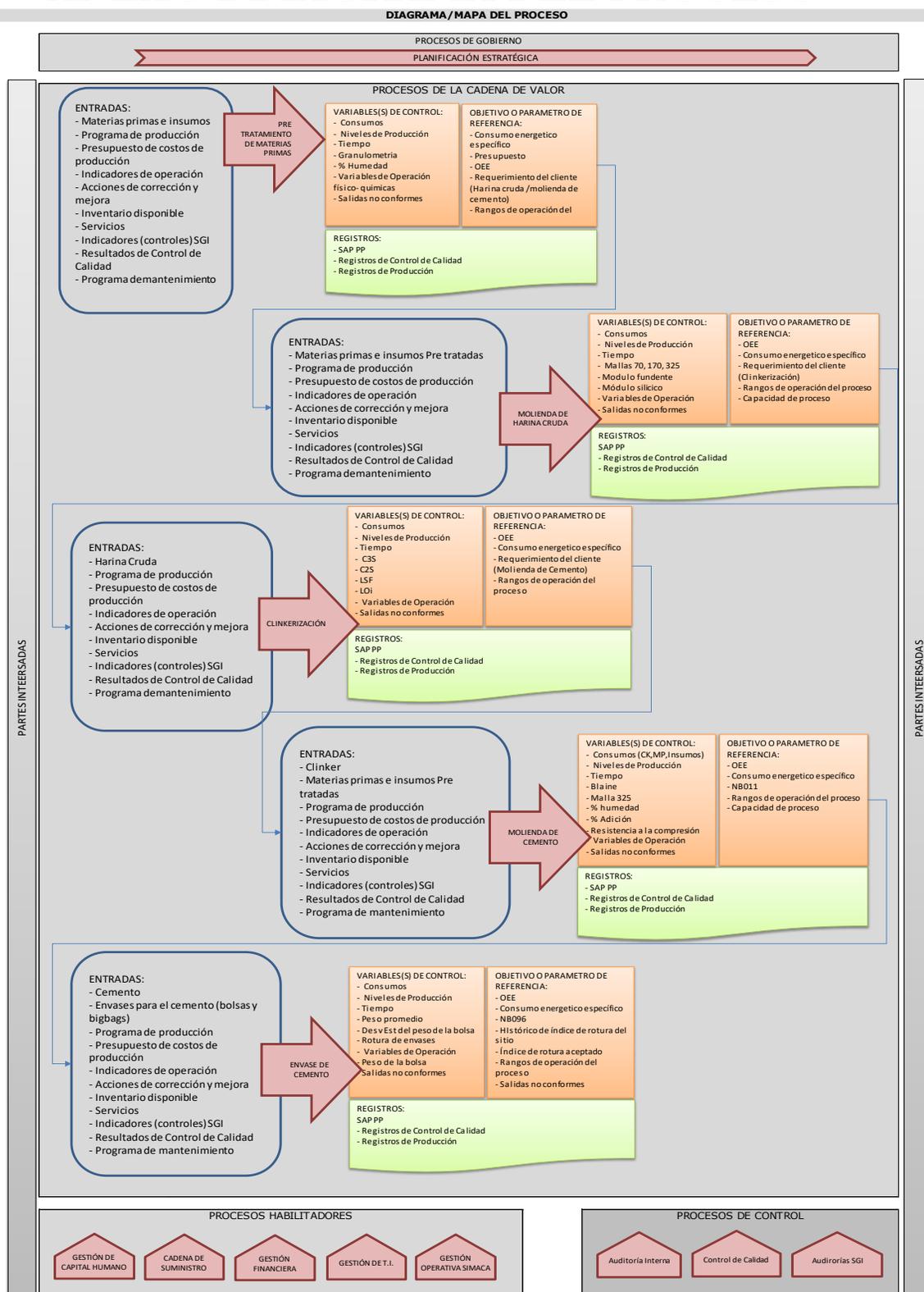


ANEXO 1 DIAGRAMA DEL PROCESO



ANEXO 2 UBICACIÓN DE LA FÁBRICA

La fábrica de cemento El Puente se ubica al sur de Bolivia, más concretamente en la provincia Méndez del departamento de Tarija.



Fuente imágenes: Google Maps, 2023

Su ubicación le permite estar a menos de 2 Km de las canteras de sus materias primas principales.

ANEXO 3 NORMAS INTERNAS DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS



Sociedad Boliviana de Cemento S.A.

NORMAS PARA MATERIALES EN PROCESO
ONJ-CCL.CC.002

Fecha de emisión del formato: 21/04/2016

Número de revisión del formato: 03

Fecha de revisión: 1 de abril de 2019

Materias Primas	Compuesto	Unidad	Modulo de Control	Norma Interna
Piedra Caliza de Primera	Oxido de Calcio	%		> 42
	Oxido de Magnesio	%		< 6,0
Piedra Caliza de Segunda	Oxido de Calcio	%		> 30
	Oxido de Magnesio	%		< 3,0
Arcilla	Silice	%		55 - 70
	Oxido de Aluminio	%		> 15
	Oxido de Hierro	%		> 3
Yeso	Sulfato de calcio dihidratado	%		> 30
Hierro	Oxido Férrico	%		> 50
Toba	Indice de Actividad puzolanica	%		> 80% a 28 días

Materias en Proceso	Compuesto	Unidad	Modulo de Control	Norma Interna
Polvos Crudos		Adimensional	LSF	> 88
		Adimensional	SIM	2,5 - 3,4
		Adimensional	ALM	1,3 - 2,0
		%	Retenido en malla 170	10 - 25
Clinker Producido		Adimensional	LSF	> 88
		Adimensional	SIM	2,5 - 3,4
		Adimensional	ALM	1,3 - 2,0
		Adimensional	Silicato tricalcico	> 50
		g/l	Peso Especifico	1100 - 1500
		%	Oxido de Magnesio	< 6
	%	Cal libre	< 3,5	
Control del Horno	Oxigeno	%	Cámara de gases horno	0,8 - 4,0



Sociedad Boliviana de Cemento S.A.

NORMA INTERNA PARA CEMENTOS
ONJ-CCL.CC.001

Fecha de emisión del formato: 30/01/2009

N° de Revisión del Formato: 08

Fecha de revisión: 24 de Septiembre de 2019

Fecha de emisión: 25 de Septiembre de 2019

ESPECIFICACIONES QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS

			NORMA BOLIVIANA		NORMA BOLIVIANA		Normativa Paraguaya
			CEMENTO IP-30 (NB 011)	Reglamento Técnico CEMENTO IP-30	CEMENTO IP-40 (NB 011)	Reglamento Técnico CEMENTO IP-40	
ESPECIFICACIONES QUÍMICAS	MgO	%	< 6.0	< 6.0	< 6.0	< 6.0	< 5
	SO3	%	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4
	LOI	%	< 7.0	< 5	< 7.0	< 5	-
	RI	%	-	< 35	-	< 35	-
	CaO(L)	%	-	-	-	-	-
	Cloruros(Cl)	%	-	-	-	-	< 0.1
Sulfuros(S2-)	%	-	-	-	-	< 0.1	
ESPECIFICACIONES FÍSICAS	BLAINE	cm2/g	> 2600	>2600	> 2800	>2800	>2800
	Malla +325	%					-
	Residuo sobre Tamiz INTN 200	%					< 15
	FRAG. VICAT INICIAL	min	> 45	> 45	> 45	> 45	> 45
	FRAG. VICAT FINAL	hr	< 7	< 7	< 7	< 7	< 10
	EXPANSION LE CHATELLIER	mm	< 8	< 8	< 8	< 8	-
	ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA AUTOCLAVE	%	<1	<0.80	<1	<0.80	< 1.2
	CONTRACCION AL SECADO MAX = 28D						0.15
	RES. COMP. 1 DIA	MPa					-
	RES. COMP. 3 DIAS	MPa	>= 10	>= 10	>= 17	>= 17	-
	RES. COMP. 7 DIAS	MPa	>= 17	>= 17	>= 25	>= 25	>= 20
	RES. COMP. 28 DIAS	MPa	>= 30	>= 30	>= 40	>=40	>=32

Fuente: Manual de control de calidad, El Puente, 2019

ANEXO 4 INFORME FOTOGRÁFICO POLVO PURGADO DEL FILTRO DEL HORNO

Extracción polvo del filtro



Filtro y chute de purga



Extracción polvo de purga en bolsas big-bag



Extracción polvo de purga en volquetas

ALMACENAJE DEL POLVO DEL FILTRO Y PUNTOS DE MUESTREO



Puntos de muestreo deposito 1 de polvo purgado del filtro Planta EL Puente



Puntos de muestreo deposito 2 de polvo purgado del filtro Planta EL Puente

Fuente: Elaboración propia, 2023

ANEXO 5 NB 011 CEMENTO- DEFINICIONES Y ESPECIFICACIONES DE CEMENTO

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) tiene reservados los derechos de reproducción. Esta publicación se encuentra protegida por los derechos de propiedad intelectual y salvo prescripción diferente no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado y la microfilmación, sin la autorización escrita de IBNORCA

**NORMA
BOLIVIANA**

**NB
011**

Tercera revisión
2012-11-09

Número de Referencia
NB 011:2012

© IBNORCA - DERECHOS RESERVADOS

NORMA IMPRESA EN PAPEL ECOLÓGICO

Cemento - Definiciones, clasificación y especificaciones

ICS 91.100.10-10
Cemento

CTN N° 12.1 - Cementos

IBNORCA

DOCUMENTO PROTEGIDO POR EL
DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL



©IBNORCA - Derechos Reservados

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) tiene reservados los derechos de reproducción. Salvo prescripción diferente, no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado y la microfilmación, sin la autorización escrita de IBNORCA

IBNORCA

NORMA BOLIVIANA

NB 011

Cemento - Definiciones, clasificación y especificaciones

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma proporciona las definiciones correspondientes a los cementos y a sus componentes, así como establece la clasificación de los cementos, por tipos y categorías resistentes y fija las especificaciones para los mismos.

Esta norma es aplicable a los cementos normales utilizados para morteros y hormigones en construcción.

2 REFERENCIAS

Las normas bolivianas contienen disposiciones que al ser citadas en el texto, constituyen requisitos de la norma. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda, a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas bolivianas citadas:

- NB 061 Cemento - Análisis químico
- NB 063 Cemento - Método para determinar el tiempo de fraguado
- NB 470 Cemento - Método para determinar la resistencia a la compresión
- NB 471 Cemento - Ensayo en autoclave para determinar la estabilidad de volumen
- NB 472 Cemento - Método para determinar la superficie específica por el permeabilímetro (Blaine)
- NB 642 Cemento - Ensayo de puzolanicidad
- NB 643 Cemento - Ensayo para determinar la estabilidad de volumen por el método de Le Chatelier
- NB 644 Métodos de ensayo de cementos - Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas

3 DEFINICIONES GENERALES

3.1 Cementos

Conglomerantes hidráulicos, o sea materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral que finamente molidos y convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen tanto al aire como bajo agua, a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como bajo el agua.

