Universidad de Colombia.
15. Marco, J. A. (11 de septiembre de 2017). *IMF Blog de Logística*. Obtenido de <https://blogs.imformacion.com/blog/logistica/logistica/productividad-empresas-lean/>
16. Mazariegos, M. S. (2009). *Aplicación del diseño experimental en el desarrollo de las prácticas internas en el área de operaciones unitarias*. Guatemala: Facultad de Ingeniería, USAC.
17. Montgomery, D. C. (2017). *Diseño y análisis de experimentos*. México. Editorial Limusa, S. A. de C. V.

18. Potter, N. (2008). *La ciencia de los alimentos*. Editorial HARLA.
19. Puente, E., López, R., Rodríguez, M., & Trejo, H. (2015). *Aplicación del diseño por mezclas en la industria alimentaria*. México: Universidad Autónoma de México.
20. Schroeder, R., Goldstein, S., & Rungtusanatham, M. (2011). *Administración de operaciones*. México: McGraw-Hill/International Editores, S. A. de C. V.
21. Singh, R., & Heldman R., D. (2015). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. Editorial Acribia, S. A.
22. Thefoodtech.com. (10 de julio de 2021). <https://thefoodtech.com>.  
Obtenido de <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/alimentos-congelados-tendencias-y-su-posición-en-el-mercado/>



## 16. ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de coherencia

ELEMENTOS	PROBLEMA ESTADÍSTICO (Falencias de conocimiento)	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS ¿Qué se hará? ¿Cómo se hará? ¿Para qué se hará?	SOLUCIÓN PROPUESTA Desarrollar con más detalle ¿Cómo se hará? (Utilizando la estadística)	FUNDAMENTO (Explique por qué piensa que es la mejor solución, desde los conceptos)	METODOLOGIA
ESPECÍFICOS	¿Cuál es el grado de correlación existente entre los factores que influyen directamente en el proceso de obtención de mezclas?	01. ¿Cuál es la correlación existente entre los factores que influyen directamente al proceso de obtención de mezclas?	¿Qué se hará? Encontrar la covariación entre las variables relacionadas del proceso. ¿Cómo se hará? Encontrando la medida estadística que expresa hasta qué punto las variables relacionadas. ¿Para qué se hará? Para determinar como la medida de relación encontrada entre ellas determina la influencia que cada una de ellas tiene en el proceso estudiado.	Para ello se utilizaría una prueba t en la que La hipótesis nula es que no existe correlación y la hipótesis alterna es que la hay. En una distribución «t» con n-2 grados de libertad se localizan los puntos que dejan al extremo izquierdo y al derecho el 0.025 del área, para que al centro quede el 0.95 del área. Los valores que estén entre «-t» y «t» será la zona de aceptación de H0, es decir, no hay correlación, pero si es menor que «-t» o mayor que «t», se rechaza H0, es decir, existe correlación.	Porque este proceso de razonamiento es válido tanto para muestras pequeñas como para muestras grandes. En esta última situación podemos comprobar en la tabla de la t de Student que para una seguridad del 95% el valor de z es 1.96 y para una seguridad del 99% el valor de z es 2.58.	<b>Características del Estudio:</b> El enfoque es cuantitativo porque se hará un análisis de causa-efecto en el cual el desarrollo del proceso será de manera secuencial con una bondad de precisión.  El diseño es experimental debido a que se realiza medición de variables.

Continuación de Anexo 1

<p>02. ¿Cuál es la configuración de variables que tiene mayor influencia en la obtención de los porcentajes deseados en las unidades de vegetales mezclados?</p>	<p>02. ¿Cuál es la configuración de variables que tienen mayor influencia en la obtención de los porcentajes deseados en las unidades de vegetales mezclados?</p>	<p><b>¿Qué se hará?</b> Encontrar las variables que afectan positivamente la obtención de los resultados deseados.</p> <p><b>¿Cómo se hará?</b> Aplicando un diseño factorial al conjunto de variables.</p> <p><b>¿Para qué se hará?</b> Para investigar los efectos individuales (principales) de cada factor y determinar si existe alguna interacción entre los factores.</p>	<p>Primero se determina el número de factores (k, cada uno con dos niveles) que intervienen directamente en el proceso de la mezcla, se requerirían 2<sup>k</sup> corridas de producción para poder analizar y determinar el efecto del factor analizado y de esta manera ir determinando la interacción entre las variables.</p>	<p>Porque en los diseños experimentales se hace el uso más eficiente de los datos experimentales.</p>	<p><b>El tipo de estudio</b> se considera como descriptivo ya que se pretende responder interrogantes del caso en estudio, en base a la determinación del proceso analizado. También se considera que el tipo de estudio es transversal porque el estudio de investigación está delimitado en el tiempo ya que existe una fecha de inicio y fin del proyecto.</p>
<p>03. ¿Cuál es el tamaño óptimo de la muestra para un diseño experimental con mezclas de vegetales congelados?</p>	<p>03. ¿Cuál es el tamaño óptimo de la muestra para un diseño experimental con mezclas de vegetales congelados?</p>	<p><b>¿Que se hará?</b> Encontrar el método de muestreo mejor se adapte a las condiciones del proceso y las características inherentes a las muestras.</p> <p><b>¿Cómo se hará?</b> Utilizando el muestreo aleatorio sistemático.</p>	<p>1. Se determina el tamaño deseado de la muestra (n).</p> <p>2. Se identifica el marco muestreo existente</p> <p>3. Se evalúa el marco muestral y se hacen los ajustes cuando sea necesario.</p> <p>4. Se determina el número de elementos en el marco de la muestra</p> <p>5. Se Calcula el intervalo de muestreo (h) dividiendo el número de elementos en el marco de muestreo (N) por el tamaño de la muestra específica (n). Seleccionar al</p>	<p>Dado que el proceso de selección es manual, el muestreo sistemático es más fácil, más simple, menos tiempo, y más económico. Como en el proceso estudiado el orden de los elementos en el muestreo se asignan al azar entonces el muestreo sistemático produce resultados similares</p>	<p><b>Unidad de análisis</b></p> <p>La población en estudio serán las bolsas de empaque de 454 gramos de peso de las cuales se extraerán las muestras para ser estudiadas.</p>

