



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

NOMBRE DEL PROYECTO:

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA REALIZAR COMPARACIONES
SOBRE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE CLORURO DE CALCIO EN
MATERIALES TERMOAISLANTES

OPCIÓN QUE CORRESPONDA:

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERIA INDUSTRIAL

PRESENTA:

NUÑEZ CERVANTES ANDREA

NOMBRE DEL ASESOR:

ISLAS TÉLLEZ GERARDO

APIZACO, TLAX, JUNIO DE 2025



Apizaco, Tlax. 06/mayo /2025

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación integral:

Nombre del Egresado:	ANDREA NUÑEZ CERVANTES
Carrera:	INGENIERÍA INDUSTRIAL
No. De control:	19370644
Nombre del proyecto:	"ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA REALIZAR COMPARACIONES SOBRE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE CLORURO DE CALCIO EN MATERIALES TERMOAISLANTES"
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

EXCELENCIA EN EDUCACION TECNOLÓGICA. ®

Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
**DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

ARMANDO BARRAZA HINIESTA
JEFE DE DEPTO. INGENIERÍA INDUSTRIAL

GERARDO ISLAS TÉLLEZ
ASESOR INTERNO

c.c.p._Div. Est. Prof. (interesado)

c.c.p._Archivo



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241)
4172010 Ext. 144, e-mail: subplan@apizaco.tecnm.mx tecnm.mx |





Tzompantepec, Tlaxcala, **20/mayo/2025**

ANDREA NÚÑEZ CERVANTES
EGRESADO DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL
CON NÚMERO DE CONTROL 19370644
PRESENTE.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA REALIZAR COMPARACIONES SOBRE TAMAÑO DE PARTICULA DE CLORURO DE CALCIO EN MATERIALES TERMOAISLANTES**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar 2 USB del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Pensar para Servir. Servir para Triunfar®

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

DIVISIÓN DE
ESTUDIOS PROFESIONALES

ISRAEL JORGE SANCHEZ SANCHEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
IJSS/Gsc*



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010
Ext. 304, e-mail: dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx



Agradecimientos

A mis padres

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento, por su amor incondicional, apoyo y orientación. Su fe en mí y sus sacrificios han sido la fuerza motriz detrás de todos mis logros. Este logro no es solo mío, sino también suyo. Gracias por enseñarme el valor del trabajo duro y la perseverancia.

Ing. Gerardo Islas Téllez

Agradezco todo su invaluable apoyo y atención brindada durante mi periodo de residencias. Su vasto conocimiento y experiencia ha sido fundamentales para guiarme en la realización del proyecto. Gracias por su tiempo, por compartir sus conocimientos. Su orientación ha sido esencial para superar los desafíos y alcanzar mis metas.

Índice

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	9
1.1 Introducción	9
1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del estudiante.....	10
1.2.1 Nombre de la empresa	10
1.2.2 Ubicación de la empresa	10
1.2.3 Misión y visión	10
1.2.4 Área de trabajo del estudiante y puesto	10
1.3 Problemas a resolver, priorizándolos.....	10
1.4 Objetivos.....	10
1.5 Justificación	11
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1 Variabilidad	12
2.1.1 Concepto de variabilidad	12
2.1.2 Recolección de datos: muestreo aleatorio simple	12
2.1.3 Medidas de tendencia central	13
2.1.4 Medidas de dispersión o variabilidad	14
2.2 Prueba de hipótesis	16
2.3 Análisis de varianza (ANOVA) Experimentos con un solo factor.....	18
2.3.1 Diseños completamente al azar y ANOVA.....	18
2.3.2 Prueba de Anderson-Darling	21
3 DESARROLLO	22
3.1 Cambio de tamaño de partícula de CaCl_2	22
3.2 Determinación de la velocidad de transmisión de vapor de agua.....	22
3.2.1 Método de prueba para determinar velocidad de transmisión de vapor de agua (VTA) permeancia y permeabilidad al vapor de agua	22
3.3 Estudios iniciales	23
3.3.1 Análisis de distribución de datos sobre velocidad de transmisión de vapor de agua	23
3.3.2 Análisis de distribución de datos sobre permeancia al vapor de agua	25
3.3.3 Análisis de distribución de datos sobre permeabilidad al vapor de agua	26
3.3.4 Análisis descriptivo por tipo de material	26
4. RESULTADOS	29

4.1 Estudios iniciales	29
4.2 Análisis comparativo de resultados	31
4.3 Análisis comparativo para VTA	32
4.3.1 Análisis de varianza por material.....	35
4.4 Análisis comparativo para permeancia al vapor de agua mediante ANOVA de dos factores	37
4.5 Análisis comparativo para permeabilidad al vapor de agua	40
4.5.1 Análisis de varianza por tipo de material	43
4.6 Comparación entre volumen y peso del tamaño de partícula de cloruro de calcio	44
5. CONCLUSIONES.....	46
6. COMPETENCIAS DESARROLLADAS	47
7. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	48
8. ANEXOS	49

Índice de tablas

Tabla N°1 Análisis de varianza de dos factores VTA.....	33
Tabla N°2 Análisis de varianza dos factores.....	34
Tabla N°3 Análisis de varianza de un factor para Poliuretano	35
Tabla N°4 Análisis de varianza de un factor para EPS	36
Tabla N°5 Análisis de varianza de un factor para Yeso	36
Tabla N°6 Análisis de varianza de un factor para Estuco	36
Tabla N°7 Análisis de varianza de un factor para Impermeabilizante prefabricado.....	37
Tabla N°8 Análisis de varianza de un factor para Impermeabilizante acrílico	37
Tabla N°9 Análisis de varianza dos factores para permeancia.....	38
Tabla N°10 Análisis de varianza de dos factores.....	40
Tabla N°11 Análisis de varianza de dos factores para permeabilidad	41
Tabla N°12 Análisis de varianza de dos factores arreglo.....	43
Tabla N°13 Análisis de varianza de un factor para Poliuretano	43
Tabla N°14 Análisis de varianza de un factor para EPS	43
Tabla N°15 Análisis de varianza de un factor para Yeso	43
Tabla N°16 Análisis de varianza de un factor para Estuco	43
Tabla N°17 Análisis de varianza de un factor para Impermeabilizante prefabricado.....	43
Tabla N°18 Análisis de varianza de un factor para Impermeabilizante acrílico	44
Tabla N°19 Resultados de pruebas VTA	49
Tabla N°20 Resultados de pruebas Permeancia.....	49
Tabla N°21 Resultados de pruebas Permeabilidad	49
Tabla N°22 Tabla ANOVA Poliuretano Permeancia.....	63
Tabla N°23 Tabla ANOVA EPS Permeancia.....	63
Tabla N°24 Tabla ANOVA Yeso Permeancia.....	64

Tabla N°25 Tabla ANOVA Estuco Permeancia.....	64
Tabla N°26 Tabla ANOVA Impermeabilizante prefabricado Permeancia.....	65
Tabla N°23 Tabla ANOVA Impermeabilizante acrílico Permeancia	65

Índice de ilustraciones

Ilustración 1.1 Histograma sobre velocidad de transmisión de vapor de agua promedio.....	24
Ilustración 1.2 Histograma de permeancia promedio.....	25
Ilustración 1.3 Histograma de permeabilidad promedio.....	26
Ilustración 1.4 Histograma de distribución de datos para poliuretano, EPS, yeso.....	27
Ilustración 1.5 Histograma de distribución de datos para estuco, impermeabilizante prefabricado, impermeabilizante acrílico	28
Ilustración 1.6 Diagrama causa efecto para variación en método de prueba	30
Ilustración 1.7 Modelo general de método de prueba para la determinación de VTA.....	31
Ilustración 1.8 Gráfica ANOVA arreglo 1.....	33
Ilustración 1.9 Gráfica ANOVA arreglo 2.....	34
Ilustración 1.10 Gráfica ANOVA arreglo 1.....	38
Ilustración 1.11 Gráfica ANOVA arreglo 2.....	39
Ilustración 1.12 Gráfica ANOVA arreglo 1.....	41
Ilustración 1.13 Gráfica ANOVA arreglo 2.....	42
Ilustración 1.14 Estadística descriptiva VTA.....	50
Ilustración 1.15 Estadística descriptiva para permeancia.....	51
Ilustración 1.16 Estadística descriptiva para permeabilidad.....	52
Ilustración 1.17 Estadística descriptiva por materiales.....	52
Ilustración 1.18 Estadística descriptiva para Poliuretano.....	53
Ilustración 1.19 Estadística descriptiva para permeabilidad.....	58
Ilustración 1.20 Estadística descriptiva para permeabilidad EPS	54
Ilustración 1.21 Estadística descriptiva para permeabilidad Yeso.....	54
Ilustración 1.22 Estadística descriptiva para permeabilidad Estuco.....	55
Ilustración 1.23 Estadística descriptiva para permeabilidad Impermeabilizante prefabricado.....	55

Ilustración 1.24 Estadística descriptiva para permeabilidad Impermeabilizante acrílico.....	56
Ilustración 1.25 Análisis detallado Tabla ANOVA arreglo 1.....	57
Ilustración 1.26 Análisis detallado para Tabla ANOVA arreglo 2.....	57
Ilustración 1.27 Valores para el llenado tabla ANOVA Poliuretano.....	58
Ilustración 1.28 Valores para el llenado tabla ANOVA EPS.....	58
Ilustración 1.29 Valores para el llenado tabla ANOVA Yeso.....	59
Ilustración 1.30 Valores para el llenado tabla ANOVA Estuco.....	59
Ilustración 1.31 Valores para el llenado tabla ANOVA Impermeabilizante prefabricado.....	60
Ilustración 1.32 Valores para el llenado tabla ANOVA Impermeabilizante acrílico.....	60
Ilustración 1.33 Análisis detallado ANOVA de arreglo 1 Permeancia.....	61
Ilustración 1.34 Análisis detallado para tabla ANOVA arreglo 2 Permeancia.....	62
Ilustración 1.35 Valores para llenado de tabla ANOVA Poliuretano.....	63
Ilustración 1.36 Valores para llenado de tabla ANOVA EPS.....	63
Ilustración 1.37 Valores para llenado de tabla ANOVA Yeso.....	64
Ilustración 1.38 Valores para llenado de tabla ANOVA Estuco.....	64
Ilustración 1.39 Valores para llenado de tabla ANOVA Impermeabilizante prefabricado.....	65
Ilustración 1.40 Valores para llenado de tabla ANOVA Impermeabilizante acrílico.....	65
Ilustración 1.41 Análisis detallado para tabla ANOVA de arreglo 1 Permeabilidad.....	66
Ilustración 1.42 Análisis detallado para tabla ANOVA de arreglo 2 Permeabilidad.....	67
Ilustración 1.43 Valores para llenado de tabla ANOVA Poliuretano.....	67
Ilustración 1.44 Valores para llenado de tabla ANOVA EPS.....	68
Ilustración 1.45 Valores para llenado de tabla ANOVA Yeso.....	68

Ilustración 1.46 Valores para llenado de tabla ANOVA	
Estuco.....	68
Ilustración 1.47 Valores para llenado de tabla ANOVA Impermeabilizante prefabricado	69
Ilustración 1.48 Valores para llenado de tabla ANOVA Impermeabilizante acrílico	69
Ilustración 1.49 Cantidad y volumen cloruro de calcio 2-6 mm.....	45
Ilustración 1.50 Cantidad y volumen cloruro de calcio menor a 2 mm.....	45

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

La comparación de dos muestras es un componente esencial en el análisis estadístico, ya que proporciona la base para la selección óptima entre dos poblaciones o procesos. Este proceso requiere el desarrollo de una estrategia de análisis robusta para garantizar la obtención de resultados confiables y consistentes.

Es importante destacar que la efectividad de los resultados obtenidos para la toma de decisiones no depende del tamaño de la población. En cambio, estos resultados son cruciales para determinar la presencia o ausencia de diferencias significativas entre las medias analíticas, lo que a su vez informa la selección de las medias analíticas apropiadas.

Se presenta un análisis estadístico comparativo de dos tamaños de partícula del desecante cloruro de calcio. Este análisis se segmenta en tres componentes clave: la velocidad de transmisión de vapor de agua, la permeancia al vapor de agua y la permeabilidad al vapor de agua. Este tipo de análisis permite determinar si existen diferencias significativas entre las diferentes pruebas, lo que facilita la toma de decisiones de manera objetiva.

El análisis estadístico empleado es un análisis de varianza (ANOVA). Para la comparación entre los dos diferentes tamaños de partícula de cloruro de calcio, se implementa un ANOVA de un factor; sin embargo, para la comparación entre diferentes materiales, se implementó un ANOVA de dos factores con dos réplicas. Este enfoque permite determinar si las diferencias en los resultados son una diferencia real o son atribuibles a las variaciones inherentes a cada material. Identificar las causas de la variación en la media es crucial para este estudio, ya que basarse únicamente en los resultados de cada caso de forma individual puede conducir a conclusiones erróneas.

Para un análisis más completo, se realizó un análisis descriptivo. Este análisis permite una mejor comprensión de la información presentada, ya que, al resumir y ordenar los datos, se obtiene una visión más clara de cómo se distribuyen los datos y se comprende mejor la variabilidad del proceso. En los anexos, se presentan en detalle las tablas con el análisis de varianza realizado en Excel y parte del análisis descriptivo realizado en Minitab.

1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del estudiante

1.2.1 Nombre de la empresa

Novidesa S.A. de C.V

1.2.2 Ubicación de la empresa

Km 0+650 Carr. A San Juan Quetzalcoapan, Fracc. Tochac, San Cosme Xaloztoc, Tlax. CP. 90460.

1.2.3 Misión y visión

Misión

Proporcionamos los mejores productos y servicios para el desarrollo de diversos sectores industriales en beneficio de la sociedad.

Visión

Ser líderes en la producción, almacenamiento y distribución de productos y soluciones integrales que sean sustentables, vanguardistas y soportadas por el mejor talento.

1.2.4 Área de trabajo del estudiante y puesto

Área de trabajo: Departamento Evaluación y Pruebas.

Puesto: Residente Profesional del departamento de Evaluación y Pruebas.

1.3 Problemas a resolver, priorizándolos

1. Determinación de la afectación del cambio de tamaño de partícula de desecante de cloruro de calcio de 2-6 mm a <2 mm para la determinación de la velocidad de transmisión de vapor de agua.

Determinación de la afectación en los resultados sobre la velocidad de transmisión de vapor de agua al cambiar de tamaño de partícula de desecante de cloruro de calcio de 2-6 mm a <2 mm.

1.4 Objetivos

General

Realizar un análisis estadístico, comparando el tamaño del desecante cloruro de calcio (CaCl_2) de 2-6 mm contra un nuevo tamaño que se desea implementar, el cual tiene un tamaño de partícula menor a 2 mm, con la finalidad de comprobar que

no existe diferencia entre ellos. Permitiendo tomar decisiones informadas sobre la implementación del nuevo tamaño de partícula en futuras aplicaciones.

Específicos

- Evaluar el desempeño del desecante de menor tamaño en una variedad de materiales termoaislantes para entender su comportamiento y eficacia.
- Examinar las posibles causas de variación en el estudio, y determinar cómo estas variables pueden influir en la comparación entre los dos tamaños de partículas de cloruro de calcio.
- Desarrollar e implementar un estudio ANOVA robusto para realizar un análisis comparativo riguroso entre los dos tamaños de partículas del cloruro de calcio. El objetivo es determinar si existe una diferencia significativa entre ellos que pueda afectar los resultados de las pruebas realizadas en los materiales termoaislantes.

1.5 Justificación

El proyecto “análisis estadístico para realizar comparaciones sobre tamaño de partícula de cloruro de calcio en materiales termoaislantes” tiene diversas vertientes por las cuales es necesario su puesta en marcha. Uno de los principales motivos para la realización del proyecto, es el desabasto que se tiene del desecante cloruro de calcio en presentación de 2-6 mm, lo que ha generado el riesgo de ya no realizar la prueba pertinente para la determinación de velocidad de transmisión de vapor de agua.

Este riesgo es de suma importancia para la empresa Novidesa, dado a que el departamento de evaluación y pruebas está acreditado, si se deja de ofrecer esta prueba como parte del servicio que ofrecen ante sus clientes, irán perdiendo a sus clientes, lo que significa que tendrán una disminución de ventas.

En la parte práctica, cabe mencionar que la realización de un análisis estadístico; en específico, el realizar un análisis de varianza ANOVA, permite detectar que tan diferentes son entre sí varios tratamientos. Teniendo en cuenta que este método de prueba se debe de realizar a lo establecido ante la norma mexicana NMX-C-210-ONNCCE-2013, el demostrar que existe otra alternativa de tamaño de desecante que se puede usar, es importante para seguir con el cumplimiento de la norma.

En base a lo anterior, el análisis estadístico, nos asegura la veracidad del análisis comparativo que se realiza con un ANOVA, garantizando la demostración sobre el planteamiento de hipótesis que se quiere comprobar.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Variabilidad

2.1.1 Concepto de variabilidad

“La variabilidad forma parte de nuestra vida, un ejemplo claro es el tiempo que tardamos en trasladarnos de nuestra casa al trabajo o la escuela, cada tiempo es diferente de un día a otro. Así como ocurre una variación en nuestra vida, también existe variación en los procesos productivos en las empresas.

Como tal, la variabilidad hace referencia a la diversidad de los resultados de una variable o de un proceso. Una de las tareas clave del control estadístico de un proceso no solo será conocer su tendencia central (media), sino también conocer su variabilidad, dado a que es importante que los procesos presenten poca variación.

Reducir la variación de los procesos es un objetivo clave para el control estadístico y de Seis Sigma, por lo tanto, es necesario entender los motivos de la variación, y de ahí se parte que un proceso, ya sea industrial o administrativo, interactúan los materiales, maquinaria, mano de obra, mediciones, medio ambiente y los métodos. Estos seis elementos, mejor conocidos como las 6 M, determinan de manera global todo un proceso.

El resultado de todo proceso se debe a la acción conjunta de las 6 M, por lo que, si hay un cambio significativo en el desempeño del proceso, ya sea accidental u ocasionado, su razón se encuentra en una o más de las 6 M. Dentro de un proceso, cada una de las 6 M tiene y aporta su propia variación; por ejemplo, los materiales no son idénticos, ni todo el personal tiene las mismas habilidades y entrenamiento. Por ello es necesario conocer la variación de cada una de las 6 M y buscar cómo reducirla.

Pero, además es necesario monitorear de manera constante los procesos, ya que a través del tiempo ocurren cambios en las 6 M, como la llegada de un lote de material no adecuado o con características especiales, descuidos u olvidos del personal, desajustes y desgaste de máquinas y herramientas, etc.”¹

2.1.2 Recolección de datos: muestreo aleatorio simple

“El muestreo aleatorio simple, significa que cierta muestra dada un *tamaño muestral* específico, tiene la misma probabilidad de ser seleccionada que cualquier otra muestra del mismo tamaño. El termino *tamaño muestral* simplemente indica el número de elementos en la muestra. Evidentemente, en muchos de los casos se puede utilizar una tabla de números aleatorios para seleccionar la muestra. La ventaja del muestreo aleatorio simple, radica en que ayuda a eliminar el problema de tener una muestra que refleje una población diferente (quizá más restringida) de

¹ Gutiérrez, H. y Salazar, R. (2009). “Control estadístico de la calidad y Seis Sigma.” Segunda Edición. Cap.1 p.11 México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

aquella sobre la cual se necesitan realizar las inferencias.”²

2.1.3 Medidas de tendencia central

“El primer aspecto a investigar para tener un control estadístico estable, se debe de conocer la tendencia central de los datos, es decir, identificar un valor en torno al cual los datos tienden a aglomerarse o concentrarse, esto permitirá saber si el proceso está centrado; es decir, si la tendencia central de la variable de salida es igual o está muy próxima a un valor nominal deseado, las tres medidas de tendencia central conocidas son: la media, la mediana y la moda.