Los cementos son materiales granulares muy finos y homogéneos, cuyo aceptable grado de uniformidad de propiedades y de comportamiento, solo se puede conseguir mediante procesos continuos de fabricación (selección, dosificación, molturación, homogeneización de materias primas y de productos intermedios y clinkerización de crudos), así como de realizaciones periódicas y frecuentes de control de la calidad, todo ello llevado a cabo mediante operaciones de autocontrol de los fabricantes, ejecutadas por personal cualificado y adiestrado y con maquinaria, equipos e instrumentos idóneos.

NB 011

3.1.1 Cementos Pórtland

Productos fabricados a base de clinker Pórtland y, en su caso, otros de los componentes principales y/o adicionales definidos en esta norma, en proporciones distintas, según se establece en las correspondientes definiciones particulares de cada tipo incluidas en la tabla 1.

3.1.2 Cementos con características especiales

Cementos que poseen alguna o algunas de las características referentes a su resistencia a los sulfatos, al agua de mar, o relativas a su bajo calor de hidratación o a su color blanco.

3.2 Conglomerantes hidráulicos

Productos artificiales, de naturaleza inorgánica y mineral, obtenidos a partir de materias primas naturales y, en su caso, de subproductos industriales que se utilizan en construcción, edificación y obras públicas, así como en industrias afines de materiales de construcción.

Se emplean para producir conglomerados (hormigones, morteros y pastas) con áridos pétreos, naturales o artificiales, u otro tipo de áridos (cascote de ladrillo), a fin de obtener elementos constructivos estructurales, estructuras y obras resistentes, estables y durables.

3.3 Constituyentes del cemento

3.3.1 Aditivos

Productos que, en pequeñas dosis -inferiores en todo caso al 1 % en masa- se pueden utilizar eventualmente para facilitar el proceso de fabricación del cemento (coadyuvantes de la molienda del clinker) o para aportar al cemento o a sus derivados -morteros y hormigones- algún comportamiento específico (inclusores de aire).

En ningún caso perjudicarán las propiedades y el comportamiento de los conglomerados frescos o endurecidos. Tampoco provocarán, acelerarán o facilitarán la corrosión de las armaduras.

3.3.2 Caliza

Es un componente calcáreo, que puede emplearse como adición y que debe tener un contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) ≥ 75 %

3.3.3 Clinker Pórtland

Producto constituido en su mayor parte por silicatos de calcio, obtenido por la cocción hasta fusión parcial (clinkerización) de una mezcla convenientemente proporcionada y homogeneizada que contiene principalmente cal y sílice, con pequeñas proporciones de alúmina y óxido férrico.

3.3.4 Escoria granulada de alto horno

Este producto se obtiene por enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un alto horno y constituida al menos en dos tercios de su masa, por escoria vítrea y que posee propiedades hidráulicas cuando se activa de manera adecuada. Debe cumplir con el índice de actividad, de acuerdo a lo establecido en las normas ASTM.

NB 011

3.3.5 Filler

Material orgánico, natural o artificial, especialmente seleccionado, que mejora las propiedades del cemento (como ser la trabajabilidad o retención de agua). Pueden ser inertes o poseer propiedades ligeramente hidráulicas o puzolánicas.

3.3.6 Materiales puzolánicos

Materias naturales o productos artificiales capaces de combinarse con la cal grasa, hidráulica o de hidrólisis de los cementos (portlandita), a la temperatura ambiente y en presencia de agua, para formar compuestos hidráulicos semejantes a los originados en la hidratación de los constituyentes del clinker Pórtland.

El material debe cumplir con el índice de actividad puzolánica de 75 %, de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C 311.

3.3.6.1 Puzolanas naturales

Rocas tobáceas, volcánicas vitreas, de naturaleza traquítica alcalina o pumítica.

También son puzolanas naturales, las harinas fósiles de naturaleza silícica, como la diatomita.

3.3.6.2 Puzolanas artificiales

Productos obtenidos por medio de tratamientos térmicos de arcillas, pizarras y otros similares. Dentro de este grupo también se encuentran subproductos de algunas industrias tales como polvo de ladrillo, cenizas volantes, etc.

3.3.7 Reguladores de fraguado

Materiales naturales o productos artificiales que, añadidos a los clínkeres Pórtland y a los otros constituyentes eventuales de los cementos, en proporciones adecuadas y molidos conjuntamente con ellos, proporcionan cementos de los establecidos en la tabla 1, que fraguan, de acuerdo con lo especificado en esta norma, al aplicarles el método de ensayo de la norma NB 063.

El regulador de fraguado más usual es el sulfato cálcico en algunas de sus variedades (como el yeso) o en mezclas de ellas.

El sulfato cálcico en cualquiera de sus formas puede ser también un subproducto de determinados procesos industriales y ser utilizado como regulador de fraguado (las impurezas que pudieran acompañar a este subproducto no deben afectar desfavorablemente en los procesos de fraguado y endurecimiento, ni a las propiedades y comportamiento de los conglomerados frescos o endurecidos).

4 CLASIFICACIÓN

4.1 Cementos Pórtland

Con esta denominación, existen cinco (5) tipos:

NB 011

4.1.1 Cementos Pórtland, tipo I

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clinker Pórtland en proporción no menor del 95 % en masa y de cualquiera de los componentes adicionales definidos en esta norma, o mezclas de ellos, en proporción no mayor del 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

4.1.2 Cementos Pórtland con puzolana, tipo IP

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clinker Pórtland en proporción no menor del 60 % ni mayor del 94 % en masa, de puzolana en proporción no menor del 6 % ni mayor del 40 % en masa y de otros de los componentes adicionales definidos en esta norma, en proporción comprendida entre el 0 % y el 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

4.1.3 Cementos Pórtland con filler o caliza, tipo IF

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clinker Pórtland en proporción no menor del 65 % ni mayor del 94 % en masa, filler o caliza en proporción no menor del 6 % ni mayor del 20 % en masa y de otros de los componentes adicionales definidos en esta misma norma, en proporción comprendida entre el 0 % y el 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

4.1.4 Cemento Pórtland con adición de escoria, tipo IS

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clinker Pórtland en proporción no menor a 65 % y no mayor a 94 %, escoria en proporción no menor al 6 % ni mayor al 35 % en masa y de otros componentes adicionales definidos en esta norma en proporción entre 0 % y 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

4.1.5 Cemento Pórtland mixto, tipo IM

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clinker Pórtland en proporción no menor a 65 % y no mayor a 94 % y la combinación entre escoria; filler; caliza y puzolana en proporciones entre el 6 % al 35 % en masa y de otros componentes adicionales definidos en esta norma en proporción entre 0 % y 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

4.2 Cementos puzolánicos, tipo P

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: Clinker Pórtland en proporción no menor del 45 % ni mayor de 60 % en masa, de puzolanas, cenizas volantes u otros materiales puzolánicos en proporción total no menor del 40 % ni mayor del 55 % en masa y de otros de los constituyentes definidos en esta norma, en proporción total no mayor del 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

Estos cementos deben cumplir con el ensayo de puzolanidad, de acuerdo con la norma NB 642.

NB 011

4.3 Clasificación y composición de los cementos por tipos

Se resumen en la tabla 1, de acuerdo con 4.1 y 4.2.

5 ESPECIFICACIONES DE LOS CEMENTOS

5.1 Categorías resistentes de los cementos

Se establecen en las tablas 2.

5.2 Especificaciones físicas de los cementos

Se establecen en las tablas 3 y 4.

5.3 Especificaciones químicas de los cementos

Se establecen en la tabla 5.

6 NOMENCLATURA DE LOS CEMENTOS

La nomenclatura de los cementos se hará por el conjunto correlativo formado por el tipo, expresado en la tercera columna de la tabla 1, seguido de un guión y la categoría resistente indicada en la segunda columna de la tabla 2.

A continuación, separada por un espacio y entre paréntesis, se incluirá la referencia a esta norma.

Ejemplo 1: la nomenclatura de un cemento Pórtland con filler calizo, de categoría resistente media, es la siguiente:

IF-30 (NB 011)

Ejemplo 2: La nomenclatura de un cemento Pórtland con puzolana, de categoría resistente baja, es la siguiente:

IP-25 (NB 011)

Tabla 1 - Clasificación y composición de los cementos

Tipo de cemento			Proporción en masa, en % ⁽¹⁾				
Denominación	Designación	Tipo	Componentes principales			Componentes adicionales ⁽²⁾	
			Clinker	Puzolana	Filler		Escoria
Cemento Pórtland	Pórtland	I	95 a 100				0 a 5
	Pórtland con puzolana ⁽⁴⁾	IP	60 a 94	6 a 40			0 a 5
	Pórtland con filler calizo ⁽³⁾	IF	65 a 94		6 a 35		0 a 5
	Pórtland con escoria	IS	65 a 94			6 a 35	0 a 5
	Portland mixto ⁽⁴⁾	IM	65 a 94		6 a 35		0 a 5
Cemento puzolánico ⁽⁴⁾		P	45 a 60	40 a 55			0 a 5

1) En estos valores se excluyen: El regulador de fraguado y los aditivos.

2) Los componentes adicionales pueden ser puzolana, filler, caliza o escoria, a menos que sean componentes principales del cemento.

3) Para cementos tipo IF, se debe realizar el control del filler calizo mediante el método de azul de metileno

4) El índice de actividad de la puzolana se debe realizar mediante el método de ensayo de la norma ASTM C 311

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) tiene reservados los derechos de reproducción. Esta publicación se encuentra protegida por los derechos de propiedad intelectual y salvo prescripción diferente no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado y la microfilmación, sin la autorización escrita de IBNORCA

NB 011

Tabla 2.a - Categorías resistentes de los cementos (resultados según la norma NB 470)

Categorías resistentes		Resistencias a la compresión, en MPa		
		Mínimas a 3 días	Mínimas a 7 días	Mínimas a 28 días
Alta	40	17	25	40
Media	30	10	17	30
Baja	25	-	15	25

Tabla 2.b - Categorías resistentes de los cementos (resultados según la norma NB 644)

Categorías resistentes		Resistencias a la compresión, en MPa		
		A 2 días	A 7 días	A 28 días
Alta	40	≥ 20	-	≥ 52,5
Media	30	≥ 10	-	≥ 42,5 y ≤ 62,5
Baja	25	-	≥ 16	≥ 32,5 y ≤ 52,5

Tabla 3 - Especificaciones físicas para los cementos

Categorías resistentes ⁽¹⁾	Fraguado (según norma NB 063)		Superficie específica Blaine, en cm ² /g (según norma NB 472)
	Inicial, en min	Final, en h	
Alta	> 45	< 7	> 2 800
Media y baja	> 45	< 7	> 2 600

1) Véanse categorías resistentes en las tablas 2

2) El fabricante reportará, en los certificados de calidad, el control de la finura con la malla 3,25, según lo establecido en la norma ASTM C 430.