Continuación de Anexo 1

			<p><b>¿Para qué se hará?</b> Para encontrar el método de muestreo que mejor se adapte a las condiciones del proceso.</p>	<p>azar un número, <math>r</math>, de "1" mediante <math>l</math>.</p> <p>1. Se selecciona para la muestra, <math>r, r + l, r + 2l, r + 3l</math>, y así sucesivamente, hasta agotar el marco.</p>	<p>al muestreo aleatorio simple.</p>	
GENERAL	<p>¿Cuál es la mejor combinación de factores de producción para estabilizar el problema de estandarización de porcentajes de muestras utilizando el diseño de experimentos?</p>	<p>¿Cuál es el nivel de influencia de factores de producción que afectan el rendimiento de la mezcla de vegetales congelados?</p>	<p>¿Qué se hará?</p> <p>Encontrar las variables que afectan el proceso positivamente y su covariación.</p> <p>¿Cómo se hará?</p> <p>Utilizando la prueba <math>t</math>, diseño factorial y muestreo sistemático aleatorio.</p> <p>¿Para qué se hará?</p> <p>Para investigar los efectos individuales (principales) de cada factor y determinar si existe alguna interacción entre los factores, así como también la relación entre las variables.</p>	<p>Las descripciones individuales de cada una de las soluciones propuestas detalladas en cada uno de los elementos específicos.</p>	<p>Los fundamentos individuales de cada una de las soluciones propuestas detalladas en cada uno de los elementos específicos.</p>	

Fuente: elaboración propia.

## Anexo 2. Enlace anti-plagio

The screenshot displays the PlagScan web interface. At the top, a green box indicates a 0.0% plagiarism rate. The document being analyzed is 'Francisco\_Garcia\_Informe\_Plagscan.docx', dated 28/10/2021 23:26. The interface shows 55 results and 46 selected sources. A detailed view for the document is open, showing 31 pages and 7632 words. The plagiarism level is 0.0% selected and 35.7% total. It notes that 158 results were found from 84 sources, with 84 sources being in-line. A message states that 201 documents were examined for similarities but appear sufficiently different. The configuration section includes options for data directives, sensitivity, bibliography, citation detection, and a white list.

Fuente: [www.plagscan.com](http://www.plagscan.com).

Muestreo aleatorio sistemático: se utiliza en muestras ordenadas del 1 al  $N$ . Consiste en lo siguiente:

- Supongamos que tenemos una población de  $N$  individuos ordenados del 1 al  $N$ . Queremos seleccionar una muestra de tamaño  $n$ .
- Sea  $k$  el entero más próximo a  $N/n$ .

- Escogemos al azar un número  $i$  entre 1 y  $k$  (utilizando los números aleatorios).
- La muestra será el elemento  $i$  y los elementos  $i+k, i+2k$ . Es decir, el elemento  $k$  y los elementos a intervalos fijos  $k$  hasta conseguir los  $n$  sujetos:

$$M = (i, i+k, i+2k, \dots, i+(n-1)k)$$

- Prueba  $t$  de *Student*. Diferentes tamaños muestrales, diferentes varianzas

Esta prueba es también conocida como prueba  $t$  de *Welch* y es utilizada únicamente cuando se puede asumir que las dos varianzas poblacionales son diferentes (los tamaños muestrales pueden o no ser iguales) y por lo tanto deben ser estimadas por separado. El estadístico  $t$  por probar cuando las medias poblacionales son distintas puede ser calculado como sigue:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}}$$

Donde

$$s_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}.$$

Aquí  $s^2$  es el estimador sin sesgo de la varianza de las dos muestras,  $n$  = número de participantes, 1 = grupo uno, 2 = grupo dos. Nótese que, en este caso, no es la varianza combinada. Para su utilización en pruebas de significancia, la distribución de este estadístico es aproximadamente igual a una distribución  $t$  ordinaria con los grados de libertad calculados según:

$$\text{g.l.} = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{(s_1^2/n_1)^2/(n_1 - 1) + (s_2^2/n_2)^2/(n_2 - 1)} - 2.$$

Esta ecuación es llamada la ecuación Welch–Satterthwaite.

Nótese que la verdadera distribución de este estadístico de hecho depende (ligeramente) de dos varianzas desconocidas.

- Diseño factorial

La representación de ANOVA para un diseño de experimento factorial de 2 factores está dada por el siguiente modelo:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk},$$

Donde el término es el efecto de la interacción entre el factor A y el factor B, y es la respuesta observada cuando el factor A esta en el nivel i y el factor B está en el nivel j para la réplica k.  $(\tau\beta)_{ij}$  La ecuación fundamental de ANOVA está dada por la suma de los cuadrados y se expresa de la siguiente manera teniendo el factor A con a niveles y el factor B con b niveles:

$$SS_{total} = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_{error}$$

La ecuación fundamental de ANOVA para un solo factor era:

$$SS_{total} = SS_{Tratamiento} + SS_{error},$$