Media muestral

Esta medida de tendencia central que es igual al promedio aritmético.

Esta se obtiene sumando todos los datos y el resultado de la suma se divide entre el número de datos:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Media poblacional o del proceso

Si para calcular la media se utilizan todos los elementos de la población (todos los posibles individuos, especímenes, objetos o medidas de interés sobre los que se hace un estudio), por ejemplo, el grosor de todos los discos producidos en la última semana o mes, entonces el promedio calculado es la media del proceso (o media poblacional) y se denota con la letra griega (μ).

Es importante destacar que la media del proceso μ es igual a cierto valor, aunque no siempre se conoce; mientras que el valor de $\bar{x}$ se obtiene para cada muestra y es diferente (variable) de una muestra a otra, ya que su valor depende de las piezas que se seleccionan ($\bar{x}$ es una variable aleatoria).

Por lo anterior, el valor que se observa de la media muestral, $\bar{x}$, por lo general es diferente a la media del proceso, μ . Luego, es preciso tener cuidado con las afirmaciones basadas en $\bar{x}$ sobre la media del proceso o población. En general, lo que se observa en los estadísticos muestrales.

Mediana

Otra medida de tendencia central de un conjunto de datos es la mediana $\tilde{x}$, que es igual al valor que divide a la mitad a los datos cuando son ordenados de menor a mayor. Para calcular la mediana cuando el número de datos es impar, estos se ordenan de manera creciente y el que quede en medio de dicho ordenamiento será la mediana, pero si el número de datos es par, entonces la mediana se calcula dividiendo entre dos la suma de los números que están en el centro del ordenamiento.

² Walpole, Ronald; Myers, Raymond; Myers, Sharon y Ye, Keying (2012). “Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.” Novena Edición Cap. 1 p.7. Pearson, Educación, Mexico.

Moda

Otra forma de medir la tendencia central de un conjunto de datos es mediante la moda, que es igual al dato que se repite varias veces. Si varios datos presentan o tienen la frecuencia más grande, por lo que cada uno de ellos es una moda, y se dice que el conjunto de datos es multimodal.”³

2.1.4 Medidas de dispersión o variabilidad

“La variabilidad de una muestra desempeña un papel importante en el análisis de datos. La variabilidad de los procesos y productos es un hecho real en los sistemas científicos y de ingeniería: el control o la reducción de la variabilidad de un proceso a menudo es una fuente de mayores dificultades. Incluso en problemas pequeños de análisis de datos el éxito de un método estadístico específico podría depender de la magnitud de la variabilidad entre las observaciones en la muestra. Las medidas de ubicación en una muestra no brindan un resumen adecuado de la naturaleza de un conjunto de datos.”⁴

“Además de conocer la tendencia central de un conjunto de datos es necesario saber que tan diferentes son entre sí, es decir, es preciso determinar su variabilidad o dispersión. La forma de medir esa variación es mediante las siguientes cuatro formas.

La desviación estándar muestral es la medida más usual de variabilidad y nos indica que tan esparcidos están los datos con respecto a la media; y se denota con la letra S y se calcula mediante la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Desviación estándar poblacional o del proceso

Esta refleja la variabilidad de un proceso. Para su cálculo se debe de utilizar un numero grande de datos que hayan sido obtenidos en el transcurso de un lapso de tiempo amplio y se denota con la letra griega sigma σ .

Por otra parte el cuadrado de la desviación estándar, S^2 , (conocido como varianza muestral), es muy importante para propósitos de inferencia estadística. Otra medida de dispersión es el rango o recorrido, R , que se igual a la diferencia entre el dato mayor y el dato menor de un conjunto de datos. El rango mide la amplitud de la variación de un grupo de datos, y también es independiente de la magnitud de los datos.

Relación entre X y S (interpretación de la desviación estándar)

³ Gutiérrez, H. y Salazar, R. (2009). “Control estadístico de la calidad y Seis Sigma.” Segunda Edición. Cap.2 p.19 México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

⁴ Walpole, Ronald; Myers, Raymond; Myers, Sharon y Ye, Keying (2012). “Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.” Novena Edición Cap.1 p.14. Pearson, Educación, Mexico.

Una forma de apreciar claramente el significado de la desviación estándar como medida de dispersión en torno a la media, es a través de la relación entre la media y la desviación estándar, está dada por la desigualdad de Chebyshev, es que entre $\bar{x} - 2 S$ y $\bar{x} + 2 S$ por lo menos 75% de los datos de la muestra y que entre $\bar{x} \pm 3 S$ están por lo menos 89% de estos.

Limites reales o naturales

Los limites reales o naturales de un proceso indican los puntos entre los cuales varia la salida de un proceso y por lo general se obtiene de la siguiente manera:

Limite real inferior (LRI) = $\mu - 3\sigma$ Y Limite real superior (LRS) = $\mu + 3\sigma$

El cálculo de estos límites está inspirado en la regla empírica, que a su vez coincide con la propiedad de la distribución normal. En un estudio de capacidad, estos límites reales se comparan con las especificaciones para la característica de calidad.

Inferencia estadística

Los métodos estadísticos descriptivos son de gran utilidad para establecer las principales características de los datos de una muestra. Sin embargo, hay estudios estadísticos donde también es preciso establecer las características de una población con base en la información contenida en una muestra, es decir, en este caso interesa realizar un estudio inferencial.”⁵

¿Cuál es la medida de variabilidad más importante?

“El rango de la muestra tiene aplicaciones en el área del control estadístico de la calidad. Quizá el analista considere que es redundante utilizar la varianza de la muestra y la desviación estándar de la muestra. Ambas medidas reflejan el mismo concepto en la variabilidad de la medición, pero la desviación estándar de la muestra mide la variabilidad en unidades lineales; en tanto que la varianza muestral se mide en unidades cuadradas. Ambas desempeñan papeles importantes en el uso de los métodos estadísticos.

Entre tales características son constantes los denominados parámetros de la población. Dos parámetros importantes son la media de la población y la varianza de la población. La desviación estándar de la muestra desempeña un papel importante, junto con la media de la muestra, en las inferencias que se realizan acerca de la media de la población.”⁶

⁵ Gutiérrez, H. y Salazar, R. (2009). “Control estadístico de la calidad y Seis Sigma.” Segunda Edición. Cap.2 p.21 México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

⁶ Walpole, Ronald; Myers, Raymond; Myers, Sharon y Ye, Keying (2012). “Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.” Novena Edición Cap.1 p.16. Pearson, Educación, Mexico.

2.2 Prueba de hipótesis

“En un estudio estadístico por lo general se busca responder con cierta confianza ciertas preguntas y/o tomar decisiones. En este contexto, al momento de hacer el estudio se puede tener a priori ciertas creencias o hipótesis que se desea comprobar, por ejemplo:

- Los dos proveedores del material x tienen el mismo nivel de calidad.
- El porcentaje de cierto ingrediente afecta el resultado en promedio
- La variación del proceso se redujo con los cambios realizados.

Para esto se tiene que establecer un planteamiento de una hipótesis estadística, la cual es una afirmación sobre los valores de los parámetros de una población o proceso, que pueda probarse a partir de la información contenida en una muestra. Para probar una hipótesis consiste en investigar, con base en la evidencia contenida en una muestra seleccionada de manera adecuada, si lo afirmado por la hipótesis nula es verdad o no, y en caso de ser falso se toma como verdadera la hipótesis alternativa.

Una vez planteada la hipótesis se toma una muestra aleatoria de la población bajo estudio. El estadístico de prueba en una fórmula que permite calcular un número a partir de los datos y la hipótesis nula. La magnitud de este número permite discernir si se rechaza o no la hipótesis nula.

Al conjunto de posibles valores del estadístico de prueba que llevan a rechazar la hipótesis nula, se le llama región o intervalo de rechazo para la prueba, y a los posibles valores donde se rechaza hipótesis nula, se les llama región o intervalo de aceptación.

Pruebas de una y dos colas (unilaterales y bilaterales)

La ubicación de la región o intervalo de rechazo depende de si la hipótesis es bilateral o unilateral. Una hipótesis es bilateral cuando la hipótesis alternativa (H_A) es del tipo “no es igual” ($\neq$); y es unilateral cuando la alternativa es del tipo “mayor que” ($>$) o “menor que” ($<$).

Tres criterios de rechazo o aceptación equivalentes

Por lo menos en las hipótesis para los parámetros más usuales existen tres criterios equivalentes para decidir si se rechaza o no la hipótesis nula. Se consideran equivalentes porque los tres llevan invariablemente a la misma decisión en términos de rechazar o no la hipótesis nula; sin embargo, no proporcionan la misma información adicional sobre la decisión que se está tomando, por lo que en algunas situaciones resulta conveniente emplear un criterio y no otro.

Estadístico de prueba frente a valor crítico

Este método consiste en rechazar H_0 si el estadístico de prueba cae en la región de rechazo que está delimitada por el valor crítico. No obstante, se debe tener cuidado de comparar los valores adecuados, dependiendo de la hipótesis alternativa de que se trate. Cuando se hacen los cálculos en forma manual este criterio es el que más se usa; sin embargo, es el que proporciona menos información adicional acerca de la decisión tomada.

Significancia observada frente a significancia predefinida

La significancia predefinida que se denota con α es el riesgo máximo que se está dispuesto a correr por rechazar H_0 indebidamente (error tipo I). Mientras que la significancia observada o calculada, también conocida como p-value o valor p, es el área bajo la distribución de referencia que está más allá del valor del estadístico de prueba. La expresión “más allá del estadístico de prueba” significa, por ejemplo en la prueba T bilateral, el área bajo la curva fuera del intervalo $[-t_0, t_0]$, con $t_0 > 0$, es decir:

$$\text{valor} - p = P(T < -t_0) + P(T > +t_0)$$

Donde T es una variable que tiene una distribución T de Student con $n-1$ grados de libertad. Si la prueba es unilateral de cola derecha, la significancia observada es el área bajo la curva de la distribución a la derecha de t_0 . Pero si la prueba es unilateral de cola izquierda, el área será a la izquierda de $-t_0$. De lo anterior se desprende que H_0 se rechaza si la significancia observada es menor que la significancia predefinida, o sea, si $\text{valor} p < \alpha$.

Este criterio es mejor que el anterior porque la significancia observada se ve como la probabilidad o evidencia a favor de H_0 , por lo tanto, representa una medida de la contundencia con la que se rechaza o no la hipótesis nula. Por ejemplos, si la significancia observada o valor p es igual a 0.0001, entonces solo hay una probabilidad a favor de H_0 de 0.0001, por lo que se rechazaría la hipótesis nula de forma contundente con un riesgo tipo de solo 0.0001, que es menor del que se está dispuesto a admitir, típicamente $\alpha=0.05$.

En otras palabras, un valor $p=0.0001$ indica que el valor observado del estadístico de prueba prácticamente no tiene ninguna posibilidad de ocurrir si la hipótesis nula es verdadera, lo que lleva a concluir de manera contundente que la hipótesis nula debe rechazarse.

Intervalo de confianza

En este método se rechaza H_0 si el valor del parámetro declarado en la hipótesis nula se encuentra fuera del intervalo de confianza para el mismo parámetro. Cuando la hipótesis planteada es de tipo bilateral, se utiliza directamente el intervalo al $100(1 - \alpha)\%$ de confianza. En cambio, si la hipótesis es unilateral, se requiere el intervalo

al $100(1 - 2\alpha) \%$ para que el área bajo la curva, fuera de cada extremo del intervalo, sea igual a α .⁷

2.3 Análisis de varianza (ANOVA) Experimentos con un solo factor

2.3.1 Diseños completamente al azar y ANOVA

Muchas veces, cuando se quiere comparar dos tratamientos, se llega a implementar un diseño completamente al azar, el cual es el más simple de todos los diseños que se utilizan para comparar dos o más tratamientos, dado que solo se consideran dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio. A este diseño se le llama *completamente al azar* porque todas las corridas experimentales se realizan en orden aleatorio completo. De tal forma que, si durante el estudio se hacen en total N pruebas, estas se corren al azar, de manera que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre los tratamientos.

ANOVA de un factor

“De k poblaciones se seleccionan muestras aleatorias de tamaño n . Las k poblaciones diferentes se clasifican con base en un criterio único, como tratamientos o grupos distintos.

En la actualidad el término tratamiento se utiliza por lo general para designar las diversas clasificaciones, ya sean diferentes agregados, analistas, fertilizadores o regiones del país.

Suposiciones e hipótesis del ANOVA de un solo factor

Se supone que las k poblaciones son independientes y que están distribuidas en forma normal con medias $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$, y varianza común σ^2 . Como se indicó en la sección 13.2, estas suposiciones son más aceptables mediante la aleatoriedad. Se desean obtener métodos adecuados para probar las hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k,$$

$$H_1: \text{Al menos dos de las medias no son iguales.}$$

⁷ Gutiérrez, H. y Salazar, R. (2009). “Control estadístico de la calidad y Seis Sigma.” Segunda Edición. Cap.4 pp 72-80 México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Modelo de ANOVA para un solo factor

Cada observación puede escribirse en la forma

$$Y_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij},$$

donde E_{ij} mide la desviación que tiene la observación j -ésima de la i -ésima muestra, con respecto de la media del tratamiento correspondiente. El término E_{ij} representa el error aleatorio y desempeña el mismo papel que los términos del error en los modelos de regresión.

Uso de la prueba F en el ANOVA

El estimado s^2 es no sesgado, independientemente de la veracidad o falsedad de la hipótesis nula (véase el ejercicio de repaso 13.52 de la página 556). Es importante señalar que la identidad de la suma de cuadrados ha hecho la partición no sólo de la variabilidad total de los datos, sino también del número total de grados de libertad. Es decir:⁸

$$nk - 1 = k - 1 + k(n - 1).$$

Análisis de varianza de dos factores

“Al utilizar observaciones repetidas en un diseño completamente aleatorizado, debe considerarse el caso de n réplicas de las combinaciones del tratamiento, determinadas por a niveles del factor A y b niveles del factor B . Las observaciones se podrían clasificar usando un arreglo rectangular, donde los renglones representan los niveles del factor A y las columnas representan los niveles del factor B . Cada combinación de tratamiento define una celda del arreglo. Así, se tienen ab celdas, cada una de las cuales contiene n observaciones. Se denota con y_{ijk} , la k -ésima observación tomada en el i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B . En la tabla 14.1 se muestran las abn observaciones.

⁸ Walpole, Ronald; Myers, Raymond; Myers, Sharon y Ye, Keying (2012). “*Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*.” Novena Edición Cap.13 p.509. Pearson, Educación, Mexico.

Tabla 14.1: Experimento de dos factores con n réplicas

<i>A</i>	<i>B</i>				Total	Media
	1	2	...	<i>b</i>		
1	y_{111}	y_{121}	...	y_{1b1}	$Y_{1..}$	$\bar{y}_{1..}$
	y_{112}	y_{122}	...	y_{1b2}		
	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		
	y_{11n}	y_{12n}	...	y_{1bn}		
2	y_{211}	y_{221}	...	y_{2b1}	$Y_{2..}$	$\bar{y}_{2..}$
	y_{212}	y_{222}	...	y_{2b2}		
	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		
	y_{21n}	y_{22n}	...	y_{2bn}		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
<i>a</i>	y_{a11}	y_{a21}	...	y_{ab1}	$Y_{a..}$	$\bar{y}_{a..}$
	y_{a12}	y_{a22}	...	y_{ab2}		
	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		
	y_{a1n}	y_{a2n}	...	y_{abn}		
Total	$Y_{.1.}$	$Y_{.2.}$	...	$Y_{.b.}$	$Y_{...}$	
Media	$\bar{y}_{.1.}$	$\bar{y}_{.2.}$	...	$\bar{y}_{.b.}$		$\bar{y}_{...}$

Modelo e hipótesis para el problema de dos factores

Cada observación de la tabla 14.1 se puede escribir en la siguiente forma:

$$y_{ijk} = \mu_{ij} + \epsilon_{ijk},$$

donde ϵ_{ijk} mide las desviaciones de los valores y_{ijk} observados en la (ij) -ésima celda a partir de la media de la población μ_{ij} . Si $(\alpha\beta)_{ij}$ denota el efecto de la interacción del i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B , α_i el efecto del i -ésimo nivel del factor A , β_j el efecto del j -ésimo nivel del factor B , y μ la media conjunta, escribimos

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij},$$

Las 3 hipótesis por probar son las siguientes:⁹

⁹ Walpole, Ronald; Myers, Raymond; Myers, Sharon y Ye, Keying (2012). "Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias." Novena Edición Cap.14 pp.565-567. Pearson, Educación, Mexico.

1. $H'_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0$,
 H'_1 : Al menos una de las α_i no es igual a 0.
2. $H''_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$,
 H''_1 : Al menos una de las β_j no es igual a 0.
3. $H'''_0: (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ab} = 0$,
 H'''_1 : Al menos una de las $(\alpha\beta)_{ij}$ no es igual a 0.

2.3.2 Prueba de Anderson-Darling

“El estadístico de Anderson-Darling (AD) mide qué tan bien siguen los datos una distribución en particular. Por lo general, mientras mejor se ajuste la distribución a los datos, menor será el estadístico AD.

El estadístico AD se utiliza para calcular el valor p para la prueba de bondad de ajuste, que ayuda a determinar qué distribución se ajusta mejor a los datos. Por ejemplo, el estadístico AD se calcula para cada distribución cuando usted realiza Identificación de distribución individual. Los valores p calculados a partir del estadístico ayudan a determinar qué modelo de distribución se debe utilizar para un análisis de capacidad o un análisis de fiabilidad. El estadístico AD también se usa para comprobar si una muestra de datos proviene de una población con una distribución especificada. Por ejemplo, tal vez tenga que comprobar si sus datos cumplen con el supuesto de normalidad para una prueba t.

Las hipótesis para la prueba de Anderson-Darling son:

- H_0 : Los datos siguen una distribución especificada.
- H_1 : Los datos no siguen una distribución especificada.

Si el valor p para la prueba de Anderson-Darling es menor que el nivel de significancia seleccionado (por lo general 0.05 o 0.10), concluya que los datos no siguen la distribución especificada.

Estadístico de prueba

$$A^2 = -n - S$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln F(Y_i) + \ln (1 - F(Y_{n+1-i}))]$$

Donde n es el número de observaciones, $F(Y)$ es la distribución de probabilidad acumulada normal con media y varianza especificadas a partir de la muestra y Y_i son los datos obtenidos en la muestra, de menor a mayor.”¹⁰

¹⁰ Prieto D. y Achury N. (2023) “Pruebas de normalidad” Pubs R. Universidad de Tolima. Recuperado de <https://rpubs.com/Dayhambravo/prueba>

3 DESARROLLO

3.1 Cambio de tamaño de partícula de CaCl_2

Debido a la escasez del desecante de cloruro de calcio (CaCl_2) de tamaño 2-6 mm, y para mantener la integridad y calidad del servicio ofrecido por el Departamento de Evaluación y Pruebas, es importante considerar una alternativa de otro tamaño de partícula que tenga una mayor disponibilidad en el mercado.

Este cambio requiere una evaluación rigurosa y sistemática para asegurar que no introduzca una variación significativa en el proceso. Específicamente, se deben realizar estudios preliminares que incluyan pruebas de hipótesis estadísticas, análisis de varianza (ANOVA), para comparar los efectos de los diferentes tamaños de partículas en las variables de interés.

Estos estudios permitirán determinar si el cambio en el tamaño de partícula del desecante de cloruro de calcio puede implementarse sin comprometer la conformidad con la norma mexicana NMX-C-210-ONNCCE-2013 y sin afectar la calidad del servicio ofrecido por el Departamento de Evaluación y Pruebas.