Tabla 4 - Especificaciones físicas para los cementos

Tipos ⁽¹⁾	Expansión	
	Autoclave, en % máximo (según norma NB 471)	Le Chatelier, en mm máximo (según norma NB 643)
I	1	8
IP, IF, P	1	8

1) Véanse tipos de cemento en la tabla 1

2) La expansión podrá modificarse en valor, a requerimiento del cliente

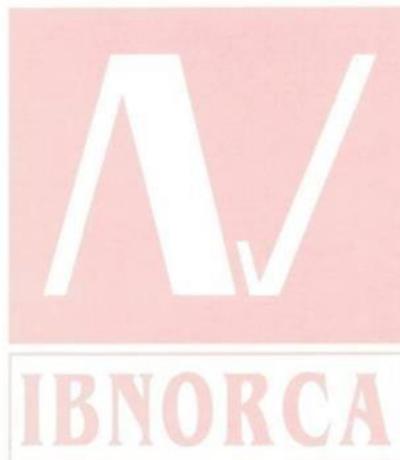
NB 011

Tabla 5 - Especificaciones químicas para los cementos

Características químicas (según norma NB 061)	Tipos de cemento ⁽¹⁾					
	I	IP	IF	IS	IM	P
Pérdida por calcinación, en % máximo	5	7	20	-	-	8
Residuo Insoluble, en % máximo	5	-	5	-	-	-
Trióxido de azufre (SO ₃), en % máximo	3,5	4	4	4	4	4
Oxido de magnesio (MgO), en % máximo	6	6	6	6	6	6
Puzolanidad para 8 días ó 15 días	-	-	-	-	-	Positiva

1) Véanse tipos de cemento en la tabla 1

© IBNORCA - DERECHOS RESERVADOS



NORMA IMPRESA EN PAPEL ECOLÓGICO

DOCUMENTO PROTEGIDO POR EL
DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL

ANEXO 6 REGLAMENTO TECNICO DEL CEMENTO – ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS

7.2. Especificaciones Físico – Mecánicas

Tabla 5. Especificaciones Físico – Mecánicas.

Descripción	Unidad	Resistencia del Cemento			Método de ensayo
		Baja	Media	Alta	
Resistencia a la compresión mínima para las edades que se indican:					NB 470 Determinación de la resistencia a compresión de morteros de cemento, utilizando probetas normalizadas.
3 días	MPa	-	10	17	
7 días	MPa	15	17	25	
28 días	MPa	25	30	40	
Tiempo de fraguado inicial no menor que:	Minutos	45	45	45	NB 063 Tiempo de fraguado del cemento mediante la aguja de Vicat
Tiempo de fraguado final no mayor que:	Minutos	420	420	420	
Estabilidad volumétrica de acuerdo a uno de los siguientes ensayos: En Autoclave, no mayor que:	%	0,80	0,80	0,80	NB 471 Estabilidad de volumen de probetas prismáticas de pastas de cemento sometidas al tratamiento en autoclave.
Por Le Chatelier, no mayor que	mm	8	8	8	NB 643 Determinación de la estabilidad de volumen de la pasta de cemento mediante el ensayo del anillo de Le Chatelier.
Superficie específica de Blaine Mínima	cm ² /g	2.600	2.600	2.800	NB 472 Determinación de la finura del cemento en términos de la superficie específica por medio del permeabilímetro de Blaine.

7.3. Especificaciones Químicas

Tabla 6. Especificaciones Químicas.

Descripción	Unidad	Tipo de Cemento						Ensayo aplicable
		I	IP	IF	IS	IM	P	
Óxido de Magnesio (MgO):								NB 061 Análisis Químico
Máximo	%	6	6	6	6	6	6	
Trióxido de Azufre (SO ₃):								
Máximo	%	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
Residuo insoluble:								NB 061 Análisis Químico
Máximo	%	3	3,5	5	-	-	-	
Pérdida por calcinación:								NB 061 Calcificación
Máximo	%	5	5	15,5	-	-	5	
Puzolanidad:								NB 642 Comparación de la cantidad de Na OH que pasado un tiempo fijo contiene la disolución acuosa en contacto con el cemento.
Hasta 15 días		-	-	-	-	-	Positiva	

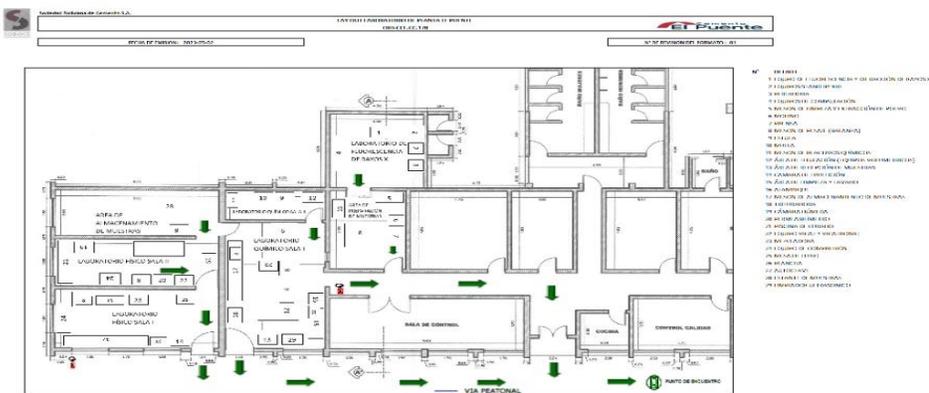
Nota: (-) No tiene un límite establecido.

Fuente: Reglamento técnico del cemento (RM MDPyEP N°261.2018), 2018.

El 20 de diciembre de 2018 se aprueba el reglamento técnico del cemento portland y cemento puzolánico en Bolivia, por parte del ministerio de desarrollo productivo y economía plural. Asimismo después de un periodo de adecuación se exige el certificado de cumplimiento de reglamento técnico a partir del 1 del primero de agosto de 2019, tanto para la producción nacional como para la importación.

El objeto del reglamento técnico es establecer características técnicas correspondiente al cemento portland y cemento puzolánico, con el fin de proteger la seguridad humana y prevenir prácticas que puedan inducir a error.

ANEXO 7 LAY OUT LABORATORIO PLANTA EL PUENTE



Fuente: Unidad de soporte de procesos fábrica de cemento El Puente

ANEXO 8 ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD AL CEMENTO

Las especificaciones físicas y químicas para el cemento IP- 30, son las siguientes:

	Enero/2023 (Definitivo)	Unidad	Método	IP-30 (NB 011)	RM MDPyEP N°261.2018 REGLAMENTO TÉCNICO
	Ensayo de:				
Análisis Químicos	SiO ₂ (Dióxido de silicio)	%	XRF		
	Al ₂ O ₃ (Óxido de aluminio)	%	XRF		
	Fe ₂ O ₃ (Óxido férrico)	%	XRF		
	CaO (Óxido de calcio)	%	XRF		
	MgO (Óxido de magnesio)	%	XRF	< 6	< 6
	K ₂ O (Óxido de potasio)	%	XRF		
	Na ₂ O (Óxido de sodio)	%	XRF		
	SO ₃ (Trióxido de azufre)	%	XRF	< 4	< 4
	LOI (Pérdidas por calcinación)	%	NB 061	< 7	< 5
	Residuo insoluble	%	NB 061		< 35
Fases del Clinker	C3S; Silicato tricálcico	%	-		
	C2S; Silicato dicálcico	%	-		
	C3A; Aluminato tricálcico	%	-		
	C4AF; Ferrito aluminato tetracálcico	%	-		
Ensayos Físicos y Mecánicos	Retenido M325	%	ASTM C 430		
	Densidad	g/cm ³	NB 064		
	Blaine	[cm ² /g]	NB 472	> 2600	> 2600
	Fraguado Vicat inicial	[min]	NB 063	> 45	> 45
	Fraguado Vicat final	[min]	NB 063	< 420	< 420
	Expansión Le Chatelier	mm	NB 643	< 8	< 8

Fuente: Norma Boliviana NB011 y RM MDPyEP N°261.2018

ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO

- **Peso Específico**

El peso específico o densidad del cemento es la relación entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto que se ocupa en esa masa.

En el cemento portland puro, su valor varía entre 3.10 y 3.15 gr/cm³ y en el cemento Portland con adiciones suele estar entre 2.9 y 3.0 gr/cm³.

El valor del peso específico del cemento en realidad no indica la calidad de este, y su valor es usado principalmente para el diseño de mezclas.

Existe gran variedad de métodos para determinar la densidad del cemento de los cuales se pueden citar los de Le Chatelier, Schumann Mann, Condlot y otros.

- **Procedimiento para determinar el peso específico según Norma NB 064**

Se coloca en el frasco volumétrico de Le Chatelier, uno de los líquidos mencionado en la norma boliviana NB 064, hasta enrasar en una división comprendida entre las marcas 0 a 1 ml. se seca la parte interior del frasco en el baño termorregulador a la temperatura ambiente, donde permanece hasta que su contenido haya alcanzado la temperatura del baño, momento en el cual se efectúa la primera lectura.

La variación de la temperatura del líquido del frasco volumétrico no debe ser mayor de 0.2 °C. se pesa en un recipiente de vidrio, aproximadamente 64 gr. De cemento, secado previamente hasta peso constante, a una temperatura de 105 ± 5 °C, se agrega el cemento a temperatura ambiente al líquido contenido en el frasco; se debe evitar que salpique el líquido y que el cemento quede adherido a las paredes interiores del frasco, por encima del nivel del líquido.

Estas operaciones se pueden realizar con la ayuda de un vibrador o empleando un embudo de vidrio de cuello largo. Inmediatamente después de esta operación se tapa el frasco.

Se toma el frasco por su parte superior. Se hace rotar inclinando alternadamente en uno y en otro sentido, hasta que colocado en posición vertical dejen de aparecer burbujas de aire.

Se sumerge el frasco nuevamente en el baño termorregulador y una vez alcanzado el equilibrio de temperatura, se realiza la lectura final.

La densidad del cemento se calcula mediante la ecuación descrita en la norma boliviana NB 064. El frasco volumétrico de Le Chatelier.

- **Superficie Específica Blaine o finura**

Es la superficie específica del cemento (cm^2/g), es decir el área ofrecida por los granos para la reacción de la hidratación, por unidad de peso de cemento.