3.2 Determinación de la velocidad de transmisión de vapor de agua

Para la determinación de la velocidad de transmisión de vapor de agua, los protocolos de prueba están estipulados por la norma mexicana NMX-C-210-ONNCCE-2013. Esta norma específica el tamaño de partícula del desecante de cloruro de calcio que se debe de utilizar según los lineamientos. Es esencial adherirse a estos lineamientos para garantizar la precisión y la validez de los resultados de las pruebas. La conformidad con estas normas, es crucial para mantener la acreditación y la reputación del Departamento de Evaluación y Pruebas.

3.2.1 Método de prueba para determinar velocidad de transmisión de vapor de agua (VTA) permeancia y permeabilidad al vapor de agua.

A grandes rasgos, el método para la determinación de la velocidad de transmisión de vapor de agua, consta de los siguiente:

Esta prueba se realiza con 5 especímenes de ensayo de material termoaislante. Cada espécimen se corta de forma circular, de tal forma que coincida de forma exacta en el cristizador que se usará, posteriormente se determina el espesor promedio de cada uno de los especímenes, el cual no debe de ser menor de 3 mm ni mayor de 80 mm

Una vez que se tienen los especímenes cortados, en los cristizadores que se usarán, se coloca en el fondo de cada cristizador cloruro de calcio, el cual debe de tener un espesor de 20 mm aproximadamente y se procede a colocar el espécimen en el cristizador y se aplica un sellador en toda la orilla de la circunferencia del espécimen, de tal forma que todo el montaje del ensayo quede

sellado completamente y no permita la entrada de humedad.

Una vez que se tiene todo el montaje del espécimen, se pesan cada uno de los montajes y se llevan a una cámara de temperatura, la cual se encuentra con las condiciones de temperatura y humedad constantes que se requiere para la realización de la prueba.

Posteriormente, en intervalos de 24 horas se sacan de la cámara de temperatura y se pesa cada uno de los montajes sin quitar el espécimen de ensayo. Una vez que se tiene el registro de los pesos de cada montaje, se regresan a la cámara de temperatura. La prueba concluye cuando se observa que tres puntos caen en una línea recta gráficamente.

Al final, con los resultados obtenidos se realiza el cálculo correspondiente por la diferencia de peso, para la determinación de la velocidad de transmisión de vapor de agua (VTA), la permeancia y la permeabilidad al vapor de agua.

3.3 Estudios iniciales

Para el análisis comparativo, se recolectaron datos de manera aleatoria de seis materiales distintos: Poliestireno Expansible (PES) Poliuretano, Yeso, Estuco, Impermeabilizante Prefabricado e Impermeabilizante acrílico.

De cada material, se extrajeron cuatro muestras. Dos de estas muestras se sometieron a ensayos con desecante de cloruro de calcio de tamaño 2-6 mm, y las dos muestras restantes con desecante de tamaño inferior a 2 mm

Es importante destacar que, aunque las muestras provienen del mismo material, se seleccionaron de diferentes folios, ya que presentan variaciones en sus densidades

El análisis comparativo se estructura en tres partes: Velocidad de transmisión de vapor de agua, Permeancia y Permeabilidad. Los valores comparativos correspondientes para cada prueba se presentan en las Tablas N°1, N°2 y N°3 (véase inciso A de Anexos).

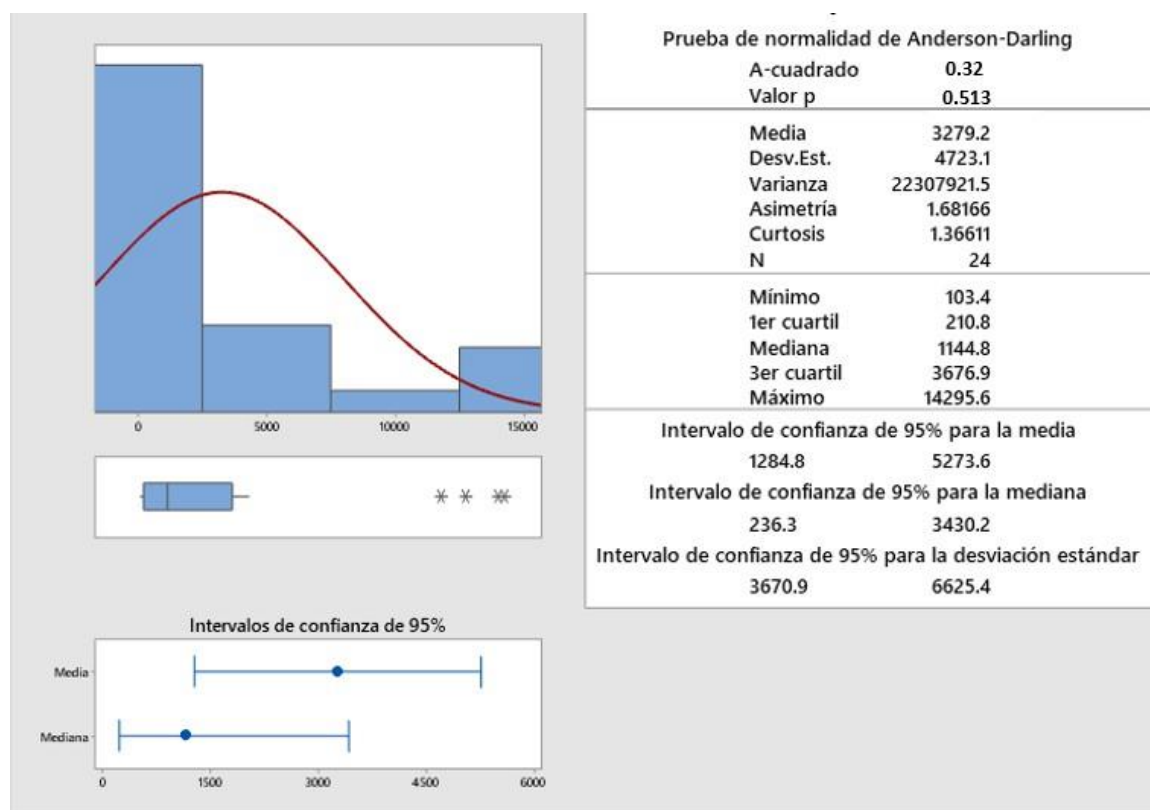
3.3.1 Análisis de distribución de datos sobre velocidad de transmisión de vapor de agua

Para describir la distribución de los datos obtenidos, se realizó un análisis descriptivo combinado de los resultados correspondientes a cada tamaño de partícula de cloruro de calcio. Este análisis implicó la determinación de medidas estadísticas específicas, incluyendo las medidas de tendencia central y las medidas de dispersión.

Las medidas de tendencia central, como la media, la mediana y la moda, proporcionan información sobre el valor central alrededor del cual tienden a agruparse los datos. Las medidas de dispersión, como la varianza, la desviación

estándar y el rango, ofrecen una visión de la variabilidad o dispersión de los datos alrededor de esta medida central (véase inciso B de Anexos para más detalles de los resultados de medidas de tendencia central y medidas de dispersión)

Para visualizar la distribución de los datos y entender cómo se agrupan, se generó un histograma del tamaño de partícula del desecante. Este gráfico, permite apreciar de forma gráfica la distribución de los datos y facilita la identificación de patrones y tendencias en los mismos (véase ilustración 1.1)



(Ilustración 1.1 Histograma sobre velocidad de transmisión de vapor de agua promedio)

El histograma muestra una barra prominente en el lado izquierdo, lo que indica que la mayoría de los puntos de datos caen dentro del rango más bajo. La curva de distribución normal superpuesta sugiere que los datos no siguen una distribución normal, ya que la curva no sigue la forma de campana típica.

En la tabla de datos estadísticos, proporciona medidas como la media (3279.2), la desviación estándar (4723.1), la varianza (22307921.5), la curtosis (1.36611) y el resultado de la prueba de normalidad (3.45). Estos valores proporcionan información detallada sobre la dispersión, la forma y la normalidad de los datos.

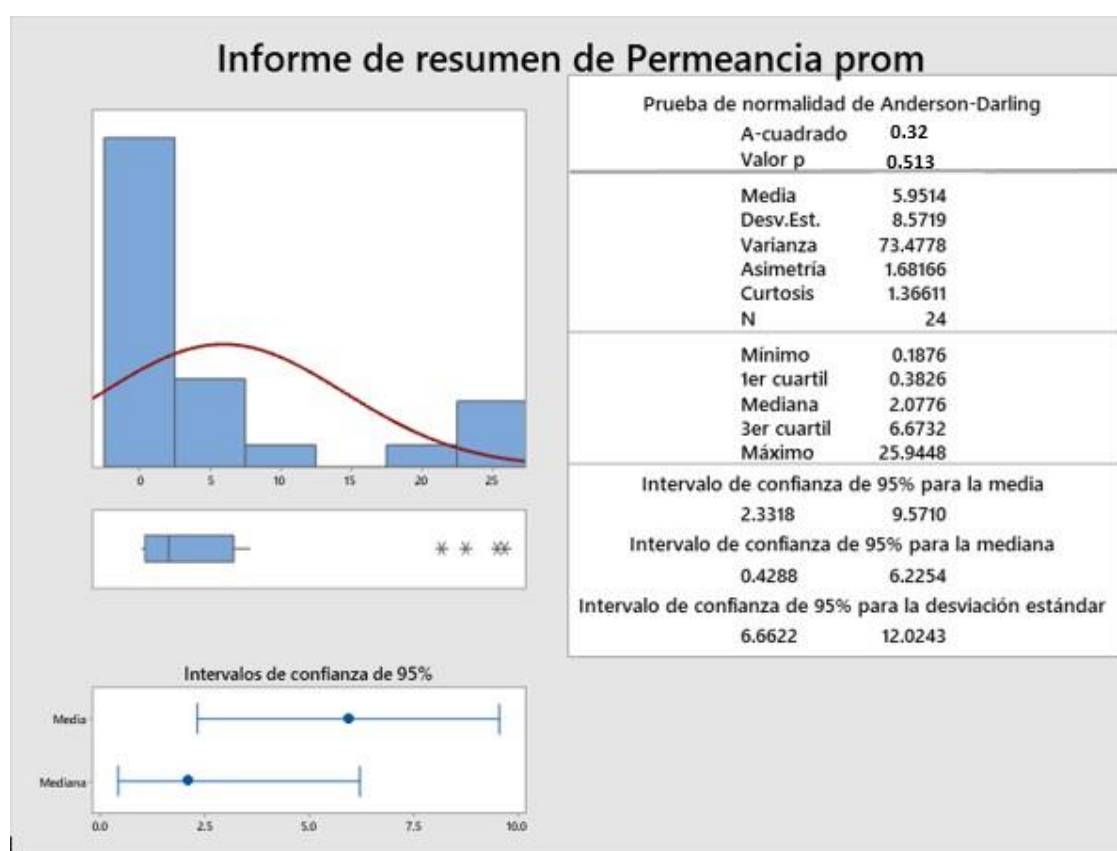
En el diagrama de caja se visualiza la mediana, los cuartiles y los posibles valores atípicos del conjunto de datos. Por lo que hay un amplio rango entre los cuartiles, lo que indica variabilidad en la distribución de los datos. Y al tener una desviación

estándar alta, indica que los datos están bastante dispersos alrededor de la media.

3.3.2 Análisis de distribución de datos sobre permeancia al vapor de agua

En la parte para la determinación de la permeancia al vapor de agua, de igual forma, para determinar cómo es la distribución de los datos para esta prueba, se hace un análisis descriptivo, para tener un resumen de los datos (véase inciso C de Anexos para más detalles).

Al igual que en la prueba de VTA, la distribución de los datos sobre permeancia es atípica y nuestra variación, lo que indica que el proceso no es estable. Esto puede deberse a la variabilidad en el tamaño de partícula del descante. (véase ilustración 1.2)



(Ilustración 1.2 Histograma de permeancia promedio)

El histograma muestra una distribución sesgada de los datos, con una mayor frecuencia de valores bajos. La curva superpuesta sugiere que los datos no siguen una distribución normal, ya que no se ajusta a la forma de campana típica.

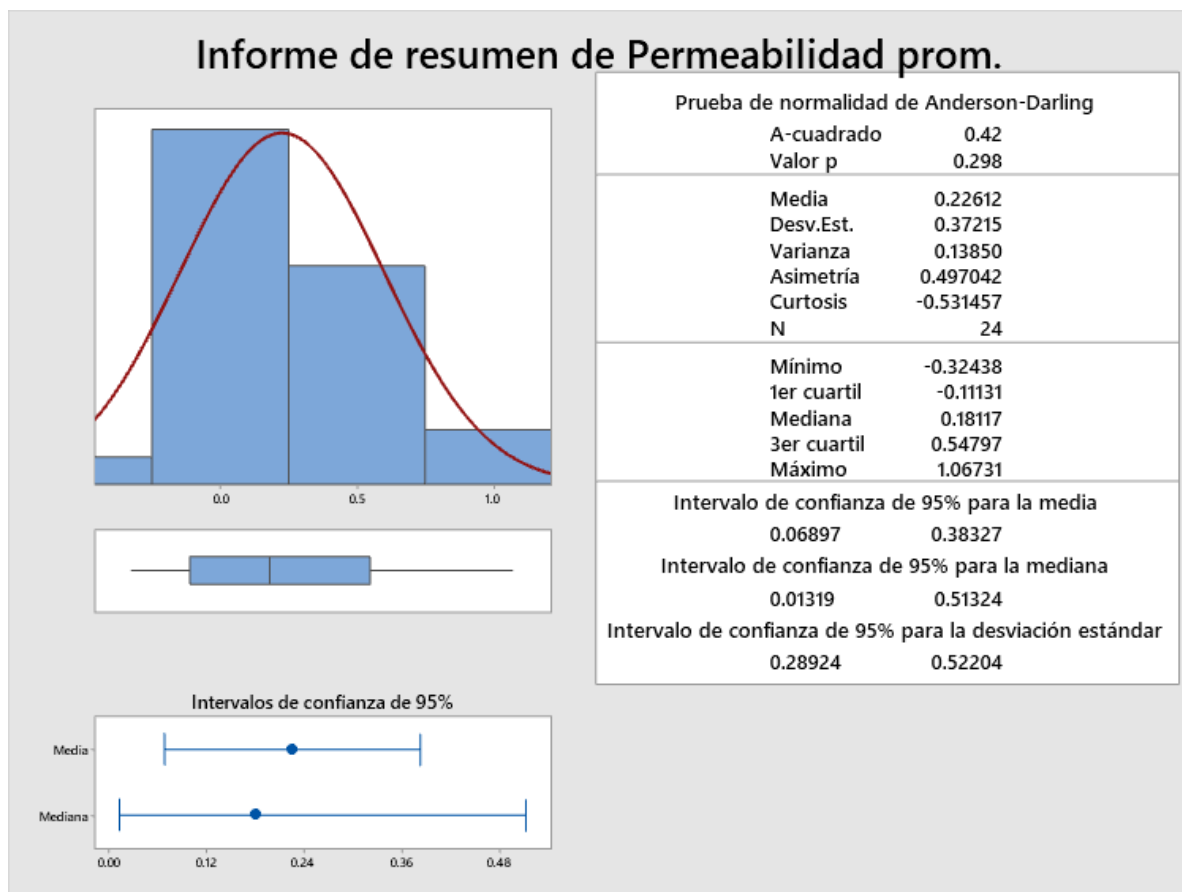
En el diagrama de caja, se muestra una amplia gama de valores, con una mediana de 2.0776. Los cuartiles primero y tercero son 0.3826 y 6.6732 respectivamente, lo que indica una dispersión de los datos.

3.3.3 Análisis de distribución de datos sobre permeabilidad al vapor de agua

Para esta prueba, en este caso, la distribución de los datos es atípica y muestra variación, lo que indica que el proceso no es estable. Esto puede deberse a la variabilidad en el tamaño de las partículas del desecante.

Como se observa, el histograma (véase ilustración 1.6) muestra una distribución sesgada de los datos, con una mayor frecuencia de valores bajos. La curva superpuesta sugiere que los datos no siguen una distribución normal. (véase inciso D para más detalles).

Mientras que en el diagrama de caja se muestra una amplia gama de valores, con una mediana de 0.06226. Los cuartiles primero y tercero son 0.00200 y 0.19598 respectivamente, lo que indica una considerable dispersión de los datos.



(Ilustración 1.3 Histograma para Permeabilidad promedio)

3.3.4 Análisis descriptivo por tipo de material

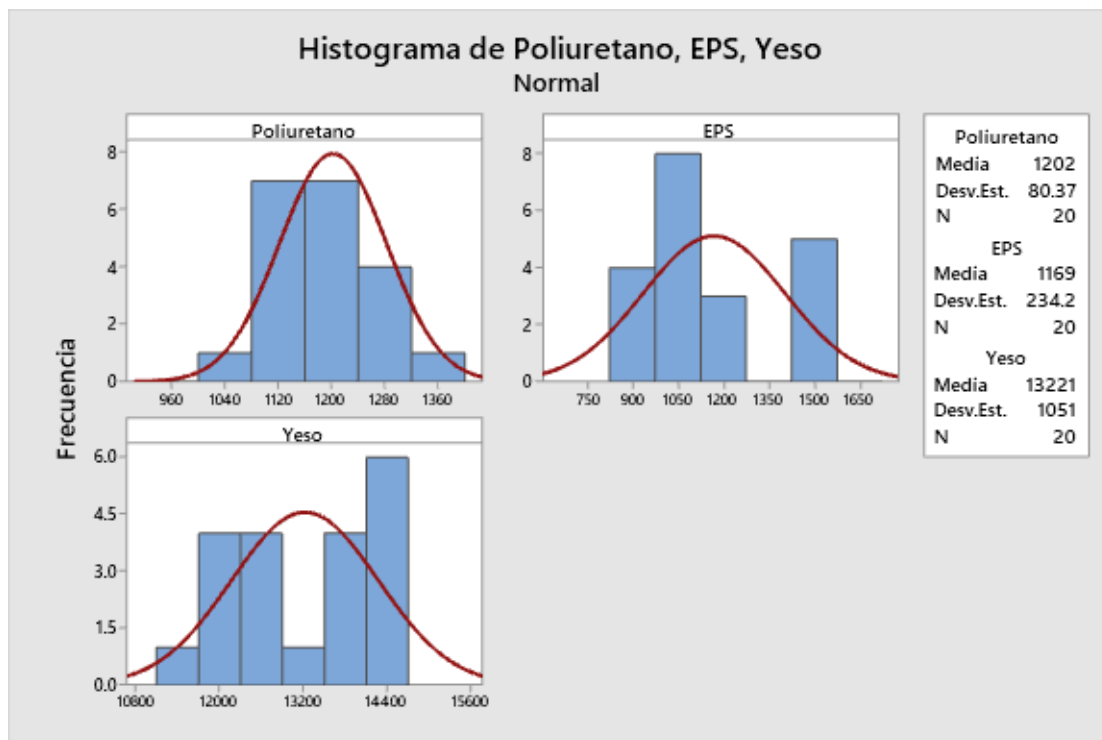
Al realizar la distribución de los datos de forma global, se observa que los datos se encuentran muy dispersos con respecto a la media, y que la variación entre ellos es evidente, por lo que es necesario analizar de forma independiente el comportamiento que presentan los materiales al usar un tamaño de partícula

diferente.

Analizando los histogramas de cada uno de los materiales (véase ilustraciones 1.4 y 1.5), para el poliuretano, la distribución de los datos parece ser bastante simétrica con un pico alrededor de 1200. La media es de 1212, lo que indica que, en promedio, las mediciones para el poliuretano están alrededor de este valor. La desviación estándar es 30.2, a lo que la mayoría de los datos se encuentran dentro de ± 30.2 unidades de la media. (véase inciso E para más detalles).

EPS: la distribución de los datos es menos simétrica en comparación con el poliuretano, con la mayor frecuencia entre 750 y 1000. La media es 864, lo que indica que los datos están alrededor de este valor. La desviación estándar es 114.9, por lo que se tiene una mayor variabilidad en los datos en comparación con el poliuretano.

Yeso: La distribución de los datos es también asimétrica con la mayoría de los datos concentrados alrededor del centro de la gráfica. La media es 1221, lo que indica que, en promedio, las mediciones para el yeso están alrededor de este valor. La desviación estándar es 105.1, lo que sugiere que hay una variación considerable en las mediciones del yeso.



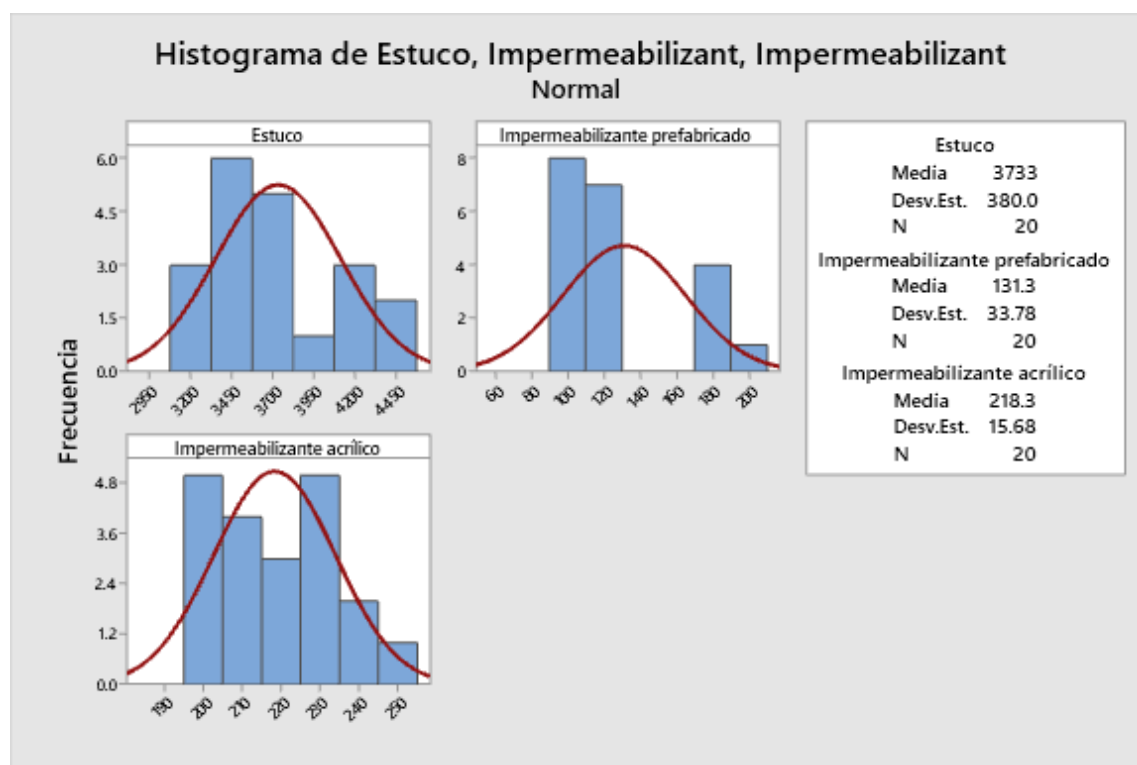
(Ilustración 1.4 Histogramas de distribución de datos para poliuretano, EPS y yeso)

Estuco: La distribución de los datos parece estar sesgada a la derecha, con la mayoría de la frecuencia concentrada en el lado izquierdo. La media es 3733, lo que

indica que, en promedio, las mediciones para el estuco están alrededor de este valor. La desviación estándar es 380.0, lo que sugiere que hay una variación considerable en las mediciones del estuco.

Impermeabilizante prefabricado: este conjunto de datos parece tener una distribución normal, pero se tiene un comportamiento atípico en los datos. La media es de 131.3 y la desviación estándar es de 33.78, lo que indica una mayor variabilidad en los datos.

Impermeabilizante acrílico: los datos parecen estar más uniformemente distribuidos que el impermeabilizante prefabricado, pero aun muestran un ligero sesgo a la derecha. La media es de 218.3 y la desviación estándar es de 15.68, lo que indica una variabilidad moderada en los datos.



(Ilustración 1.5 Histogramas de distribución de datos para estuco, impermeabilizante prefabricado e impermeabilizante acrílico)

4. RESULTADOS

4.1 Estudios iniciales

En el análisis estadístico realizado, se observó una variación en los valores debido a las características distintivas de cada material utilizado. Se identificaron y analizaron posibles causas de esta variación, utilizando el método de las 6 M para construir un diagrama de causa y efecto. (véase ilustración 1.6).

Las 6 M representan: Mano de Obra, Máquinas, Materiales, Medición, Método y Medio Ambiente. Al examinar cada categoría, se determinó que la principal causa de la variación en los datos es atribuible a los materiales. Cada material posee propiedades únicas como densidad, porosidad, conductividad y estructura, que pueden variar.

Esta variación en los materiales es considerada una causa común en el proceso, es decir, es una variación inherente o esperada en el proceso, dado que las características de los materiales no siempre serán constantes. Por lo tanto, se concluye que la variabilidad en los resultados es principalmente debido a las diferencias intrínsecas en los materiales utilizados en el proceso.

Diagrama causa efecto

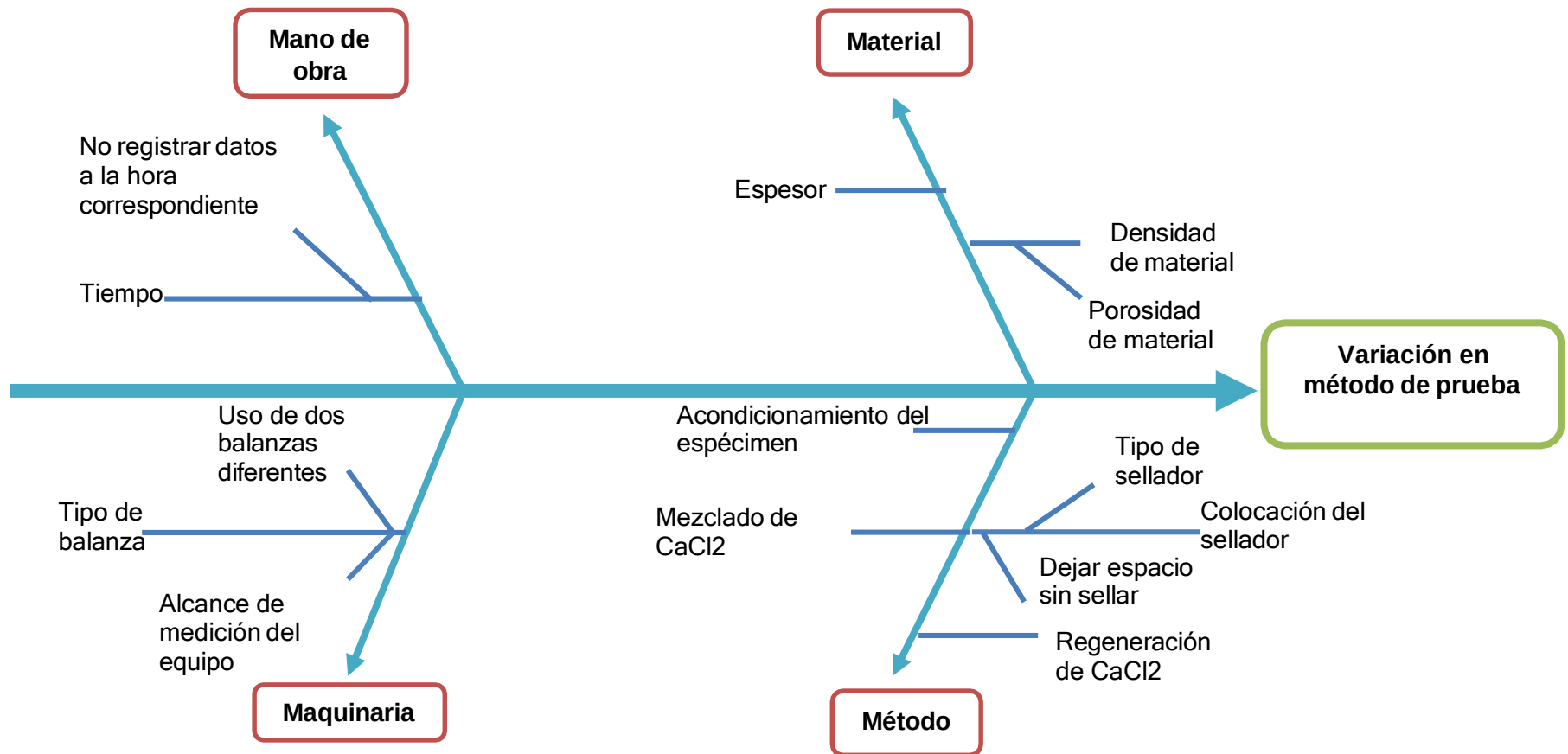


Ilustración 1.6 Diagrama causa efecto para variación en método de prueba

4.2 Análisis comparativo de resultados

En el estudio en cuestión, se realizó un análisis de las variables para comparar las medias de los tratamientos. Se identificaron dos tipos de variables: controlables y no controlables.

Las variables controlables incluyen las condiciones de humedad y temperatura a las que se someten los materiales, así como el operario que realiza la prueba. A pesar de que la prueba puede ser realizada por diferentes operarios, se encontró que esto no afecta los resultados, lo que evidencia la robustez del experimento.

Las variables no controlables comprenden los materiales y el tamaño de partícula del cloruro de calcio. Estos factores son cruciales para determinar la variable de respuesta.

La variable de respuesta en este estudio es la determinación de la existencia o no de una diferencia significativa entre los diferentes tamaños del desecante de cloruro de calcio. Este análisis permitirá validar o refutar la hipótesis de que no existe diferencia entre un tamaño y otro del desecante.

Por lo tanto, el estudio se centra en el análisis de la variabilidad en los tamaños del desecante de cloruro de calcio y cómo puede influir en los resultados del experimento. La identificación y análisis de estas variables son fundamentales para entender su impacto en el proceso y determinar los factores que deben ser considerados para el experimento (véase ilustración 1.7).

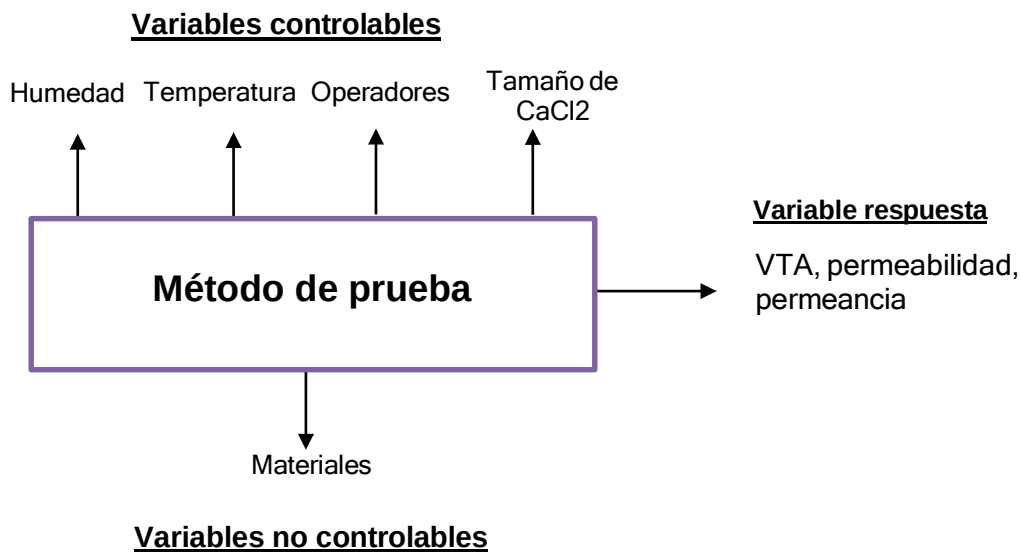


Ilustración 1.7 Modelo general de método de prueba para la determinación de VTA

Prueba de hipótesis

Hipótesis Nula (H₀): Las medias de los resultados de VTA, permeancia y permeabilidad son las mismas para las partículas de tamaño 2-6 mm y las partículas de tamaño menor a 2 mm. Esto implica que no hay diferencia significativa en el tamaño de las partículas entre estos dos grupos.

Hipótesis Alternativa (H₁): Las medias de los resultados de VTA, permeancia y permeabilidad son diferentes para las partículas de tamaño 2-6 mm y las partículas de tamaño menor a 2 mm. Esto sugiere que existe una diferencia significativa en el tamaño de las partículas entre estos dos grupos.

Estas hipótesis se pueden probar utilizando un análisis de varianza (ANOVA). Si la hipótesis nula se rechaza, entonces podemos concluir que hay una diferencia significativa en el tamaño de las partículas entre los dos grupos. Si no se rechaza la hipótesis nula, entonces no tenemos suficiente evidencia para afirmar que hay una diferencia.

4.3 Análisis comparativo para VTA

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores para comparar los dos tamaños de partícula del cloruro de calcio. Los resultados de este análisis se presentan en las Tablas N°1 y N°2.

Dado que las muestras presentan diferentes densidades, se realizaron dos arreglos de ANOVA. Las muestras se agruparon según su densidad correspondiente para facilitar la comparación y determinar si existen diferencias significativas entre las medias. (véase inciso F para más detalles sobre análisis de varianza).

Por lo tanto, este estudio emplea un enfoque técnico para analizar la variabilidad en los tamaños de partícula del cloruro de calcio y su impacto en los resultados del experimento. La utilización de ANOVA de dos factores permite una evaluación detallada y precisa de las diferencias entre las medias de los grupos de muestras.

Arreglo ANOVA 1

Folio	Tipo de material	CaCl ₂	
		2-6 mm	<2 mm
1770M4	EPS	1050.36	939.10
1767	Poliuretano	1264.89	1141.22
1737M2	Yeso	11815.92	14022.68
1765	Estuco	3468.69	3422.16
1793	Imper prefabricado	128.14	107.95
1787M2	Imper acrilico	206.34	203.95

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Material	243654402.4	5	48730880.5	113.414851	3.84338E-05	5.05032906
CaCl ₂	301695.9657	1	301695.966	0.70215852	0.440264469	6.60789097
Error	2148346.535	5	429669.307			
Total	246104444.9	11				

Tabla N°1 Análisis de varianza de dos factores para VTA

- Material: El valor de probabilidad es 0.0000384338. Este valor es muy pequeño, lo que sugiere que hay un efecto estadísticamente significativo del material en la variable que se está probando en este análisis de ANOVA.
- CaCl₂: El valor de probabilidad es 0.440246. Este valor es mucho mayor y probablemente por encima de cualquier nivel de significancia convencional (por ejemplo, 0.05). Esto sugiere que CaCl₂ no tiene un efecto estadísticamente significativo en la variable dependiente.

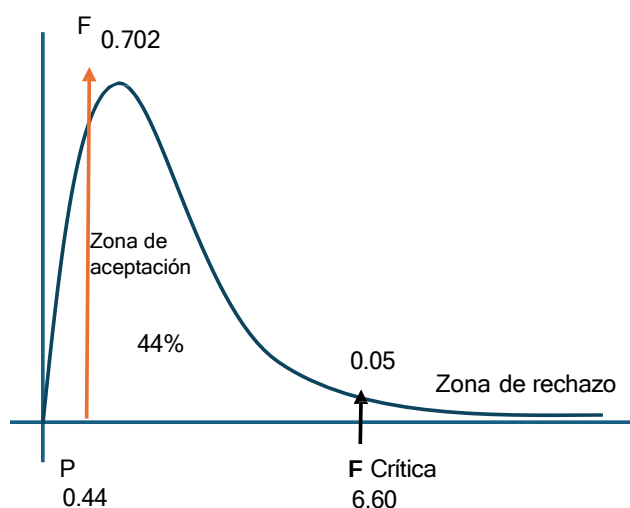


Ilustración 1.8 Gráfica ANOVA de arreglo 1

El valor f de factor analizado, nos da una cifra de 0.70, si este lo ubicamos en la gráfica (ilustración 1.8) estaría del lado del área de aceptación y representaría 44% de probabilidad. Lo que indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa en este grupo en comparación con los demás.

Arreglo ANOVA 2

Folio	Tipo de material	CaCl ₂	
		2-6 mm	<2 mm
1770M3P	EPS	1538.80	1148.33
1780P	Poliuretano	1261.71	1140.77
1737M3P	Yeso	12750.84	14295.59
1765M2P	Estuco	3746.37	4295.71
1756P	Imper prefabricado	185.59	103.37
1787M3P	Imper acrilico	224.26	238.82

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Material	265130964.1	5	53026192.8	213.85433	7.98858E-06	5.05032906
CaCl ₂	191271.8291	1	191271.829	0.77139818	0.419981134	6.60789097
Error	1239773.653	5	247954.731			
Total	266562009.6	11				

Tabla N°2 Análisis de varianza de dos factores

- Material: El valor de p para 'Material' es muy pequeño (<0.0001), lo que indica que hay una diferencia significativa en las medias de los grupos de 'Material'. Esto significa que el material tiene un efecto significativo en la variable dependiente.
- CaCl₂: El valor de p para 'CaCl₂' es bastante grande (0.449813341), lo que indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que las medias de los grupos de 'CaCl₂' son iguales. Esto significa que 'CaCl₂' no tiene un efecto significativo en la variable dependiente.

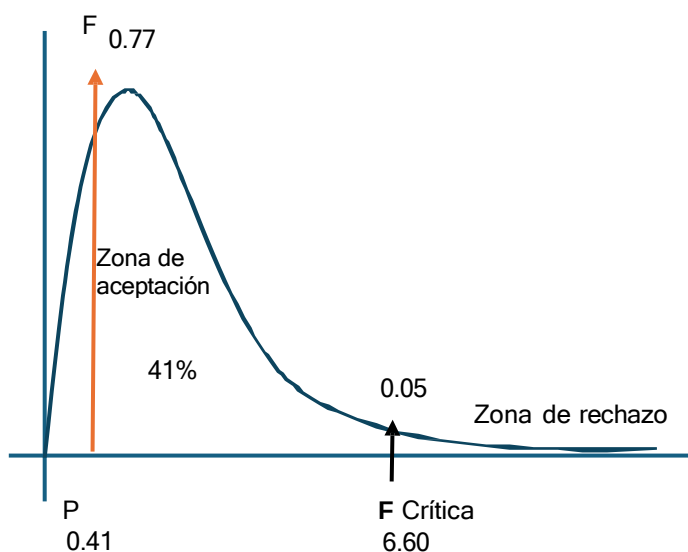


Ilustración 1.9 Gráfica ANOVA de arreglo 2

El valor f de factor analizado, nos da una cifra de 0.77, si este lo ubicamos en la gráfica (ilustración 1.9) estaría del lado del área de aceptación y representaría 41% de probabilidad. Lo que indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa en este grupo en comparación con los demás.

El análisis de varianza (ANOVA) de dos factores revela que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los datos correspondientes al tamaño de partícula del desecante de cloruro de calcio. Esto implica que la variación en el tamaño de partícula no influirá significativamente en la determinación del VTA. Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que el tamaño de partícula del cloruro de calcio no es un factor crítico en este contexto.

En cuanto a los materiales, como se esperaba, sí existe una diferencia significativa. Basándonos en los análisis previos y en la evaluación de las causas potenciales identificadas, los materiales siempre presentarán variaciones debido a sus propiedades y características únicas. Esta variabilidad es esperada y se refleja en los resultados del ANOVA, donde se rechaza la hipótesis nula, indicando que las diferencias entre los materiales son estadísticamente significativas.