Esta es una de las propiedades más importantes del cemento, y se obtiene en la etapa de la molienda. Como la hidratación comienza sobre la superficie de las partículas del cemento, el área superficial total del cemento representa el material susceptible de hidratación. De esta manera, la velocidad de hidratación, y por tanto la resistencia, dependerá del grado de finura de los granos.

Una gran finura de los granos de cemento implica un mayor costo, además de hidratarse con mayor rapidez por la exposición a la humedad ambiental.

La medida de la finura se representa como el área superficial de las partículas contenidas en un gramo de material y se mide en cm^2/gr .

Existen varios métodos para medirla que pueden ser directos o indirectos tal como se aprecia en la tabla siguiente:

NOMBRE DEL METODO	
DIRECTO	Tamizado
INDIRECTO	Turbilímetro de wagner
	Permeabilímetro de Blaine (NB472)

Fuente: Manual de operaciones Fábrica de Cemento EL PUENTE, 2023

➤ **Procedimiento para determinar la Superficie Específica Blaine Norma NB 472**

Para la ejecución de ensayos de Blaine se debe cumplir con exactitud lo especificado en la norma boliviana NB 472 Cemento - Determinación sup. específica (Blaine), a continuación, se presenta un resumen:

El tubo de permeabilidad se conecta herméticamente con el manómetro, teniendo cuidado de que la capa de cemento no se altere. Se quita el aire contenido en la rama del manómetro, succionando con una pera de goma hasta que el líquido alcance la marca superior; luego se cierra herméticamente la válvula y se permite el pasaje de aire a través de la capa de cemento compactado. El cronómetro se pone en marcha en el momento en que el menisco del líquido en el manómetro, llegue a la segunda marca, es decir, a la marca que sigue la superior y el cronómetro se detiene en el momento en que el menisco llegue a la marca inferior. El lapso observado se anota en segundos, se anota también la temperatura ambiente en la que se hizo el ensayo, en grados centígrados. Para la calibración del aparato, se hacen como mínimo, tres determinaciones del tiempo de flujo, empleando respectivamente, tres porciones diferentes de la misma muestra.

La calibración debe hacerla el mismo operador que efectúe las determinaciones de la superficie específica.

Consistencia de la Pasta Normal

El cemento, al amasarse con agua, forma una pasta suave y plástica que posteriormente se torna rígida y endurece presentando aspecto pétreo, debido a las reacciones químicas que se verifican entre el cemento y el agua.

Dependiendo de la cantidad de agua que se le agregue, el cemento alcanza una determinada fluidez, la que aumenta al incrementar la cantidad de agua. Esto quiere decir que habrá una determinada fluidez para una cierta cantidad de agua, considerada como consistencia normal.

La consistencia normal no es un parámetro directo que indique la calidad del cemento y por eso las normas no dan valores máximos o mínimos. Sin embargo, se considera como un parámetro complementario de otros ensayos que se tienen relación directa con la calidad del cemento como en el caso de los tiempos de fraguado y la estabilidad de volumen, que se estudiarán más adelante.

➤ Procedimiento para determinar la Consistencia Normal Según Norma NB 062

La consistencia se mide por medio del aparato de Vicat, utilizando un émbolo de 10 mm. de diámetro acondicionado dentro de un soporte de agujas.

Una pasta experimental de cemento y agua se mezcla en la forma prescrita y se coloca en el molde. En seguida, se pone el émbolo en contacto con la superficie superior de la pasta y se suelta. Por la acción de su propio peso, el émbolo penetra en la pasta, la profundidad de penetración depende de la consistencia. Esto se considera una norma, de acuerdo con la Norma Boliviana NB 062, cuando el émbolo penetra en la pasta hasta un punto distante de 10 ± 1 mm. El contenido de agua de la pasta estándar se expresa como porcentaje por masa de cemento secó, y el valor normal varía entre 26 y 33 por ciento del peso del cemento

Tiempo de Fraguado

Cuando el cemento se mezcla con el agua, formando de esta manera la pasta, mantiene una plasticidad casi constante durante un tiempo, luego del cual la pasta cambia de estado fluido a

estado rígido, que se conoce como fraguado. El lapso que transcurre desde el mezclado hasta dicho cambio se conoce como tiempo fraguado. Aunque durante el fraguado la pasta adquiere alguna resistencia, es conveniente diferenciar entre fraguado y endurecimiento, pues este último se refiere al aumento de resistencia de la pasta de cemento fraguada.

El tiempo de fraguado indica si la pasta está o no sufriendo reacciones de hidratación normales. El tiempo de fraguado se mide empleando la aguja de Vicat con distintos accesorios de penetración.

Para la ejecución de los ensayos de fraguado se debe cumplir con exactitud los pasos especificados en la norma boliviana NB 063 Cemento - Determinación del tiempo fraguado.

➤ **Tiempo de Fraguado Inicial**

El tiempo de fraguado inicial, es el que transcurre desde que se vierte el agua de amasado en el cemento hasta que la pasta formada pierde parcialmente su plasticidad.

Para determinar el fraguado inicial, se utiliza una aguja de Vicat con un diámetro de 1 mm. Esta aguja penetra en la pasta de consistencia normal, Colocada en un molde especial, bajo un peso prescrito.

La Norma Boliviana describe al tiempo de fraguado inicial como al tiempo transcurrido entre el momento en que se agrega el cemento al agua y el que marca una penetración de 25 mm. Su determinación se hace por la interpolación del resultado obtenido en las penetraciones registradas.

➤ **Tiempo de Fraguado Final**

El fraguado final es el que transcurre desde el mismo principio hasta que la pasta adquiere una suficiente consistencia como para resistir cierta presión, se caracteriza por que la pasta deja de ser deformable ante cargas relativamente pequeñas, con el cemento aún más hidratado.

El fraguado final se determina por medio de la misma aguja adaptada de 1mm de diámetro, se toma como fin de fraguado el tiempo transcurrido entre el momento en que se agrega el cemento al agua y el momento en el cual la aguja no deja marca visible en la pasta, realizando esta verificación en ambas bases de la muestra.

Los tiempos de fraguado se encuentran íntimamente relacionados con la dosificación de yeso, conjuntamente a la del clinker, en el molino de cemento. Una deficiente proporción de yeso ocasionará la producción de un cemento de fraguado rápido; por el contrario, una excesiva dosificación del mismo, generará un producto de fraguado muy lento.

● **Estabilidad de volumen del cemento**

Una vez vaciado y conformado el cemento, este debe conservar la forma que se le ha dado. Esta propiedad se llama estabilidad o constancia de volumen.

Esta propiedad se refiere a la habilidad de una pasta endurecida a conservar su volumen después del fraguado, ya que podría sufrir contracciones o aumentos de volumen, generando así esfuerzos perjudiciales a la masa de concreto endurecido.

Durante el proceso de fraguado se incrementa la temperatura como consecuencia de reacciones químicas que se efectúan entre los componentes del cemento y el agua. Este aumento de temperatura hace que una parte del agua se evapore y origine una contracción en la pasta con

un eventual agrietamiento. La contracción lineal puede ser de aproximadamente 150×10^6 (0.015% en volumen) y generalmente se presentan los primeros dos o tres meses.

La expansión o hinchazón del cemento es una dilatación violenta que podría surgir en el material endurecido, la que iría acompañada de una disminución considerable de su resistencia, casi siempre en la formación de grietas y, a menudo, del total desmenuzamiento de la masa. Este fenómeno se atribuye fundamentalmente a un excesivo contenido de cal libre, proveniente del clinker, de magnesio proveniente de la materia prima inicial, o del sulfato proveniente de la adición de yeso.

Como la expansión del cemento solo se manifiesta pasados varios meses o años, se necesita conocer la variación del volumen en forma acelerada y para esto existen dos métodos: El de Le Chatelier y Autoclave. Este último consiste en medir el cambio de longitud de unas barras de sección cuadrada de 2,5 cm de lado y 25,4 cm de longitud, hechas con pasta de cemento y sometidas a un proceso acelerado de hidratación (curado durante 3 horas a 216°C y a una presión de 20 kg/cm^2). El cambio de longitud se llama expansión en autoclave y se expresa en porcentaje de la longitud de la longitud inicial.

Para la ejecución de los ensayos de expansión por método de Le Chatelier se debe cumplir con exactitud los pasos especificados en la norma boliviana NB 643 (norma europea EN 193-6)

El ensayo de las agujas de Le Chatelier. Consiste en medir el cambio de diámetro de cilindros hechos con pasta cemento de 3 cm de diámetro y 0,5 cm de altura curados en agua a temperatura ambiente o en agua en ebullición por 180 min. El primero mide la expansión debida al exceso de cal libre y el segundo al de periclusa.

Cuando hay un cambio de volumen, bien sean por contracción o por expansión, se genera esfuerzos de tracción en la masa de concreto endurecida que suelen conducir a un rompimiento de la pasta ocasionando desde ligeros descascaramientos hasta el colapso de la estructura.

No existe ninguna prueba para detectar variaciones de volumen debidas a un exceso de sulfato de calcio, pero su contenido puede determinarse fácilmente por medio de un análisis químico y para evitar estos efectos adversos hay que cumplir los parámetros especificados en la normativa vigente.

- **Determinación de la Resistencia a Compresión**

Los resultados de resistencia a la compresión a 3 y 7 días, permiten evaluar el desarrollo de resistencias a corto plazo, importante para aplicaciones donde se requieren altas resistencias iniciales para posibilitar la pronta continuación de la obra.

La resistencia a 28 días, pueden considerarse prácticamente definitivas, muy importantes como, por ejemplo, en la construcción de represas.

Para la ejecución de los ensayos de determinación de resistencias a la compresión se debe cumplir con exactitud los pasos especificados en la norma boliviana NB 470 (ASTM C109).

Las probetas que van a ser ensayadas a las 24 hrs. se sacan de la cámara húmeda e inmediatamente se pasan a la máquina de prueba; si se sacan varias al mismo tiempo, deben cubrirse con una toalla húmeda hasta el momento de iniciar el ensayo. Si se saca del recipiente

de almacenamiento más de una probeta a la vez para ser ensayadas, se las debe mantener en agua a una temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ y a una profundidad suficiente de manera que queden completamente cubiertas hasta el momento del ensayo. Todas las probetas correspondientes a una determinada edad de ensayo se romperán dentro de la tolerancia permisible indicada a continuación.

Tolerancia para Ensayos a Compresión

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 Hr.	± 0.5 Hr.
3 Días	± 1 Hr.
7 Días	± 3 Hr.
28 Días	± 12 Hr.

Fuente: Norma Boliviana NB 470, 2015.

Las superficies de los cubos deben secarse y los granos de arena sueltos o las incrustaciones, deben retirarse de las caras que van a estar en contacto con los bloques de apoyo de la máquina de ensayo; se debe comprobar, mediante una regla, que estas caras sean planas (véase Nota 1 NB 470). En caso de que tengan una curvatura apreciable deben raspase hasta obtener superficies planas y si ésto no es posible, se deben desechar las probetas.