4.3.1 Análisis de varianza por material

Para tener un análisis más detallado de los materiales y ver cuál de los materiales es el que llega a ser diferente entre sí, se aplicó un análisis de varianza ANOVA para cada material y determinar cuál o cuáles son los materiales presentan una diferencia significativa.

Análisis de varianza para Poliuretano

En este caso el poliuretano, al analizar la tabla N°3 de este material, la tabla ANOVA sugiere que hay una diferencia significativa entre los dos tamaños de partículas de cloruro de calcio (CaCl_2). Al observar la columna correspondiente a la probabilidad de obtener un valor F tan extremo como el observado, suponiendo que no hay diferencia entre los tamaños de partículas. Un valor muy pequeño (0.000172545 en este caso) sugiere que es muy improbable que la diferencia observada entre los tamaños de partículas se deba al azar, lo que indica que hay una diferencia significativa entre los tamaños de partículas.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	14960.2933	1	14960.2933	5794.10182	0.000172545	18.5128205
Dentro de las muestras	5.1639732	2	2.5819866			
Total	14965.4572	3				

Tabla N°3 Análisis de varianza de un factor para Poliuretano

Para EPS, yeso, estuco, impermeabilizante prefabricado e impermeabilizante acrílico, al analizar las tablas del análisis de varianza, en este caso para estos materiales, se acepta la hipótesis nula dado a que no existe una diferencia significativa entre las medias de datos de cada material, (véase tabla N°4, N°5, N°6, N°7 y N°8) a pesar de que en los estudios iniciales se presentaba una variación entre los datos, el proceso se puede considerar como estable, debido a que el desecante no es el principal factor que afecte en los resultados de las pruebas, sino más bien, la variación se presenta por la diferencia de los materiales dado a sus características.

Sin embargo, para el yeso, aunque el análisis ANOVA muestra que no hay diferencia significativa en las medias de los datos, podría indicar que el yeso al igual que los otros materiales, no se ve significativamente afectado por el desecante. Pero dado a que el valor de probabilidad entre las muestras es mayor que 0.05, lo que nos indica que está cerca del límite, pero se acepta la hipótesis nula ya que no existen pruebas suficientes para concluir que hay diferencias significativas. (véase inciso G de Anexos para detalles de análisis ANOVA)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	62935.0045	1	62935.0045	0.89158733	0.444717754	18.5128205
Dentro de las muestras	141175.188	2	70587.5939			
Total	204110.192	3				

Tabla N°4 Análisis de varianza de un factor para EPS

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	3518466.63	1	3518466.63	14.8370584	0.061269791	18.5128205
Dentro de las muestras	474280.891	2	237140.445			
Total	3992747.52	3				

Tabla N°5 Análisis de varianza de un factor para Yeso

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	63206.4057	1	63206.4057	0.30091246	0.63836535	18.5128205
Dentro de las muestras	420098.299	2	210049.149			
Total	483304.705	3				

Tabla N°6 Análisis de varianza de un factor para Estuco

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	2621.93682	1	2621.93682	3.15688366	0.217587786	18.5128205
Dentro de las muestras	1661.09183	2	830.545913			
Total	4283.02865	3				

Tabla N°7 Análisis de varianza de un factor para Impermeabilizante prefabricado

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	37.0436002	1	37.0436002	0.09641225	0.785549153	18.5128205
Dentro de las muestras	768.441769	2	384.220884			
Total	805.485369	3				

Tabla N°8 Análisis de varianza de un factor para Impermeabilizante acrílico

4.4 Análisis comparativo para permeancia al vapor de agua mediante ANOVA de dos factores

Para determinar si el tamaño del desecante afecta significativamente en la parte de la prueba para la determinación de permeancia al vapor de agua, mediante el análisis de varianza de dos factores, se hicieron las comparaciones de las medias de los datos comparando tanto el tamaño de partícula de cloruro de calcio, como los materiales. Los resultados del análisis de varianza se muestran en las tablas N°9 y N°10, que corresponden a los resultados de los dos arreglos ANOVA para esta prueba.

Arreglo ANOVA 1

Folio	Tipo de material	CaCl ₂	
		2-6 mm	<2 mm
1770M3P	EPS	2.79	2.08
1780P	Poliuretano	2.30	2.07
1737M3P	Yeso	21.44	25.45
1765M2P	Estuco	6.30	6.21
1756P	Imper prefabricado	0.34	0.19
1787M3P	Imper acrílico	0.37	0.37

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Material	792.2497641	5	158.449953	103.672315	4.79688E-05	5.05032906
CaCl ₂	0.669251376	1	0.66925138	0.43788488	0.53741825	6.60789097
Error	7.641864346	5	1.52837287			
Total	800.5608798	11				

Tabla N°9 Análisis de varianza de dos factores para permeancia

Material: El valor de p para 'Material' es muy pequeño (<0.0001), lo que indica que hay una diferencia significativa en las medias de los grupos de 'Material'. Esto significa que el material tiene un efecto significativo en la variable dependiente.

CaCl₂: El valor de p para 'CaCl₂' es bastante grande (0.53741825), lo que indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que las medias de los grupos de 'CaCl₂' son iguales. Esto significa que 'CaCl₂' no tiene un efecto significativo en la variable dependiente.

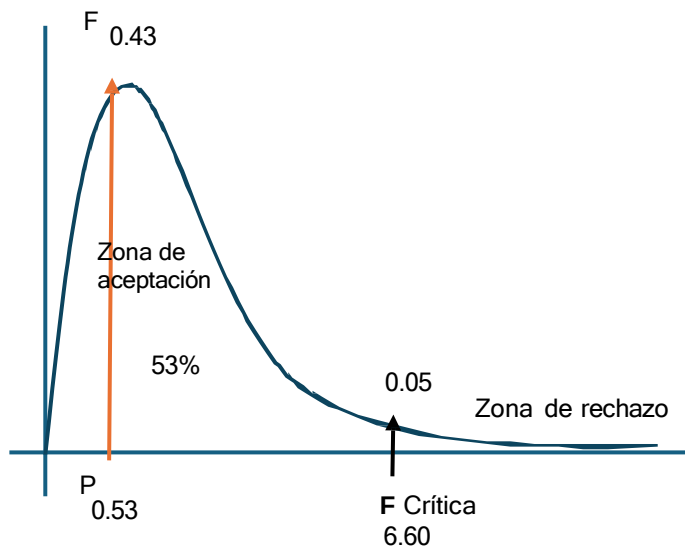


Ilustración 1.10 Gráfica ANOVA de arreglo 1

El valor f de factor analizado, nos da una cifra de 0.43, si este lo ubicamos en la gráfica (ilustración 1.10) estaría del lado del área de aceptación y representaría 53% de probabilidad. Lo que indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa en este grupo en comparación con los demás.

Arreglo ANOVA 2

Folio	Tipo de material	CaCl ₂	
		2-6 mm	<2 mm
1770M4	EPS	1.91	1.70
1767	Poliuretano	2.29	2.07
1737M2	Yeso	23.14	25.94
1765	Estuco	6.80	7.80
1793	Imper prefabricado	0.23	0.20
1787M2	Imper acrílico	0.41	0.43

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Material	884.5780901	5	176.915618	250.828854	5.37508E-06	5.05032906
CaCl ₂	0.945779282	1	0.94577928	1.34091459	0.299175869	6.60789097
Error	3.526620145	5	0.70532403			
Total	889.0504895	11				

Tabla N°10 Análisis de varianza de dos factores

Material: El valor de probabilidad para Material es 5.375038E-06. Como este valor es muy pequeño (menor que 0.05), podemos rechazar la hipótesis nula y concluir que hay una diferencia significativa en los grupos de material.

CaCl₂: El valor de probabilidad para CaCl₂ es 0.299175869. Como este valor es mayor que 0.05, no podemos rechazar la hipótesis nula y concluimos que no hay una diferencia significativa en los grupos de CaCl₂.

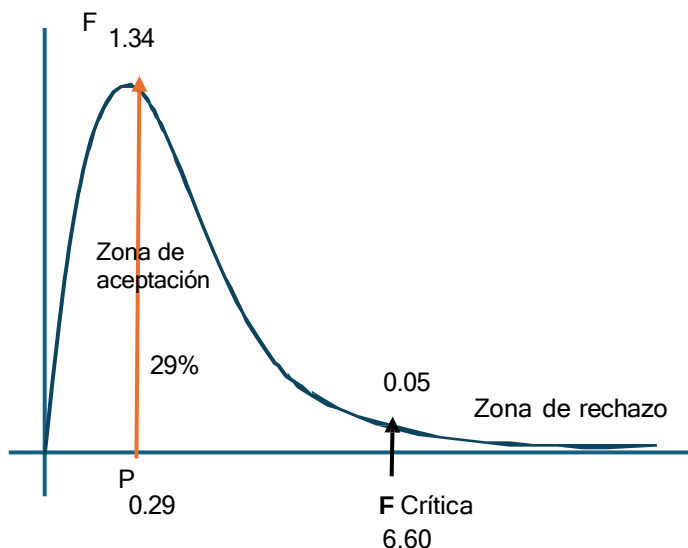


Ilustración 1.11 Gráfica ANOVA de arreglo 2

El valor f de factor analizado, nos da una cifra de 1.34, si este lo ubicamos en la gráfica (ilustración 1.11) estaría del lado del área de aceptación y representaría 29% de probabilidad. Lo que indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa en este grupo en comparación con los demás.

Según los resultados del Análisis de Varianza (ANOVA) presentados, se concluye que no se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos. A lo que, en la prueba de determinación de permeancia al vapor de agua, el tamaño de partícula del desecante no tiene un efecto significativo.

Además, se realizó un ANOVA por tipo de material, donde se observó una diferencia significativa en los materiales. Los resultados son consistentes con los de la prueba anterior (VTA). En el caso del poliuretano, se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que existe una diferencia significativa en las medias de los datos para este material. Sin embargo, para los demás materiales, no se observa una diferencia significativa entre las medias de los datos (véase incisos H, I de Anexos).

4.5 Análisis comparativo para permeabilidad al vapor de agua

Por último, para la parte de permeabilidad al vapor de agua, se aplicó nuevamente un análisis de varianza de dos factores para determinar si se acepta o se rechaza la hipótesis nula. Se muestran los arreglos correspondientes, así como los resultados de análisis de varianza que se pueden observar en las tablas N°11 y N°12.

Arreglo ANOVA 1

Folio	Tipo de material	CaCl ₂	
		2-6 mm	<2 mm
1770M3P	EPS	0.074475514	0.05267315
1780P	Poliuretano	0.063993537	0.06053098
1737M2P	Yeso	0.26969666	0.31802991
1765P	Estuco	0.180595442	0.17407688
1756P	Imper prefabricado	0.001702834	0.00094037
1787M2P	Imper acrílico	0.001931539	0.00196639

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Material	0.131332475	5	0.0262665	92.985788	6.27154E-05	5.05032906
CaCl ₂	2.08617E-05	1	2.0862E-05	0.07385225	0.796672309	6.60789097
Error	0.001412393	5	0.00028248			
Total	0.13276573	11				

Tabla N°11 Análisis de varianza de dos factores

Material: El valor F para “Material” es bastante alto en comparación con su valor crítico F. Esto sugiere que hay una diferencia significativa entre los grupos de “Material”. En otras palabras, el tipo de material tiene un efecto significativo en la variable de respuesta.

CaCl₂: El valor F para “CaCl₂” es más bajo que su valor crítico F. Esto sugiere que no hay una diferencia significativa entre los grupos de “CaCl₂”. En otras palabras, la cantidad de CaCl₂ no parece tener un efecto significativo en la variable de respuesta.

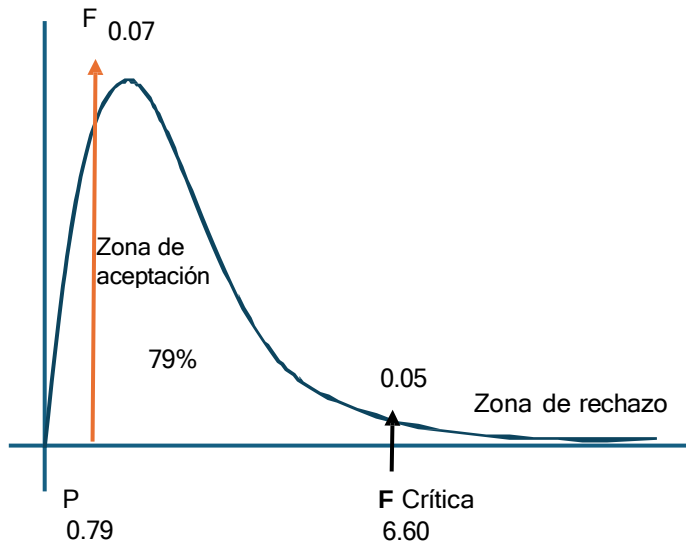


Ilustración 1.12 Gráfica ANOVA de arreglo 1

El valor f de factor analizado, nos da una cifra de 0.07, si este lo ubicamos en la gráfica estaría del lado del área de aceptación y representaría 79% de probabilidad. Lo que indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa en este grupo en comparación con los demás.

Arreglo ANOVA 2

Folio	Tipo de material	CaCl ₂	
		2-6 mm	<2 mm
1770M4	EPS	0.048678921	0.04391946
1767	Poliuretano	0.089402307	0.07903594
1737M2	Yeso	0.290885793	0.32619105
1765	Estuco	0.189109942	0.19826942
1793	Imper prefabricado	0.001188339	0.00100494
1787M2	Imper acrilico	0.002115176	0.00228717

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Material	0.149057594	5	0.029811519	226.327687	6.93934E-06	5.05032906
CaCl ₂	7.16752E-05	1	7.16752E-05	0.54415505	0.49385758	6.60789097
Error	0.000658592	5	0.000131718			
Total	0.149787861	11				

Tabla N°12 Análisis de varianza de dos factores

Material: El valor F para "Material" es bastante alto en comparación con su valor crítico F . Esto sugiere que hay una diferencia significativa entre los grupos de "Material". En otras palabras, el tipo de material tiene un efecto significativo en la variable de respuesta.

CaCl₂: El valor F para “CaCl₂” es más bajo que su valor crítico F. Esto sugiere que no hay una diferencia significativa entre los grupos de “CaCl₂”. En otras palabras, la cantidad de CaCl₂ no parece tener un efecto significativo en la variable de respuesta.

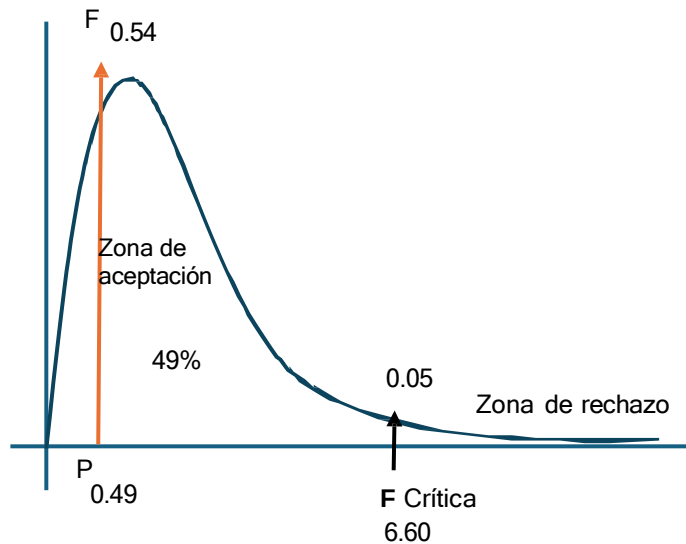


Ilustración 1.13 Gráfica ANOVA de arreglo 2

El valor *f* de factor analizado, nos da una cifra de 0.54, si este lo ubicamos en la gráfica estaría del lado del área de aceptación y representaría 49% de probabilidad. Lo que indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa en este grupo en comparación con los demás

Basándonos en los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la prueba de permeabilidad al vapor de agua, se acepta la hipótesis nula, lo que indica que no existen diferencias significativas entre las medias de los datos. Esto sugiere que el tamaño de partícula del desecante, cloruro de calcio, no tiene un impacto significativo en el proceso.

Por lo tanto, se puede concluir que, al igual que en pruebas anteriores, el tamaño de partícula de CaCl₂ puede ser implementado en la determinación de la velocidad de transmisión de vapor de agua, la permeancia y la permeabilidad al vapor de agua para materiales termoaislantes.

Esto implica que la variabilidad en el tamaño de partícula de CaCl₂ no afecta de manera crítica a estas propiedades clave, permitiendo una mayor flexibilidad al usar un tamaño diferente de CaCl₂. En resumen, los resultados del ANOVA respaldan la implementación de este tamaño de partícula de CaCl₂ inferior a 2 mm en futuras evaluaciones (véase inciso J de Anexos para más detalles).

4.5.1 Análisis de varianza por tipo de material

Ahora en la parte del análisis de varianza por material, en el caso para la determinación de permeabilidad al vapor de agua, para todos los materiales se acepta la hipótesis nula, esto significa que no hay diferencia entre medias de los datos (véase tablas N° 13, N°14, N°15, N°16, N°17 y N°18).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	4.781E-05	1	4.781E-05	0.19355423	0.702951647	18.5128205
Dentro de las muestras	0.00049402	2	0.00024701			
Total	0.00054183	3				

Tabla N°13 Análisis de varianza de un factor para Poliuretano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	0.00017638	1	0.00017638	0.95073263	0.432371399	18.5128205
Dentro de las muestras	0.00037105	2	0.00018552			
Total	0.00054743	3				

Tabla N°14 Análisis de varianza de un factor para EPS

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	0.00174885	1	0.00174885	13.5679232	0.066441907	18.5128205
Dentro de las muestras	0.00025779	2	0.0001289			
Total	0.00200664	3				

Tabla N°15 Análisis de varianza de un factor para Yeso

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	1.7436E-06	1	1.7436E-06	0.01060308	0.927380565	18.5128205
Dentro de las muestras	0.00032889	2	0.00016444			
Total	0.00033063	3				

Tabla N°16 Análisis de varianza de un factor para Estuco

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	2.2367E-07	1	2.2367E-07	3.32743997	0.209692993	18.5128205
Dentro de las muestras	1.3444E-07	2	6.7219E-08			
Total	3.581E-07	3				

Tabla N°17 Análisis de varianza de un factor para Impermeabilizante prefabricado

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	1.0696E-08	1	1.0696E-08	0.31314297	0.632065855	18.5128205
Dentro de las muestras	6.8313E-08	2	3.4157E-08			
Total	7.9009E-08	3				

Tabla N°18 Análisis de varianza de un factor para Impermeabilizante acrílico

Sin embargo, a pesar de que en este caso no haya diferencia entre las medias de cada material, al analizar el comportamiento de estos en cada una de las secciones presentadas anteriormente de cada prueba, en general, las características propias de los materiales, siempre van a variar en cada prueba que se les realice, por lo que esto origina que, para este método de prueba, la variación en cuanto al material siempre estará presente. (véase inciso K de Anexos para más detalles).

4.6 Comparación entre volumen y peso del tamaño de partícula de cloruro de calcio

Es evidente que ambos tamaños, puede llegar a generar discrepancias, dado a que la estructura de ambos tamaños de cloruro de calcio es diferente, el de tamaño 2-6 mm viene en una presentación en escamas, mientras que el de tamaño menor a 2 mm, es de forma granular, por lo que se realizó la comparación entre el volumen y el peso, ya que para la realización de la prueba se debe de tener 20 mm de espesor de cloruro de calcio en los cristalizadores.

Para esto, se pesaron los cristalizadores con cada uno de los dos diferentes tamaños, y se obtuvo que el tanto el peso como el volumen no presenta variación, dado a que el peso de ambos cristalizadores es los mismo.

Del cloruro de calcio de 2-6 mm, su peso es de 55.07 gramos, y el espesor es de 20 mm mientras que el cloruro de calcio menor a 2 mm, presenta un peso de 55.06 gramos y el espesor es igual de 20 mm, por lo que no se tiene una diferencia entre el peso y volumen de ambos tamaños de cloruro de calcio y no afecta en el comportamiento del método de prueba al usar un tamaño de partícula diferente. (véase ilustración 1.49 y 1.50)



Ilustración 1.49 (Cantidad y volumen cloruro de calcio 2-6 mm)

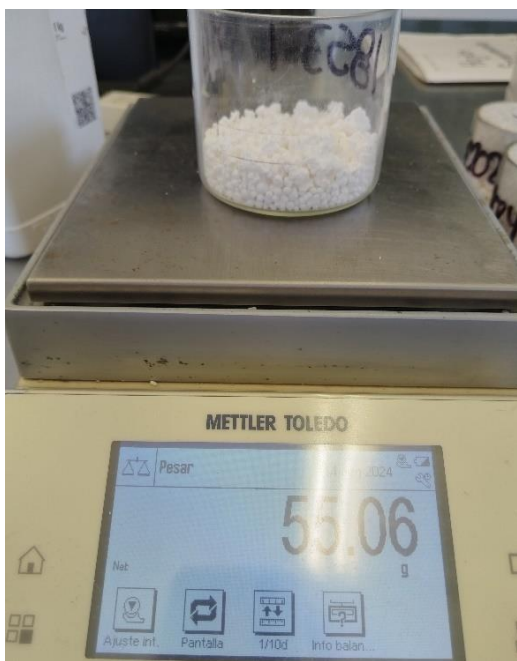


Ilustración 1.50 (Cantidad y volumen cloruro de calcio menor a 2 mm)

5. CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto “Análisis estadístico para realizar comparaciones sobre tamaño de partícula de cloruro de calcio en materiales termoaislantes” permitió la implementación exitosa del nuevo tamaño de desecante de cloruro de calcio, que es menor a 2 mm, como parte integral del método de prueba para la determinación de la velocidad de transmisión de vapor de agua.

Para demostrar que no existía una diferencia significativa entre los dos tamaños de partícula, se realizó un análisis exhaustivo del comportamiento de los tamaños del desecante al ser ensayados con los materiales de muestra del experimento. Este análisis permitió determinar la variabilidad de su comportamiento entre ellos.

Como era de esperar, se observó una variación en cuanto a los materiales, debido a que cada material presenta características únicas, lo que implica que su comportamiento no siempre se mantendrá constante en cada prueba. Esto llevó a la realización de un análisis de varianza ANOVA de un factor de forma independiente para observar por separado qué tan significativa era la variación en cada material.

Basándonos en estos resultados, fue necesario identificar y determinar las causas de variación y analizar el comportamiento de los datos. Como resultado final, se implementó un análisis de varianza ANOVA de dos factores para la comparación de las medias de los tratamientos. Este análisis demostró que no existe una diferencia marcada para el uso del tamaño de partícula <2 mm en comparación con el tamaño anterior de 2-6 mm

Por lo tanto, es posible afirmar que no se observará una afectación en la prueba para determinar la velocidad de transmisión de vapor de agua al usar ya sea un tamaño de cloruro de calcio mayor o uno de tamaño menor, porque no presenta afectación en los resultados de cada uno de los materiales que se analizaron, solamente para el poliuretano, el cambiar el tamaño de cloruro de calcio si afecta en los resultados, dado a que en el análisis ANOVA se tiene un valor F mayor que el valor F crítico. Esto se debe a que, como se ha hecho mención, las características propias de los materiales son diferentes y por ende se tiene variación en los resultados, lo que significa que no se dejará de realizar esta prueba y no se tendrá una pérdida de clientes. Esta conclusión respalda la decisión de implementar el nuevo tamaño de partícula de cloruro de calcio en el método de prueba, asegurando la continuidad y la eficacia del proceso de prueba.

6. COMPETENCIAS DESARROLLADAS

En base a lo aplicado en el proyecto, permitió desarrollar diversas competencias, las cuales fueron parte del reforzamiento de lo aprendido en las aulas a lo largo de la carrera, específicamente en los temas relacionados con el pensamiento estadístico y calidad.

Pensamiento estadístico

Durante el periodo de mis residencias, he desarrollado competencias en el procesamiento y análisis de datos para la resolución de problemas y la toma de decisiones basadas en evidencia cuantitativa. Esta habilidad, conocida como pensamiento estadístico, es esencial en la ingeniería de calidad, ya que permite identificar y cuantificar la variabilidad en los datos, así como interpretar su significado en el contexto del problema en cuestión.

Conocimiento del Sistema de Gestión de calidad

A través de la aplicación diaria de normas y estándares de calidad, he comprendido la importancia de tener referencias documentales para mantener y mejorar la eficacia de los procesos, cumpliendo con los lineamientos correspondientes. Además, al presenciar auditorías realizadas por organismos de acreditación y certificación, me ha permitido entender la relevancia de la acreditación en la industria.

Manejo de información y organización

He aprendido que el manejo adecuado de la información y la organización son fundamentales para evitar confusiones y alcanzar los objetivos planteados. Esto implica la gestión eficiente de los datos, la planificación de las tareas y la coordinación de los recursos.

Metrología

A lo largo de mis residencias, he adquirido conocimientos básicos en metrología, observando la trazabilidad de los instrumentos y equipos de medición utilizados en la empresa. He comprendido la importancia de la calibración y verificación de estos equipos para asegurar la exactitud de las mediciones. Además, he obtenido conocimientos sobre actividades de normalización, ensayos, certificación y acreditación, que son esenciales para garantizar la precisión de las mediciones realizadas en los ensayos.

7. FUENTES DE INFORMACIÓN

- Douglas, M. (2004). "*Diseño y análisis de experimentos.*" Segunda Edición. ISBN 968-18-6156-6 3.2 México: Editorial Limusina, S.A. DE. C.V. Grupo Noriega Editores.
- Gutiérrez, H. y Salazar, R. (2009). "*Control estadístico de la calidad y Seis Sigma.*" Segunda Edición. ISBN México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Walpole, Ronald; Myers, Raymond; Myers, Sharon y Ye, Keying (2012). "*Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.*" Novena Edición ISBN: 978-607-32-1417-9 Pearson, Educación, México.

8. ANEXOS

A) Tabla de recolección de datos

Etiquetas de fila	Suma de VTVA-1	Suma de VTVA-2	Suma de VTVA-3	Suma de VTVA-4	Suma de VTVA-5	Suma de VTVA Prom.
<2 mm	40399.37458	41001.02971	40703.16652	41601.25894	41593.37896	41059.64174
EPS	1988.081082	2078.663313	2146.205987	2049.619963	2174.57391	2087.428851
Estuco	7842.454913	7782.416981	7864.969138	7579.788959	7519.751027	7717.876204
Impermeabilizante acrílico	453.2113418	436.8510053	431.0723543	457.939329	434.7496776	442.7647416
Impermeabilizante prefabricado	197.6748923	212.6843753	213.885134	217.862647	214.4855133	211.3185124
Poliuretano	2142.078379	2284.743516	2277.388869	2317.989521	2387.70857	2281.981771
Yeso	27775.87397	28205.67052	27769.64504	28978.05852	28862.11027	28318.27167
2-6 mm	37669.52485	37630.80038	38239.81016	37080.17749	37589.22411	37641.9074
EPS	2584.182703	2535.326836	2576.602914	2630.562006	2619.154799	2589.165852
Estuco	7137.009208	7069.466534	7512.246285	7242.07559	7114.494983	7215.05852
Impermeabilizante acrílico	429.0460741	430.6220698	434.824725	428.0704577	430.3969275	430.5920508
Impermeabilizante prefabricado	313.0227698	320.4524639	313.1728646	313.247912	308.7450671	313.7282155
Poliuretano	2444.144226	2509.36043	2626.434398	2452.924774	2600.167803	2526.606326
Yeso	24762.11987	24765.57205	24776.52897	24013.29675	24516.26453	24566.75643
Total general	78068.89943	78631.83009	78942.97668	78681.43643	79182.60308	78701.54914

Tabla N°19 Resultados de pruebas de VTA

Etiquetas de fila	Suma de p-1	Suma de p-2	Suma de p-3	Suma de p-4	Suma de p-5	Suma de Permeancia Prom
<2 mm	73.32009906	74.41203215	73.87144559	75.50137739	75.48707616	74.51840607
EPS	3.608132636	3.772528698	3.895110684	3.719818445	3.946595117	3.788437116
Estuco	14.23313051	14.12416875	14.27399118	13.75642279	13.64746103	14.00703485
Impermeabilizante acrílico	0.822525121	0.79283304	0.782345471	0.83110586	0.789019379	0.803565774
Impermeabilizante prefabricado	0.35875661	0.385997051	0.388176287	0.395395004	0.389265904	0.383518171
Poliuretano	3.887619562	4.146539956	4.133192139	4.206877533	4.333409382	4.141527714
Yeso	50.40993462	51.18996465	50.39862984	52.59175775	52.38132535	51.39432244
2-6 mm	68.36574382	68.29546349	69.40074439	67.2961479	68.22000746	68.31562141
EPS	4.689986757	4.601319121	4.676230334	4.77415972	4.753456985	4.699030584
Estuco	12.95282978	12.83024779	13.63384081	13.14351287	12.91196912	13.09448007
Impermeabilizante acrílico	0.778668011	0.781528257	0.789155581	0.776897382	0.781119651	0.781473776
Impermeabilizante prefabricado	0.568099401	0.581583419	0.568371805	0.568508007	0.560335875	0.569379701
Poliuretano	4.435833441	4.554193158	4.766668599	4.451769099	4.718997827	4.585492425
Yeso	44.94032644	44.94659174	44.96647726	43.58130082	44.49412801	44.58576485
Total general	141.6858429	142.7074956	143.27219	142.7975253	143.7070836	142.8340275

Tabla N°20 Resultados de pruebas de Permeancia

Etiquetas de fila	Suma de P-1	Suma de P-2	Suma de P-3	Suma de P-4	Suma de P-5	Suma de Permeabilidad Prom
<2 mm	1.24094486	1.258885187	1.255830593	1.267824384	1.271124141	1.258925653
EPS	0.091989187	0.096176629	0.09934367	0.094857712	0.100595873	0.096592614
Estuco	0.378909647	0.375219098	0.379170767	0.366078957	0.362353043	0.372346302
Impermeabilizante acrílico	0.004354342	0.004197028	0.004141076	0.004398921	0.004176415	0.004253557
Impermeabilizante prefabricado	0.001816062	0.001953495	0.001964684	0.002002514	0.001970677	0.001945307
Poliuretano	0.131976175	0.13967141	0.139461029	0.141272645	0.145453329	0.139566918
Yeso	0.631899447	0.641667525	0.631749367	0.659213634	0.656574804	0.644220955
2-6 mm	1.207680775	1.226732285	1.237471908	1.186077056	1.208973144	1.213776004
EPS	0.124652293	0.117598361	0.125664676	0.124513396	0.123377392	0.123154435
Estuco	0.362805323	0.380032519	0.376501238	0.36155165	0.36582496	0.369705384
Impermeabilizante acrílico	0.004042261	0.004043075	0.004009223	0.004055914	0.004082765	0.004046715
Impermeabilizante prefabricado	0.002912925	0.00295602	0.002872066	0.00287613	0.002838543	0.002891173
Poliuretano	0.14881565	0.156477318	0.162473192	0.14550865	0.15355368	0.153395843
Yeso	0.564452323	0.565624993	0.565951512	0.547571317	0.559295804	0.560582453
Total general	2.448625635	2.485617472	2.493302501	2.45390144	2.480097285	2.472701657

Tabla N°21 Resultados de pruebas de Permeabilidad

B) Resultados de medias de tendencia central y medidas de dispersión para VTA Promedio.

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango	Modo
Variable prom	3279	4723	22307922	144.03	103	1145	14296	14192	*
N para									
Variable	moda	Curtosis							
Variable prom	0	1.37							

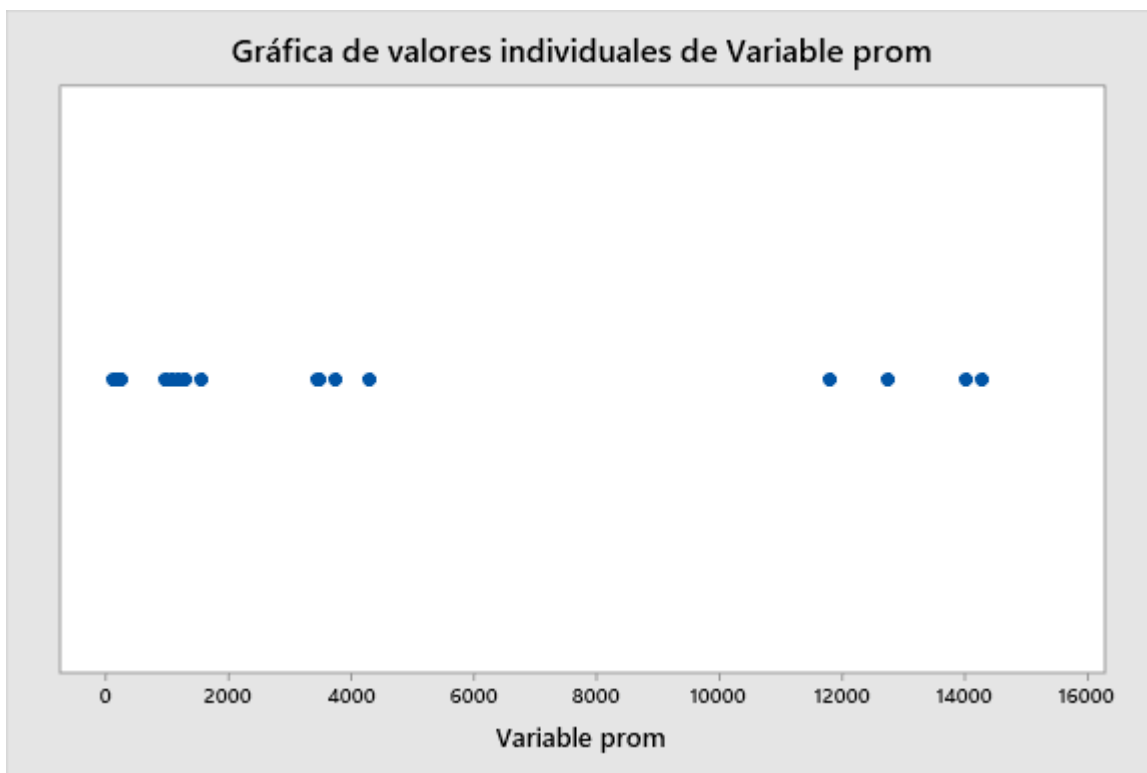


Ilustración 1.14 Estadística descriptiva para VTA

- C) Resultado de medias de tendencia central y medidas de dispersión para Permeancia Promedio.

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango	Modo
Permeancia prom	5.59	8.32	69.25	148.93	0.19	2.07	25.94	25.76	*
N para									
Variable	moda	Curtosis							
Permeancia prom	0	1.84							

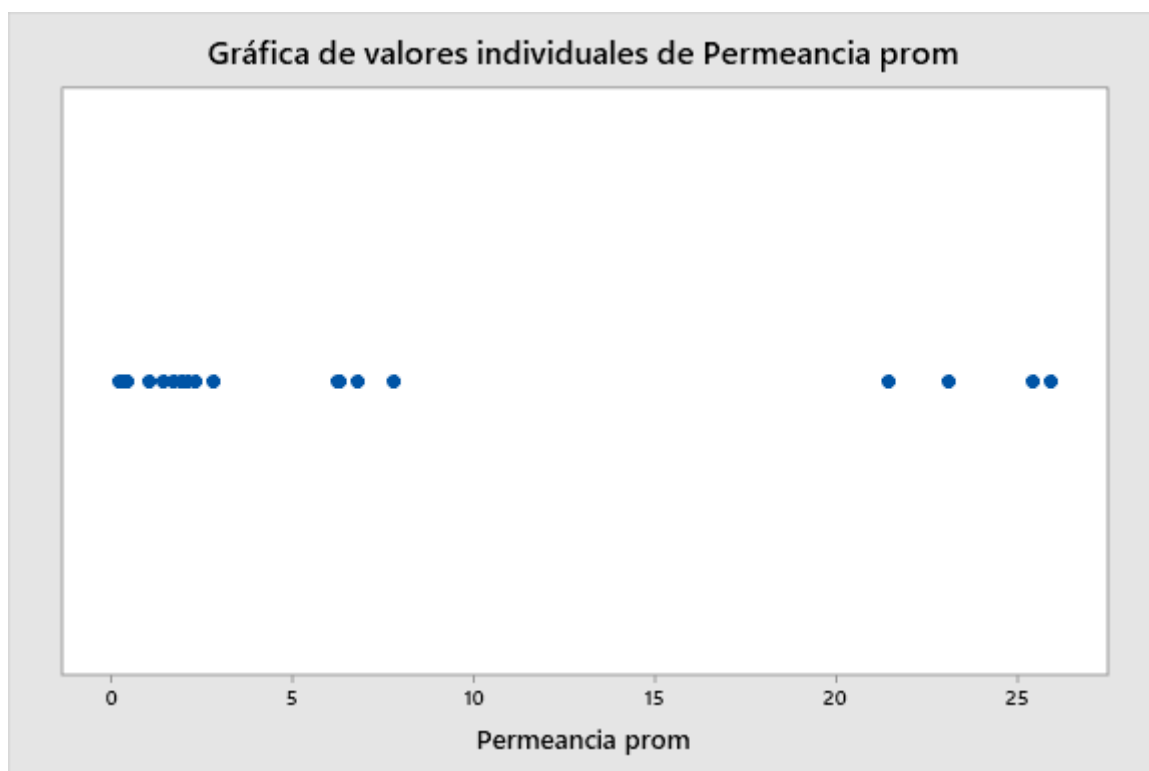


Ilustración 1.15 Estadística descriptiva para permeancia

D) Resultado de medias de tendencia central y medidas de dispersión para Permeabilidad Promedio.