Gradación de la arena

Se debe tomar en cuenta que la arena usada para elaborar las probetas de ensayo, debe ser arena natural de sílice (mínimo 98%) con la siguiente composición granulométrica.

Gradación de la Arena

TAMIZ	PORCENTAJE RETENIDO
150 μm	98 ± 2
300 μm	75 ± 5
425 μm	30 ± 5
600 μm	2 ± 2
1.18 μm	0

Fuente: Norma Boliviana NB 470, 2015

Agua

El agua es un elemento fundamental en la preparación del mortero, está relacionada con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido.

En el laboratorio de planta El Puente se trabaja con agua destilada, cumpliendo de esta manera los requerimientos normativos.

- **Determinación de la Fluidez**

Para la ejecución de los ensayos de determinación de resistencias a la compresión se debe cumplir con exactitud los pasos especificados en la norma boliviana NB 473 (ASTM C230). La determinación de la Fluidez se resume a continuación:

Se limpia y se seca la plataforma de la mesa de flujo, colocando en seguida el molde en su centro. Usando el palustre, se coloca una capa de mortero, de unos 25 mm de espesor, cuya fluidez se quiere determinar y se apisona con 20 golpes del compactador, uniformemente

distribuidos. Con una segunda capa de mortero, se llena totalmente el molde y se apisona como la primera capa.

La presión del compactador debe ser tal que asegure el llenado uniforme del molde. Se enrasa el mortero con la parte superior del molde, empleando el palustre. Después de llenar el molde de acuerdo con la norma NB 473, se limpia y se seca la plataforma de la mesa, teniendo cuidado de eliminar el agua que queda alrededor de la base del molde. Después de un minuto de terminada la operación de mezclado, se quita el molde por medio de un movimiento vertical y se deja caer la plataforma desde una altura de 12,7 mm. (1/2"), 25 veces en 15 segundos. Luego se mide el diámetro de la base de la muestra a lo largo de cuatro direcciones uniformemente distribuidas y se calcula el diámetro promedio.

La expresión de los resultados se indica en la Norma Boliviana NB 473. En las siguientes figuras se representa el equipo utilizado en este ensayo según la Norma Boliviana NB 473.

Mesa de flujo y Molde Mesa de Sacudidas



Fuente: Norma Boliviana NB 473, 2015.

- **Ensayos de determinación MgO y SO₃**

La ejecución de análisis químico para la determinación de MgO y SO₃ en el cemento se realizará de acuerdo a la norma NTP-ISO 29581-2 Cemento. Método de ensayo. Parte 2: Análisis químico por fluorescencia de rayos-X.

Trióxido de azufre (SO₃)

Controla la adición de Yeso (Sulfato de calcio dihidratado), como retardador de fraguado. Excesivo SO₃ en el cemento puede dar lugar a expansiones y agrietamientos no deseados.

Oxido de magnesio en el cemento

Un excesivo contenido de óxido de magnesio conduce al perjudicial fenómeno de expansión del cemento. El MgO proviene fundamentalmente de la piedra caliza utilizada como materia prima, por lo que es recomendable trabajar en los rangos prefijados.

El óxido de magnesio (MgO) es uno de los componentes anhidros del cemento IP-30. El carbonato de magnesio (MgCO₃) suele estar presente en pequeña cantidad en las materias primas que intervienen en la fabricación del cemento. Al calcinarse, reacciona formando óxido de magnesio y dióxido de carbono. El óxido de magnesio normalmente cristaliza formando periclusa que reacciona muy lentamente con el agua produciendo brucita (Mg (OH)₂).

El MgO es uno de los parámetros de calidad en la fabricación del cemento IP-30. Si se tiene demasiado MgO, el cemento puede llegar a ser expansivo. Además, el MgO puede afectar la

resistencia del cemento, la velocidad de hidratación y la durabilidad del hormigón, La Magnesia libre (MgO) presenta velocidad de hidratación lenta y cuando se produce el hidróxido de magnesio el cemento ya ha fraguado y si el contenido es alto va dar lugar a fisuras y agrietamientos y falta de homogeneidad en el cemento.

EL CONTROL QUÍMICO EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

Dada la importancia del cemento en la actualidad, y el rápido crecimiento de su producción tanto a nivel nacional como global, no sorprende que exista un particular interés en el control de los diversos productos involucrados o producidos en las diferentes etapas que ocurren durante su proceso de fabricación. El objetivo de este interés es lograr una buena calidad del producto terminado y asegurar que su impacto en los costos sea el menor posible, para estar a la vanguardia del panorama competitivo comercial.

La adecuada y oportuna caracterización de las materias primas utilizadas (calizas y arcillas) y sus correctas cantidades, así como de los productos elaborados a lo largo del proceso de fabricación (crudo, clinker, cemento), requiere además de una serie de pruebas analíticas puramente físicas para verificarlas. durante el proceso de fabricación la composición química para permitir la corrección inmediata de las desviaciones que puedan dar lugar a diferencias en la composición química. Debido a la alta saturación de cal del polvo crudo que se utiliza actualmente, esto es motivo de gran preocupación ya que un ligero exceso de cal puede provocar la presencia de cal libre en el producto terminado, lo que se sabe que causa hinchamiento en el proceso, origen de la destrucción de las obras construidas con ellos.

Por todo ello, y considerando el gran número de ensayos que hay que realizar cada día, es comprensible que la técnica analítica “fluorescencia de rayos X” haya adquirido una gran aceptación en estos procesos de la industria productora de cemento. Para estos ensayos de control las principales características de los equipos basados en esta tecnología son la rapidez y precisión en la obtención de los datos requeridos, ya que el rango de concentración de los elementos a medir hace que la tecnología de fluorescencia de rayos X sea más adecuada para su uso y por tanto competitiva y muchas veces superior a la espectroscopia de emisión.

Fundamento de la técnica de rayos X y fluorescencia de rayos X

Sabemos que la materia está formada por átomos como unidad básica y para cada elemento químico su estructura atómica es diferente y característica, los átomos están formados por un núcleo en el cual hay neutrones y protones en números perfectamente determinados para cada tipo de átomo, y tantos electrones como protones hay ubicados en diferentes niveles de energía.

Se conoce que los rayos X corresponden a la región de longitud de onda corta del espectro electromagnético y, que se originan cuando un haz de electrones, emitidos por un filamento incandescente (cátodo) situado en el interior de un recipiente en el que se crea un vacío y convenientemente acelerados por un campo eléctrico, inciden sobre el anticátodo correspondiente, excitando a los átomos que lo constituyen. Estas radiaciones tienen su origen en la diferente energía que poseen los electrones constituyentes de un átomo al estar situados en distintos niveles

de energía. Si estos electrones son excitados convenientemente, pasan de un nivel electrónico a otro de mayor energía, y al volver a su nivel primitivo directamente o por saltos intermedios, devuelven el exceso de energía que poseen en forma de radiación, la cual por su posición en el espectro de rayos X, caracteriza a los átomos que integran el material bombardeado, permitiendo un análisis cualitativo del mismo y, por su intensidad, comparándola con otras muestras de composición conocida, su análisis cuantitativo.

Se denomina radiación de fluorescencia a aquella que se origina cuando la superficie de un determinado material es excitada por la acción de una radiación electromagnética de una cierta longitud de onda, bien en la zona del visible, ultravioleta o rayos X, emitiendo una radiación de tipo secundaria, de longitud de onda diferente a la de excitación.

ANÁLISIS QUÍMICO INSTRUMENTAL MÉTODO FLUORESCENCIA Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X (ARL9900)

- Principio de funcionamiento.

La muestra que se desee medir se carga en el espectrómetro y es excitada por el haz de rayos X proveniente del tubo de rayos X. Un fotón de rayos X entrante colisiona con un electrón, que queda liberado y abandona el átomo. Esto deja un vacío.

Este vacío es ocupado por un electrón de una órbita de energía superior. El electrón libera energía (fluorescencia) cuando cae en forma de fotón de rayos X.

El espectro del tubo se compone de las longitudes de onda características de los elementos del ánodo y del continuo. La radiación emitida desde la muestra está compuesta por el espectro del tubo y las longitudes de ondas características de los elementos presentes en la muestra. El haz reflejado es guiado sobre un sistema dispersivo denominado, en nuestro caso, goniómetro. Este goniómetro produce espectros de líneas que están en relación con los elementos incluidos en la muestra medida.

El sistema de XRD recoge en su detector el rayo X difractado de una longitud de onda específica emitido por el tubo de rayos X. El haz incidente es difractado por los varios planos cristalográficos de los cristalitas presentes en la muestra.

Todos los espectrómetros de XRF y XRD miden intensidades. Las concentraciones se obtienen sólo una vez que el instrumento se ha calibrado. Hay que destacar que los cuantómetros de XRF son comparadores muy precisos, pero la precisión del análisis final depende enteramente de la calidad de las muestras estándar utilizadas para la calibración. La relación intensidad concentración es generalmente lineal, pero en algunos casos la curva puede ser de segundo grado.

En la práctica, la intensidad de un elemento no está sólo en función de la concentración del elemento analizado, sino también puede estar influida por las interferencias tales como la superposición de líneas, la absorción o la ampliación debidas a los constituyentes de la matriz.

- **Pérdida por calcinación (LOI)**

Permite cuantificar contenido de humedad en el cemento y el contenido materia orgánica y otros

componentes volátiles

Se ejecuta el ensayo de acuerdo a lo estipulado en la NB-061 Cemento- Análisis químico

En el caso del LOI el cemento es calcinado en una mufla a una temperatura controlada. Las pérdidas son asumidas a la humedad total y el CO₂ en el cemento

- **Residuo insoluble (RI)**

Determina el contenido porcentual de sustancias insolubles en ácido clorhídrico.

El residuo insoluble es entonces signo de una deficiente cocción del clinker, lo que ocasiona la existencia de sílice libre, no reaccionada.

Por sus propiedades químicas, el residuo insoluble muestra también, una medida de la dosificación de puzolana en el proceso de molienda razón por la cual, el RI en el cemento estándar es superior al del cemento especial.

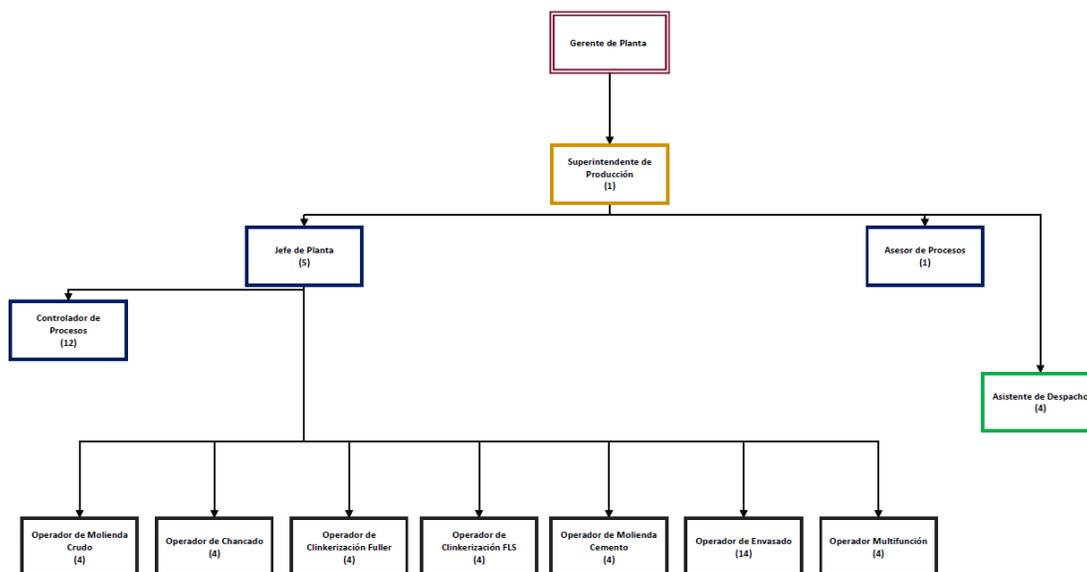
Se ejecuta el ensayo de acuerdo a lo estipulado en la NB-061 cemento análisis químico.

En este método, el residuo insoluble del cemento hidráulico es determinado a través de la digestión de una muestra de cemento en HCl, una posterior filtración y una nueva digestión con NaOH. El residuo resultante es calcinado y pesado.

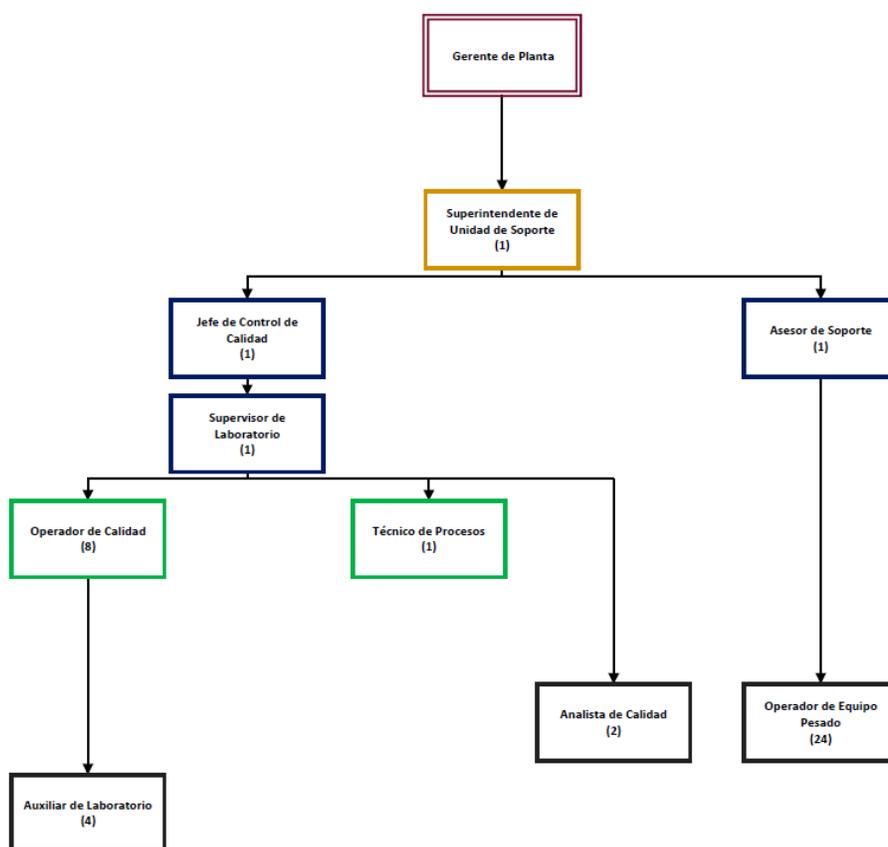
Cuando se emplea este método en cementos mezclados, la muestra se considera totalmente descompuesta, cuando todo el clinker del cemento ha sido completamente disuelto.

ANEXO 9 ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN

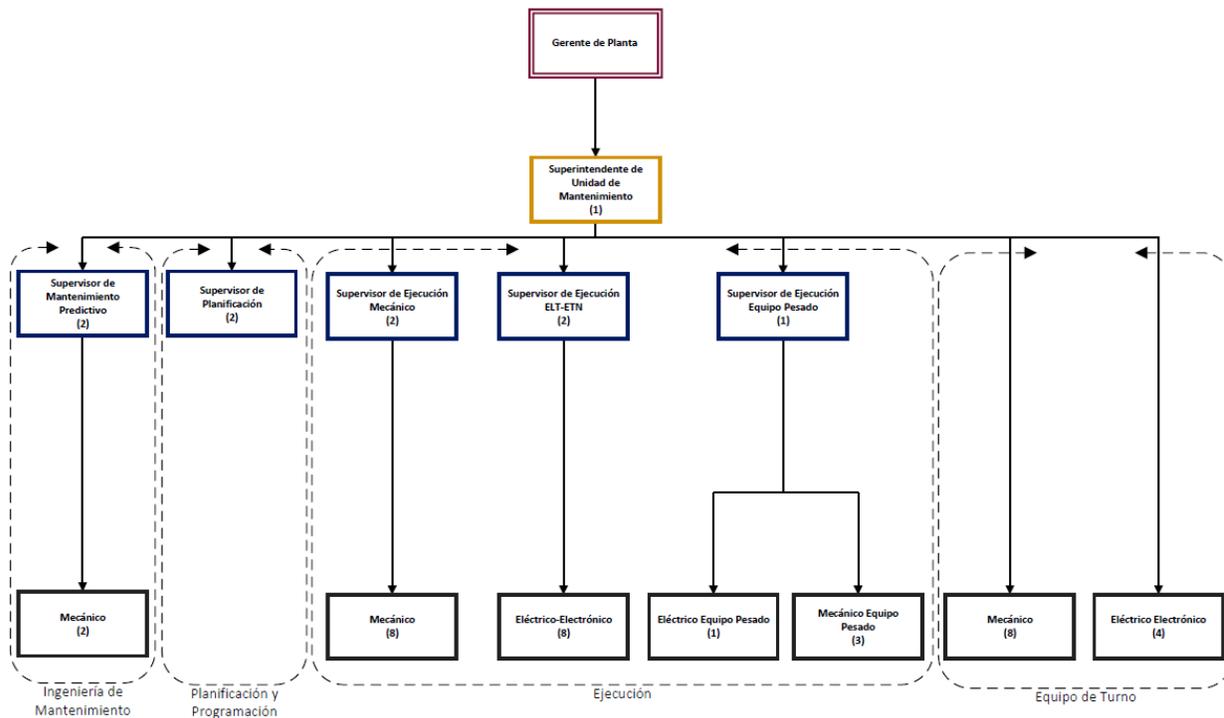
UNIDAD DE PRODUCCION



UNIDAD DE SOPORTE



UNIDAD DE MANTENIMIENTO



Fuente: ESTRUCTURAS ORGANIZACIONALES RRT-RHU.RH.130 SOBOCE S.A, 2017.

ANEXO 10 FOTOGRAFÍAS DE OBSTRUCCIÓN EN EL PRE-CALENTADOR DEL HORNO FLS



Fuente: Elaboración propia, 2023

ANEXO 11 FOTOGRAFÍAS DEL MUESTREO EN LA LINEA DE CEMENTO Y MATERIALES EN DOSIFICACIÓN

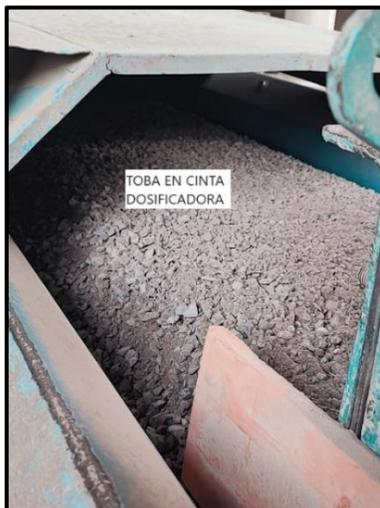
Puntos de muestreo punto de muestreo elevador a silo de cemento Planta EL Punte



Muestras de polvo del filtro y cemento IP-30



Línea de dosificadoras cemento Planta EL Punte:



Mezclas Finales



Fuente: Elaboración propia, muestreo línea de cemento El Punte, 2023.

ANEXO 12 INFORME FOTOGRÁFICO ENSAYOS QUÍMICOS

NB-061 Cemento - Análisis químico (Perdidas por calcinación)



NB-061 Cemento - Análisis químico (Residuo Insoluble)





Análisis químico por fluorescencia de Rayos X - ISO 29581-2 (MgO; SO₃)



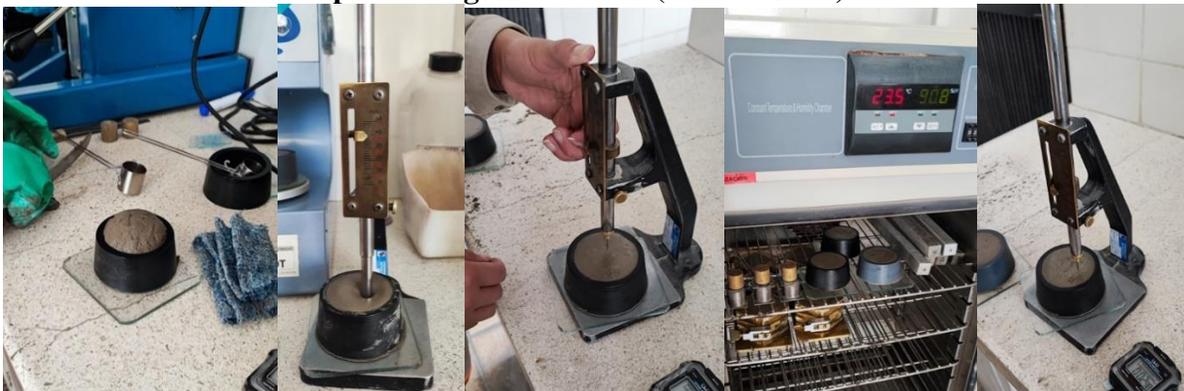
Fuente: Elaboración propia, 2023

ANEXO 13 INFORME FOTOGRÁFICO ENSAYOS FÍSICOS

NB470 Determinación de resistencias a la compresión



Determinación del Tiempo de Fraguado NB063 (ASTM C191)



Determinación de la Estabilidad del Volumen Le Chatelier NB643



Determinación de la Superficie Específica Blaine NB 472 (ASTM C204)



Fuente: Elaboración propia, 2023

ANEXO 14 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS SOFTWARE MINITAB

Para el análisis estadístico en general se usa el software validado minitab.