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Permeabilidad Prom	0.1030	0.1109	0.0123	107.62	0.0009	0.0623	0.3262	0.3253

N para			
Variable	Modo	moda	Curtosis
Permeabilidad Prom	*	0	-0.55

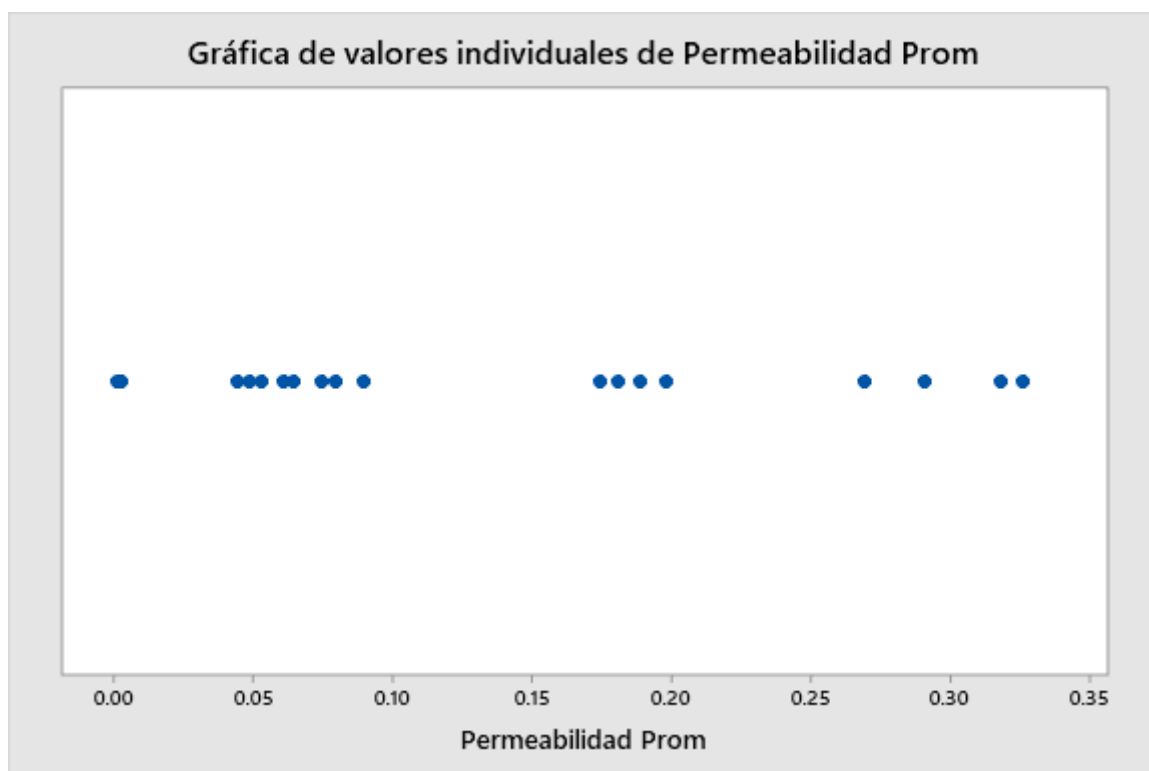


Ilustración 1.16 Estadística descriptiva para permeabilidad

E) Resultados de medias de tendencia central y medidas de dispersión por material

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango	Modo
Poliuretano	1202.1	80.4	6459.4	6.69	1011.2	1215.3	1354.2	343.0	*
EPS	1169.1	234.2	54827.1	20.03	887.4	1089.1	1571.3	683.9	*
Yeso	13221	1051	1104862	7.95	11570	13289	14505	2935	*

N para

Variable	moda	Curtosis
Poliuretano	0	0.39
EPS	0	-0.83
Yeso	0	-1.54

Ilustración 1.17 Estadística descriptiva por materiales

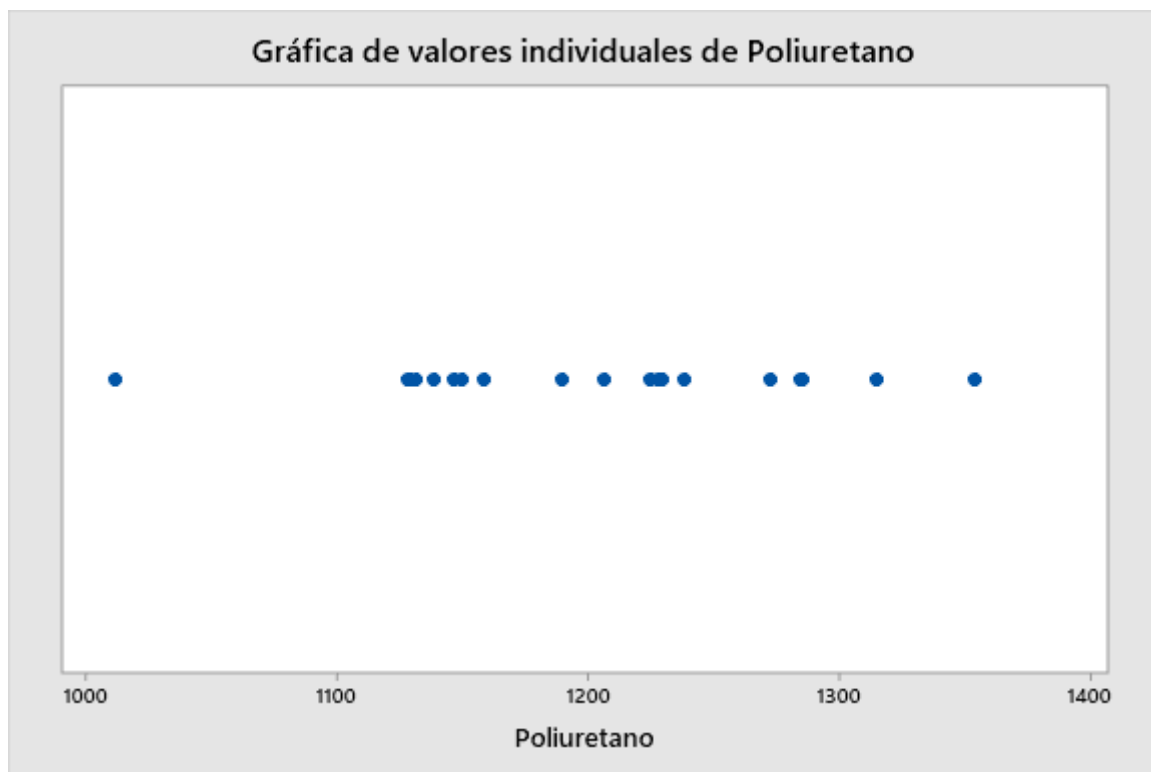


Ilustración 1.18 Estadística descriptiva para poliuretano

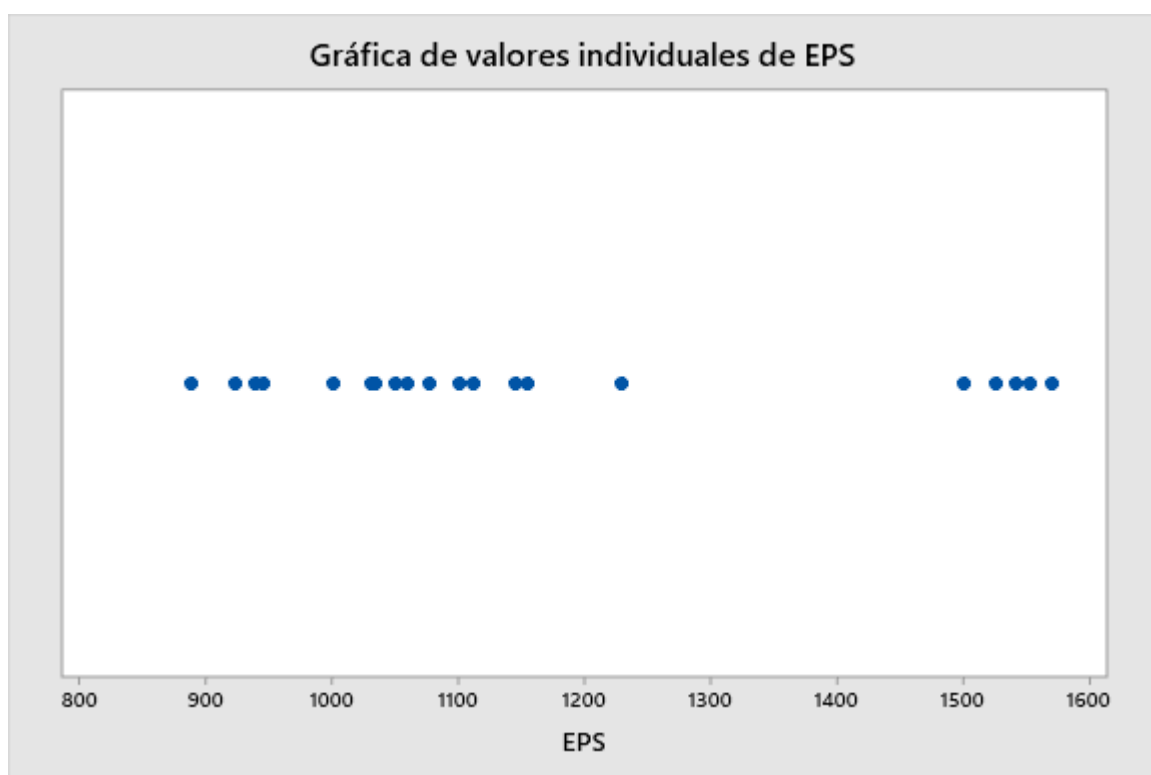


Ilustración 1.19 Estadística descriptiva para permeabilidad'

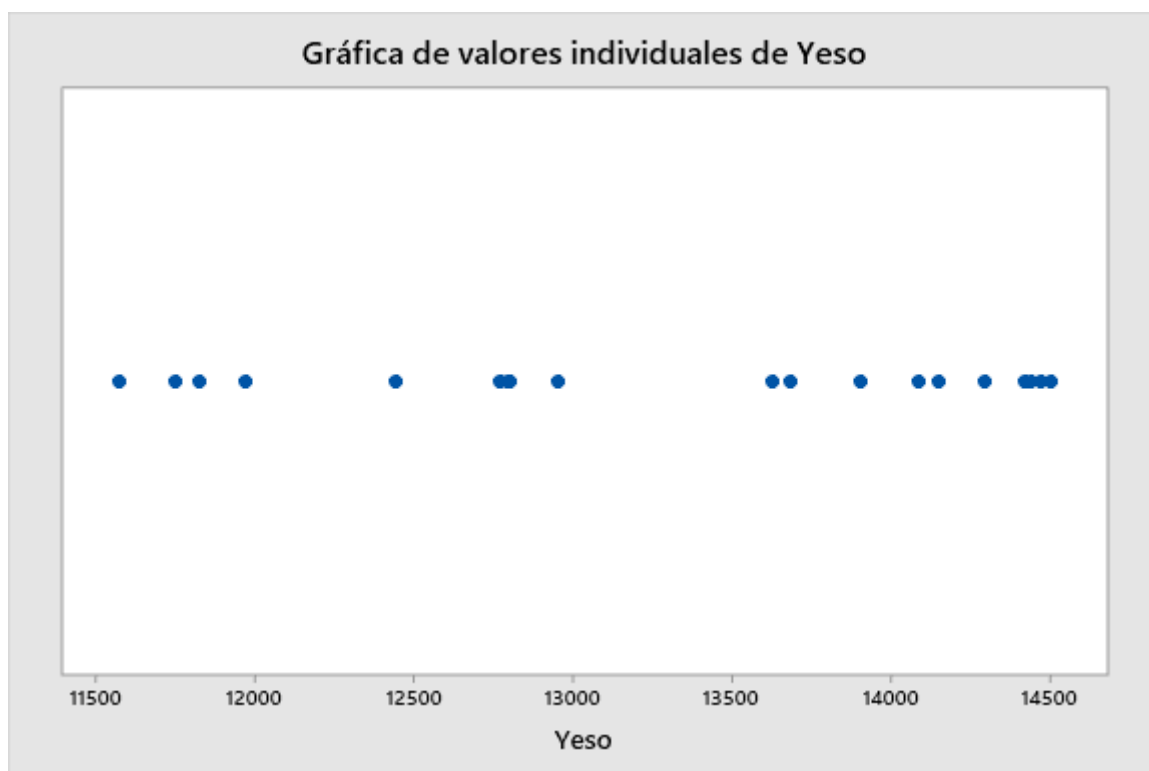


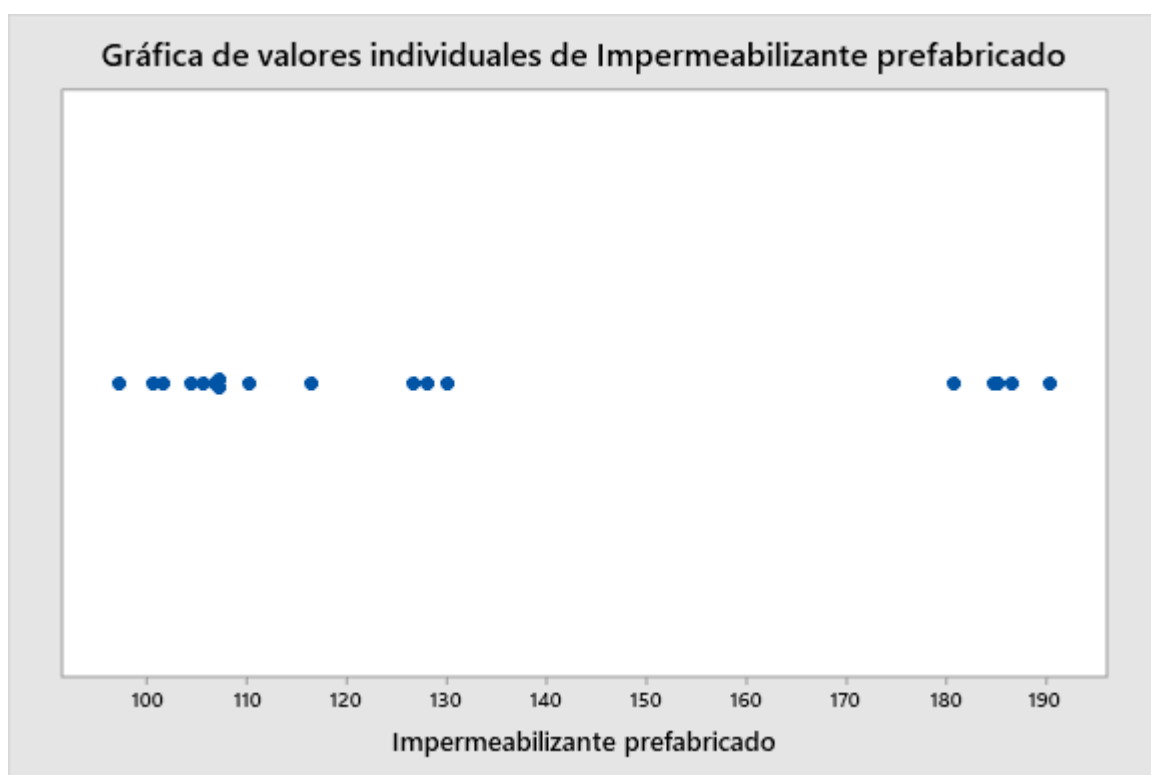
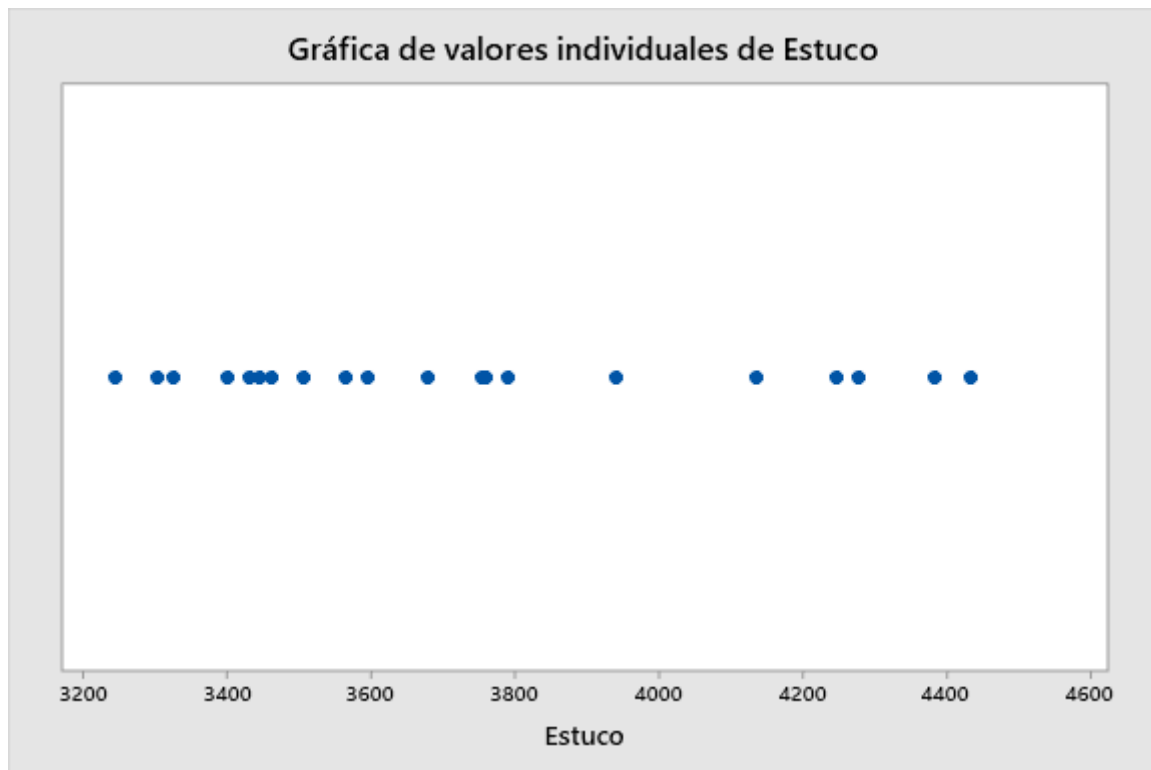
Ilustración 1.20 Estadística descriptiva para permeabilidad

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
Estuco	3733.2	380.0	144368.7	10.18	3242.0	3636.0	4435.3
Impermeabilizante prefabricado	131.26	33.78	1140.83	25.73	97.11	121.50	190.47
Impermeabilizante acrílico	218.34	15.68	245.95	7.18	196.17	218.13	253.44

N para				
Variable	Rango	Modo	moda	Curtosis
Estuco	1193.3	*	0	-0.89
Impermeabilizante prefabricado	93.36	107.093	2	-0.78
Impermeabilizante acrílico	57.26	*	0	-0.51

Ilustración 1.21 Estadística descriptiva para permeabilidad



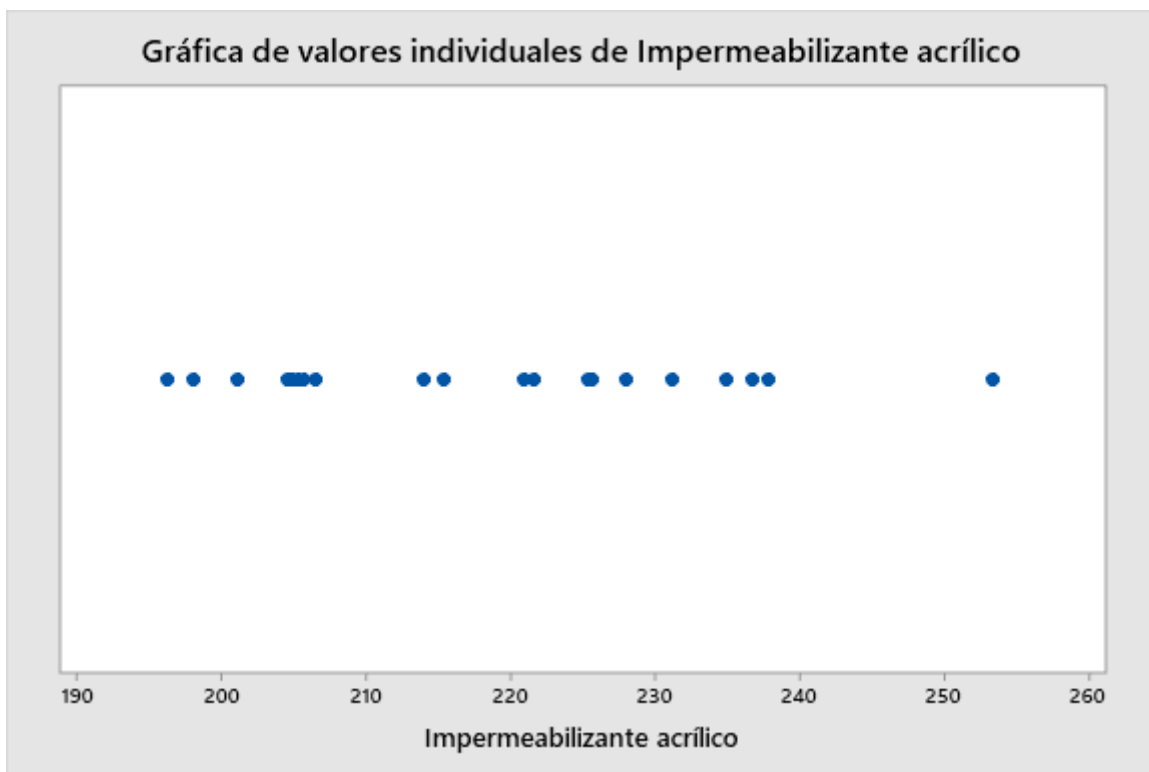


Ilustración 1.24 Estadística descriptiva para permeabilidad

F) Cálculos para realizar tabla de análisis de varianza para VTA

Arreglo 1

Prueba	Especimen	Velocidad de Transmisión de Vapor de Agua en $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$					
		EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico
CaCl ₂ (2-6 mm)	1	1031.08	1205.94	11968.71	3459.69	128.11	201.13
	2	1034.15	1224.62	11966.69	3504.71	129.98	205.25
	3	1049.91	1354.16	11824.47	3752.37	128.03	213.96
	4	1059.22	1224.92	11570.14	3302.09	126.60	206.53
	5	1077.46	1314.83	11749.57	3324.60	127.96	204.80
		1050.36	1264.89	11815.92	3468.69	128.14	206.34
CaCl ₂ (<2 mm)	1	887.44	1130.89	13626.06	3594.77	100.56	215.39
	2	923.61	1138.62	13907.71	3399.65	105.59	205.63
	3	1000.31	1149.73	13683.70	3429.67	107.09	196.17
	4	938.39	1128.56	14472.74	3444.68	116.40	204.50
	5	945.75	1158.28	14423.21	3242.05	110.09	198.05
		939.10	1141.22	14022.68	3422.16	107.95	203.95

Columna	1	2	3	4	5	6	
CaCl2	EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico	Σx_i
2-6 mm	1050.36	1264.89	11815.92	3468.69	128.14	206.34	17934.34
<2 mm	939.10	1141.22	14022.68	3422.16	107.95	203.95	19837.06
y_i	1989.5	2406.1	25838.6	6890.9	236.1	410.3	37771.4
$\bar{y}_i$	994.7	1203.1	12919.3	3445.4	118.0	205.1	18885.7

Repeticiones	Grupos	Total	
	a	N	α
2	6	12	0.05

Ilustración 1.25 Análisis detallado para tabla ANOVA de arreglo 1

Arreglo 2

Prueba	Especimen	Velocidad de Transmisión de Vapor de Agua en $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$					
		EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico
CaCl2 (2-6 mm)	1	1553.11	1238.21	12793.41	3677.32	184.92	227.92
	2	1501.17	1284.74	12798.89	3564.75	190.47	225.37
	3	1526.69	1272.28	12952.06	3759.88	185.14	220.86
	4	1571.34	1228.00	12443.16	3939.99	186.64	221.54
	5	1541.70	1285.34	12766.69	3789.89	180.79	225.59
		1538.80	1261.71	12750.84	3746.37	185.59	224.26
CaCl2 (<2 mm)	1	1100.65	1011.19	14149.81	4247.68	97.11	237.83
	2	1155.05	1146.12	14297.96	4382.77	107.09	231.22
	3	1145.90	1127.66	14085.95	4435.30	106.79	234.90
	4	1111.23	1189.43	14505.31	4135.11	101.46	253.44
	5	1228.83	1229.43	14438.90	4277.70	104.39	236.70
		1148.33	1140.77	14295.59	4295.71	103.37	238.82

Columna	1	2	3	4	5	6	
CaCl2	EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico	Σx_i
2-6 mm	1538.80	1261.71	12750.84	3746.37	185.59	224.26	19707.57
<2 mm	1148.33	1140.77	14295.59	4295.71	103.37	238.82	21222.58
y_i	2687.1	2402.5	27046.4	8042.1	289.0	463.1	40930.2
$\bar{y}_i$	1343.6	1201.2	13523.2	4021.0	144.5	231.5	20465.1

Repeticiones	Grupos	Total	
	a	N	α
2	6	12	0.05

Ilustración 1.26 Análisis detallado para tabla ANOVA de arreglo 2

G) Cálculos para realizar tabla de análisis de varianza por tipo de material

Poliuretano

Poliuretano	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	1264.89	1141.22
2	1261.71	1140.77

Suma(xi.)= 2526.61 2281.98
Media = 1263.30 1140.99
Suma total(x..)= 4808.59
n_i= 2 2
N= 4 **k=** 2

Suma de cuadrados	
SC_{Trat}	= 14960.2933
SC_{Total}	= 14965.4572
SC_{Error}	= 5.1639732

Ilustración 1.27 Valores para llenado de tabla ANOVA Poliuretano

EPS

EPS	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	1050.36	939.10
2	1538.80	1148.33

Suma(xi.)= 2589.17 2087.43
Media = 1294.58 1043.71
Suma total(x..)= 4676.59
n_i= 2 2
N= 4 **k=** 2

Suma de cuadrados	
SC_{Trat}	= 62935.0045
SC_{Total}	= 204110.192
SC_{Error}	= 141175.188

Ilustración 1.28 Valores para llenado de tabla ANOVA EPS

Yeso

Yeso	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	11815.92	14022.68
2	12750.84	14295.59

Suma(xi.)= 24566.76 28318.27

Media = 12283.38 14159.14

Suma total(x..)= 52885.03

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	3518466.63
SC _{Total} =	3992747.52
SC _{Error} =	474280.891

Ilustración 1.29 Valores para llenado de tabla ANOVA Yeso

Estuco

Estuco	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	3468.69	3422.16
2	3746.37	4295.71

Suma(xi.)= 7215.06 7717.88

Media = 3607.53 3858.94

Suma total(x..)= 14932.93

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	63206.4057
SC _{Total} =	483304.705
SC _{Error} =	420098.299

Ilustración 1.30 Valores para llenado de tabla ANOVA Estuco

Impermeabilizante prefabricado

Impermeabilizante prefabricado	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	128.14	107.95
2	185.59	103.37

Suma(xi.)= 313.73 211.32

Media = 156.86 105.66

Suma total(x..)= 525.05

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	2621.93682
SC _{Total} =	4283.02865
SC _{Error} =	1661.09183

Ilustración 1.31 Valores para llenado de tabla ANOVA Impermeabilizante prefabricado

Impermeabilizante acrílico

Impermeabilizante acrílico	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	206.34	203.95
2	224.26	238.82

Suma(xi.)= 430.59 442.76

Media = 215.30 221.38

Suma total(x..)= 873.36

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	37.0436002
SC _{Total} =	805.485369
SC _{Error} =	768.441769

Ilustración 1.32 Valores para llenado de tabla ANOVA Impermeabilizante acrílico

H) Cálculos para tabla análisis de varianza para permeancia

Arreglo 1

Prueba	Especimen	Permeancia al Vapor de Agua en ng/Pa·s·m ²					
		EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico
CaCl ₂ (2-6 mm)	1	2.82	2.19	21.72	6.28	0.34	0.37
	2	2.72	2.22	21.72	6.36	0.35	0.37
	3	2.77	2.46	21.46	6.81	0.34	0.39
	4	2.85	2.22	21.00	5.99	0.34	0.37
	5	2.80	2.39	21.32	6.03	0.33	0.37
		2.79	2.30	21.44	6.30	0.34	0.37
CaCl ₂ (<2 mm)	1	2.00	2.05	24.73	6.52	0.18	0.39
	2	2.10	2.07	25.24	6.17	0.19	0.37
	3	2.08	2.09	24.83	6.22	0.19	0.36
	4	2.02	2.05	26.27	6.25	0.21	0.37
	5	2.23	2.10	26.18	5.88	0.20	0.36
		2.08	2.07	25.45	6.21	0.20	0.37
Columna	1	2	3	4	5	6	
		EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico
CaCl ₂							
2-6 mm		2.79	2.30	21.44	6.30	0.34	0.37
<2 mm		2.08	2.07	25.45	6.21	0.20	0.37
y_i		4.9	4.4	46.9	12.5	0.5	0.7
$\bar{y}_i$		2.4	2.2	23.4	6.3	0.3	0.4
							$\sum x_i$

Repeticiones	Grupos	Total	
	a	N	α
2	6	12	0.05

Ilustración 1.33 Análisis detallado para tabla ANOVA de arreglo 1. Permeancia

Arreglo 2

Prueba	Especimen	Permeancia al Vapor de Agua en ng/Pa·s·m ²					
		EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico
CaCl ₂ (2-6 mm)	1	1.87	2.25	23.22	6.67	0.23	0.41
	2	1.88	2.33	23.23	6.47	0.24	0.41
	3	1.91	2.31	23.51	6.82	0.23	0.40
	4	1.92	2.23	22.58	7.15	0.23	0.40
	5	1.96	2.33	23.17	6.88	0.23	0.41
		1.91	2.29	23.14	6.80	0.23	0.41
CaCl ₂ (<2 mm)	1	1.61	1.84	25.68	7.71	0.18	0.43
	2	1.68	2.08	25.95	7.95	0.19	0.42
	3	1.82	2.05	25.56	8.05	0.19	0.43
	4	1.70	2.16	26.33	7.50	0.21	0.46
	5	1.72	2.23	26.20	7.76	0.20	0.43
		1.70	2.07	25.94	7.80	0.20	0.43
Columna	1	2	3	4	5	6	
	EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico	Σx_i
CaCl ₂							
2-6 mm	1.91	2.29	23.14	6.80	0.23	0.41	34.78
<2 mm	1.70	2.07	25.94	7.80	0.20	0.43	38.15
y_i	3.6	4.4	49.1	14.6	0.4	0.8	72.9
$\bar{y}_i$	1.8	2.2	24.5	7.3	0.2	0.4	36.5

Repeticiones	Grupos	Total	
	a	N	α
2	6	12	0.05

Ilustración 1.34 Análisis detallado para tabla ANOVA de arreglo 2. Permeancia

I) Cálculos para tabla ANOVA por tipo de material para permeancia
Poliuretano

Poliuretano	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	2.296	2.071
2	2.28985873	2.07035525

Suma(xi.)= 4.59 4.14
Media = 2.29 2.07
Suma total(x..)= 8.73
n_i= 2 2
N= 4 **k=** 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	0.04927617
SC _{Total} =	0.04929318
SC _{Error} =	1.7009E-05

Ilustración 1.35 Valores para llenado de tabla ANOVA Poliuretano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	0.04927617	1	0.04927617	5794.10182	0.000172545	18.5128205
Dentro de las muestras	1.7009E-05	2	8.5045E-06			
Total	0.04929318	3				

Tabla N°22 Tabla ANOVA Poliuretano para permeancia

EPS

EPS	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	2.793	2.084
2	1.90628607	1.70435268

Suma(xi.)= 4.70 3.79
Media = 2.35 1.89
Suma total(x..)= 8.49
n_i= 2 2
N= 4 **k=** 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	0.20729512
SC _{Total} =	0.6722975
SC _{Error} =	0.46500238

Ilustración 1.36 Valores para llenado de tabla ANOVA EPS

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	0.20729512	1	0.20729512	0.89158733	0.444717754	18.5128205
Dentro de las muestras	0.46500238	2	0.23250119			
Total	0.6722975	3				

Tabla N°23 Tabla ANOVA EPS para permeancia

Yeso

Yeso	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	21.444	25.450
2	23.1412723	25.9448041

Suma(xi.)= 44.59 51.39

Media = 22.29 25.70

Suma total(x..)= 95.98

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	11.5891141
SC _{Total} =	13.151299
SC _{Error} =	1.56218488

Ilustración 1.37 Valores para llenado de tabla ANOVA Yeso

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	11.5891141	1	11.5891141	14.8370584	0.061269791	18.5128205
Dentro de las muestras	1.56218488	2	0.78109244			
Total	13.151299	3				

Tabla N°24 Tabla ANOVA Yeso para permeancia

Estuco

Estuco	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	6.295	6.211
2	6.79921412	7.79621426

Suma(xi.)= 13.09 14.01

Media = 6.55 7.00

Suma total(x..)= 27.10

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	0.20818906
SC _{Total} =	1.59190749
SC _{Error} =	1.38371843

Ilustración 1.38 Valores para llenado de tabla ANOVA Estuco

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	0.20818906	1	0.20818906	0.30091246	0.63836535	18.5128205
Dentro de las muestras	1.38371843	2	0.69185921			
Total	1.59190749	3				

Tabla N°25 Tabla ANOVA Estuco para permeancia

Impermeabilizante prefabricado

Impermeabilizante prefabricado	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	0.23255165	0.19591325
2	0.337	0.188

Suma(xi.)= 0.57 0.38

Media = 0.28 0.19

Suma total(x..)= 0.95

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	0.00863613
SC _{Total} =	0.01410743
SC _{Error} =	0.0054713

Ilustración 1.39 Valores para llenado de tabla ANOVA Impermeabilizante prefabricado

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	0.00863613	1	0.00863613	3.15688366	0.217587786	18.5128205
Dentro de las muestras	0.0054713	2	0.00273565			
Total	0.01410743	3				

Tabla N°26 Tabla ANOVA Impermeabilizante prefabricado para permeancia

Impermeabilizante acrílico

Impermeabilizante acrílico	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	0.374	0.370
2	0.40699943	0.43342266

Suma(xi.)= 0.78 0.80

Media = 0.39 0.40

Suma total(x..)= 1.59

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	0.00012201
SC _{Total} =	0.00265311
SC _{Error} =	0.00253109

Ilustración 1.40 Valores para llenado de tabla ANOVA Impermeabilizante acrílico

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	0.00012201	1	0.00012201	0.09641225	0.785549153	18.5128205
Dentro de las muestras	0.00253109	2	0.00126555			
Total	0.00265311	3				

Tabla N°27 Tabla ANOVA Impermeabilizante acrílico para permeancia

J) Cálculos para tabla análisis de varianza para permeabilidad
Arreglo 1

Prueba	Especimen	Permeabilidad de Vapor de Agua en ng/Pa·s·m					
		EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico
CaCl2 (2-6 mm)	1	0.08	0.06	0.27	0.17	0.0017	0.0019
	2	0.07	0.07	0.27	0.19	0.0018	0.0019
	3	0.08	0.07	0.27	0.19	0.0017	0.0020
	4	0.08	0.06	0.26	0.17	0.0017	0.0019
	5	0.07	0.06	0.27	0.18	0.0017	0.0019
		0.07	0.06	0.27	0.18	0.0017	0.0019
CaCl2 (<2 mm)	1	0.05	0.05	0.31	0.18	0.0009	0.0021
	2	0.05	0.06	0.32	0.17	0.0010	0.0020
	3	0.05	0.06	0.31	0.17	0.0010	0.0019
	4	0.05	0.06	0.33	0.18	0.0009	0.0020
	5	0.06	0.07	0.33	0.16	0.0009	0.0019
		0.05	0.06	0.32	0.17	0.0009	0.0020
Columna	1	2	3	4	5	6	
	EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico	Σx_i
CaCl2							
2-6 mm	0.07	0.06	0.27	0.18	0.0017	0.0019	0.59
<2 mm	0.05	0.06	0.32	0.17	0.0009	0.0020	0.61
y_i	0.1	0.1	0.6	0.4	0.0	0.0	1.2
$\bar{y}_i$	0.1	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.6

Repeticiones	Grupos	Total	
	a	N	α
2	6	12	0.05

Ilustración 1.41 Análisis detallado para tabla ANOVA de arreglo 1. Permeabilidad

Arreglo 2

Prueba	Especimen	Permeabilidad de Vapor de Agua en ng/Pa·s·m					
		EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico
CaCl2 (2-6 mm)	1	0.05	0.09	0.29	0.19	0.0012	0.0021
	2	0.05	0.09	0.29	0.19	0.0012	0.0021
	3	0.05	0.09	0.29	0.19	0.0012	0.0020
	4	0.05	0.08	0.28	0.19	0.0012	0.0021
	5	0.05	0.09	0.29	0.19	0.0012	0.0022
		0.05	0.09	0.29	0.19	0.0012	0.0021
CaCl2 (<2 mm)	1	0.04	0.08	0.32	0.20	0.0009	0.0023
	2	0.04	0.08	0.33	0.20	0.0010	0.0022
	3	0.05	0.08	0.32	0.20	0.0010	0.0022
	4	0.04	0.08	0.33	0.19	0.0011	0.0024
	5	0.04	0.08	0.33	0.20	0.0010	0.0023
		0.04	0.08	0.33	0.20	0.0010	0.0023
Columna	1	2	3	4	5	6	
	EPS	Poliuretano	Yeso	Estuco	Imper. Prefabricado	Imper. Acrílico	$\sum x_i$
CaCl2 2-6 mm	0.05	0.09	0.29	0.19	0.0012	0.0021	0.62
<2 mm	0.04	0.08	0.33	0.20	0.0010	0.0023	0.65
y_i	0.1	0.2	0.6	0.4	0.0	0.0	1.3
$\bar{y}_i$	0.0	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.6

Repeticiones	Grupos	Total	
	a	N	α
2	6	12	0.05

Ilustración 1.42 Análisis detallado para tabla ANOVA de arreglo 2. Permeabilidad

K) Cálculos para tabla análisis de varianza por material para permeabilidad

Poliuretano

Poliuretano	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	0.06399354	0.06053098
2	0.08940231	0.07903594

Suma(x_i)=	0.15	0.14
Media =	0.08	0.07
Suma total($x_{..}$)=	0.29	
n_i =	2	2
N=	4	k= 2

Suma de cuadrados	
SC_{Trat} =	4.781E-05
SC_{Total} =	0.00054183
SC_{Error} =	0.00049402

Ilustración 1.43 Valores para llenado de tabla ANOVA Poliuretano

EPS

EPS	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	0.07447551	0.05267315
2	0.04867892	0.04391946

Suma(xi.)= 0.12 0.10

Media = 0.06 0.05

Suma total(x..)= 0.22

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Ilustración 1.44 Valores para llenado de tabla ANOVA EPS

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	0.00017638
SC _{Total} =	0.00054743
SC _{Error} =	0.00037105

Yeso

Yeso	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	0.26969666	0.31802991
2	0.29088579	0.32619105

Suma(xi.)= 0.56 0.64

Media = 0.28 0.32

Suma total(x..)= 1.20

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Ilustración 1.45 Valores para llenado de tabla ANOVA Yeso

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	0.00174885
SC _{Total} =	0.00200664
SC _{Error} =	0.00025779

Estuco

Estuco	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	0.18059544	0.17407688
2	0.18910994	0.19826942

Suma(xi.)= 0.37 0.37

Media = 0.18 0.19

Suma total(x..)= 0.74

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Ilustración 1.46 Valores para llenado de tabla ANOVA Estuco

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	1.7436E-06
SC _{Total} =	0.00033063
SC _{Error} =	0.00032889

Impermeabilizante prefabricado

Impermeabilizante prefabricado	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	0.00170283	0.00094037
2	0.00118834	0.00100494

Suma(xi.)= 0.00 0.00

Media = 0.00 0.00

Suma total(x..)= 0.00

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	2.2367E-07
SC _{Total} =	3.581E-07
SC _{Error} =	1.3444E-07

Ilustración 1.47 Valores para llenado de tabla ANOVA Impermeabilizante prefabricado

Impermeabilizante acrílico

Impermeabilizante acrílico	Tamaño de partícula	
Muestras	2-6 mm	<2 mm
1	0.00193154	0.00196639
2	0.00211518	0.00228717

Suma(xi.)= 0.00 0.00

Media = 0.00 0.00

Suma total(x..)= 0.01

n_i= 2 2

N= 4 k= 2

Suma de cuadrados	
SC _{Trat} =	1.0696E-08
SC _{Total} =	7.9009E-08
SC _{Error} =	6.8313E-08

Ilustración 1.48 Valores para llenado de tabla ANOVA Impermeabilizante acrílico