Análisis químico por fluorescencia de Rayos X - ISO 29581-2 (MgO)

Estadísticos descriptivos (MgO)

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
IP30 0%PVF	4	3,0750	0,0290	0,0580	0,0034	1,89	3,0000	3,0850	3,1300
IP30 3%PVF	4	3,1125	0,0232	0,0465	0,0022	1,49	3,0500	3,1200	3,1600
IP30 5%PVF	4	3,2375	0,0272	0,0544	0,0030	1,68	3,1800	3,2300	3,3100
IP30 7%PVF	4	3,4225	0,0278	0,0556	0,0031	1,62	3,3600	3,4200	3,4900

Fuente: Elaboración Propia (software validado minitab)

ANOVA de un solo factor: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... 30 7%PVF

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 5%PVF; IP30 7%PVF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	0,29452	0,098173	33,93	0,000
Error	12	0,03473	0,002894		
Total	15	0,32924			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0537936	89,45%	86,82%	81,25%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
IP30 0%PVF	4	3,0750	0,0580	(3,0164; 3,1336)
IP30 3%PVF	4	3,1125	0,0465	(3,0539; 3,1711)
IP30 5%PVF	4	3,2375	0,0544	(3,1789; 3,2961)
IP30 7%PVF	4	3,4225	0,0556	(3,3639; 3,4811)

Desv.Est. agrupada = 0,0537936

Comparaciones en parejas de Tukey

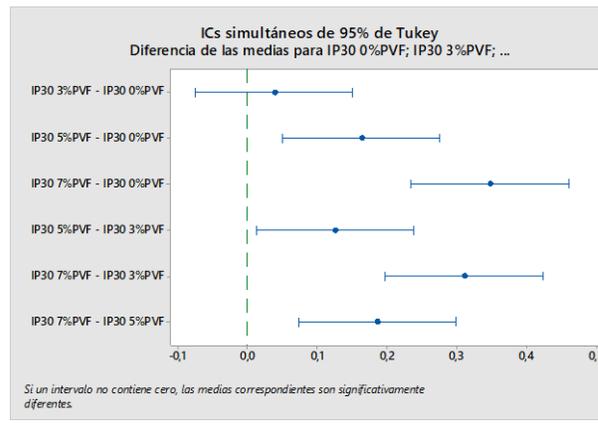
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
--------	---	-------	------------

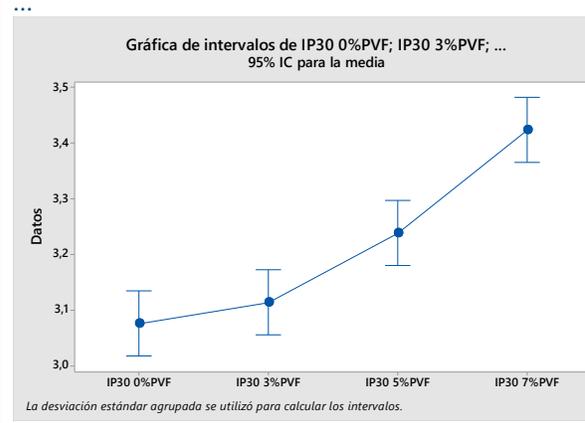
IP30 7%PVF	4	3,4225	A
IP30 5%PVF	4	3,2375	B
IP30 3%PVF	4	3,1125	C
IP30 0%PVF	4	3,0750	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

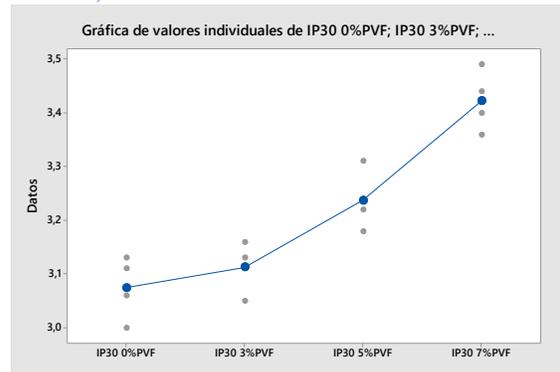
ICs simultáneos de 95% de Tukey



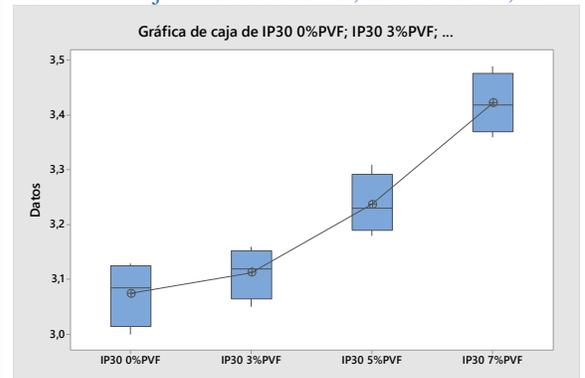
Gráfica de intervalos de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



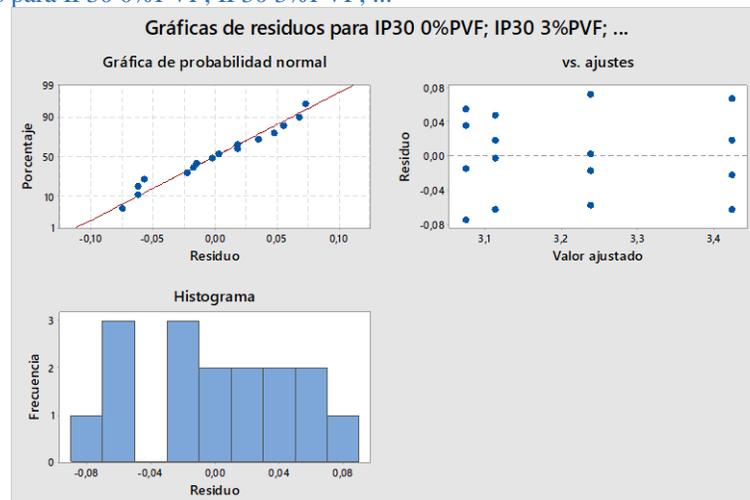
Gráfica de valores individuales de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráfica de caja de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráficas de residuos para IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Análisis químico por fluorescencia de Rayos X - ISO 29581-2 (SO₃)

Estadísticos descriptivos: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... P30 7%PVF

Estadísticas

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
IP30 0%PVF	4	1,7875	0,0266	0,0532	0,0028	2,97	1,7300	1,7850	1,8500
IP30 3%PVF	4	1,7775	0,0125	0,0250	0,0006	1,41	1,7500	1,7750	1,8100
IP30 5%PVF	4	1,7875	0,0229	0,0457	0,0021	2,56	1,7300	1,7900	1,8400
IP30 7%PVF	4	1,7100	0,0258	0,0516	0,0027	3,02	1,6500	1,7100	1,7700

ANOVA de un solo factor: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... 30 7%PVF

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 5%PVF; IP30 7%PVF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	0,01677	0,005590	2,72	0,091
Error	12	0,02463	0,002052		
Total	15	0,04139			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0452999	40,51%	25,64%	0,00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
IP30 0%PVF	4	1,7875	0,0532	(1,7381; 1,8369)
IP30 3%PVF	4	1,7775	0,0250	(1,7281; 1,8269)
IP30 5%PVF	4	1,7875	0,0457	(1,7381; 1,8369)
IP30 7%PVF	4	1,7100	0,0516	(1,6606; 1,7594)

Desv.Est. agrupada = 0,0452999

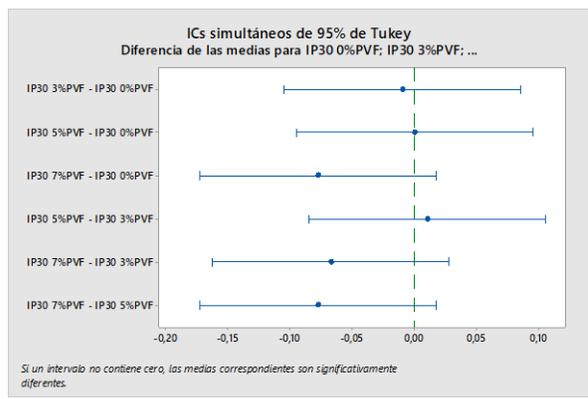
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

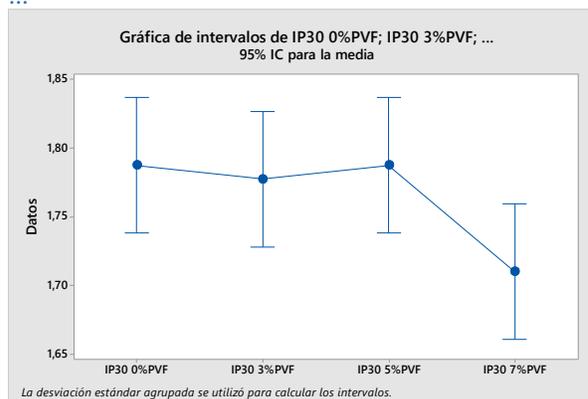
Factor	N	Media	Agrupación
IP30 0%PVF	4	1,7875	A
IP30 5%PVF	4	1,7875	A
IP30 3%PVF	4	1,7775	A
IP30 7%PVF	4	1,7100	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

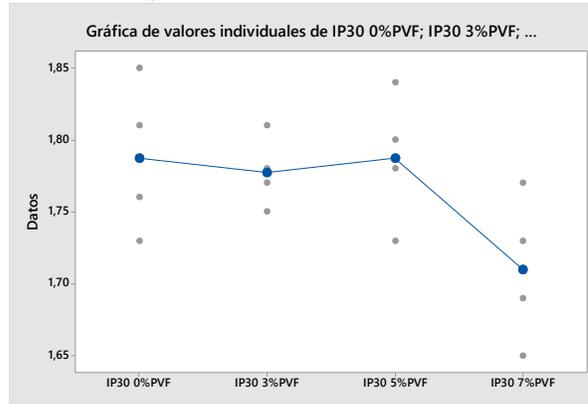
ICs simultáneos de 95% de Tukey



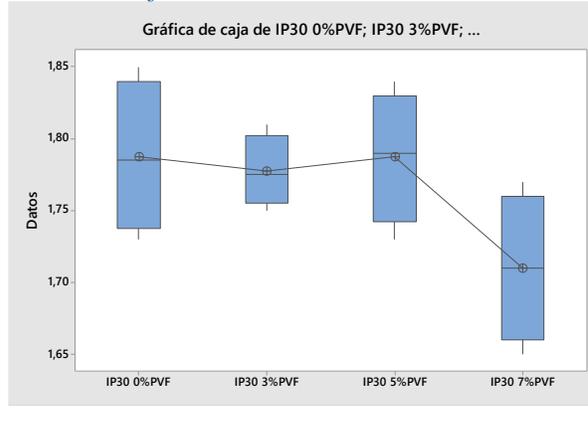
Gráfica de intervalos de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



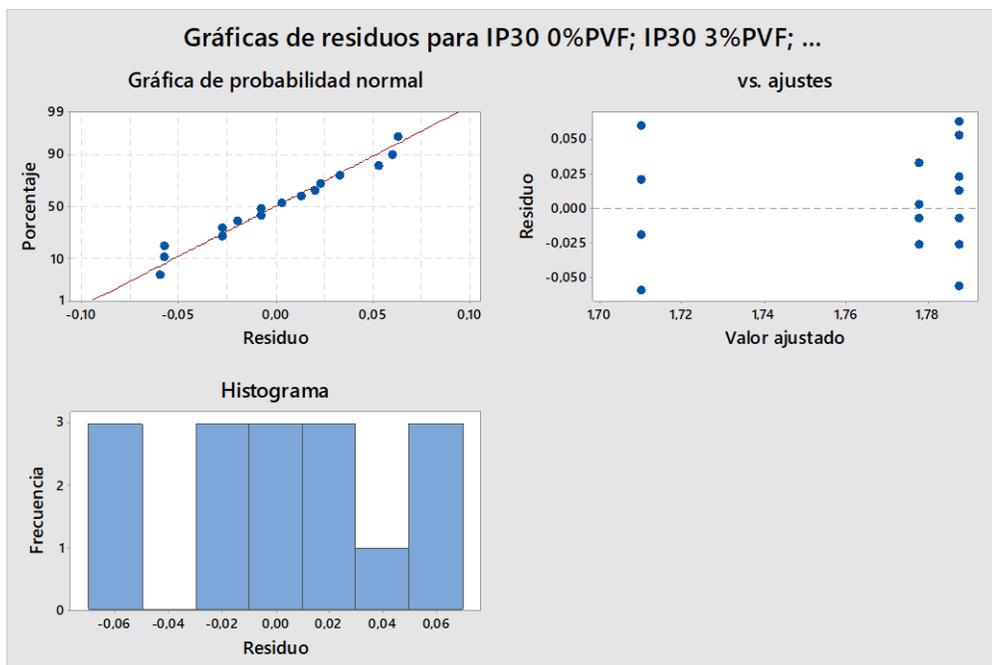
Gráfica de valores individuales de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráfica de caja de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráficas de residuos para IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



NB 061. Determinación de las pérdidas por calcinación (LOI). Tercera revisión: 2013-12-31

Estadísticos descriptivos: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... P30 7%PVF

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
IP30 0%PVF	4	3,6150	0,0155	0,0311	0,0010	0,86	3,5800	3,6150	3,6500
IP30 3%PVF	4	4,3555	0,0198	0,0395	0,0016	0,91	4,3100	4,3550	4,4021
IP30 5%PVF	4	4,9272	0,0218	0,0437	0,0019	0,89	4,8858	4,9177	4,9874
IP30 7%PVF	4	5,5478	0,0340	0,0681	0,0046	1,23	5,4461	5,5771	5,5909

ANOVA de un solo factor: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... 30 7%PVF

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$ *Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 5%PVF; IP30 7%PVF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	8,10772	2,70257	1176,10	0,000
Error	12	0,02758	0,00230		
Total	15	8,13529			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0479366	99,66%	99,58%	99,40%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
IP30 0%PVF	4	3,6150	0,0311	(3,5628; 3,6672)
IP30 3%PVF	4	4,3550	0,0387	(4,3028; 4,4072)
IP30 5%PVF	4	4,9225	0,0419	(4,8703; 4,9747)
IP30 7%PVF	4	5,5450	0,0705	(5,4928; 5,5972)

Desv.Est. agrupada = 0,0479366

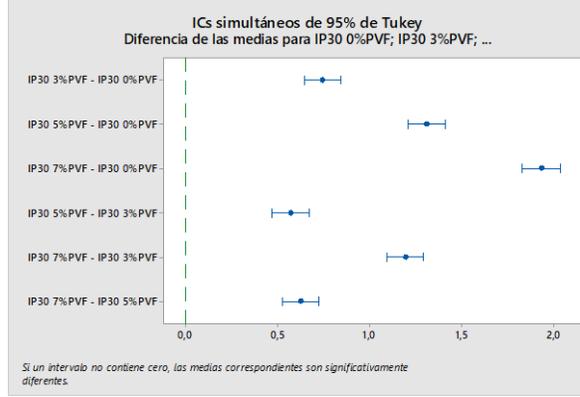
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

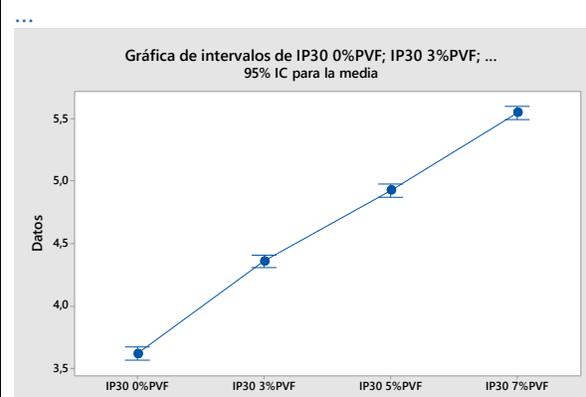
Factor	N	Media	Agrupación
IP30 7%PVF	4	5,5450	A
IP30 5%PVF	4	4,9225	B
IP30 3%PVF	4	4,3550	C
IP30 0%PVF	4	3,6150	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

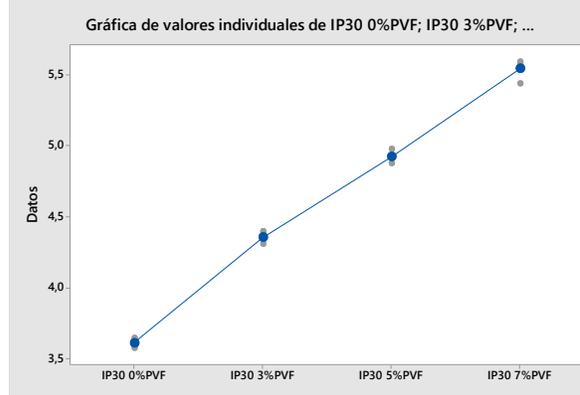
ICs simultáneos de 95% de Tukey



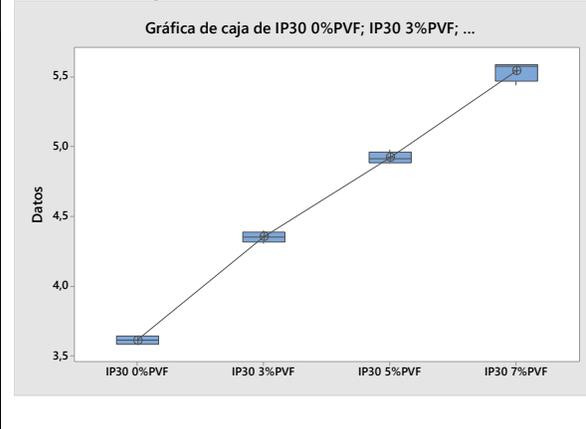
Gráfica de intervalos de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



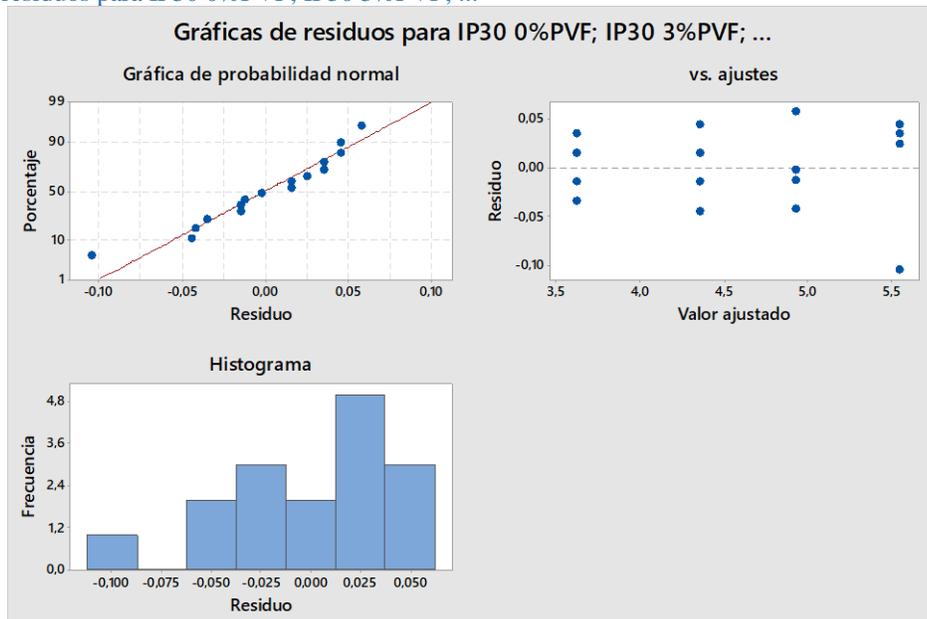
Gráfica de valores individuales de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráfica de caja de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráficas de residuos para IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



NB 061. Determinación de residuo insoluble (RI). Tercera revisión: 2013-12-31

Estadísticos descriptivos: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... P30 7%PVF

Estadísticas

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
IP30 0%PVF	4	15,807	0,0473	0,0946	0,0090	0,60	15,670	15,845	15,870
IP30 3%PVF	4	15,692	0,0512	0,102	0,0105	0,65	15,540	15,735	15,760
IP30 5%PVF	4	15,623	0,0131	0,0263	0,0007	0,17	15,600	15,620	15,650
IP30 7%PVF	4	15,587	0,0225	0,0450	0,0020	0,29	15,530	15,590	15,640

ANOVA de un solo factor: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... 30 7%PVF

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$ *Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 5%PVF; IP30 7%PVF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	0,11300	0,037667	6,80	0,006
Error	12	0,06650	0,005542		
Total	15	0,17950			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0744424	62,95%	53,69%	34,14%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
IP30 0%PVF	4	15,8075	0,0946	(15,7264; 15,8886)
IP30 3%PVF	4	15,6925	0,1024	(15,6114; 15,7736)
IP30 5%PVF	4	15,6225	0,0263	(15,5414; 15,7036)
IP30 7%PVF	4	15,5875	0,0450	(15,5064; 15,6686)

Desv.Est. agrupada = 0,0744424

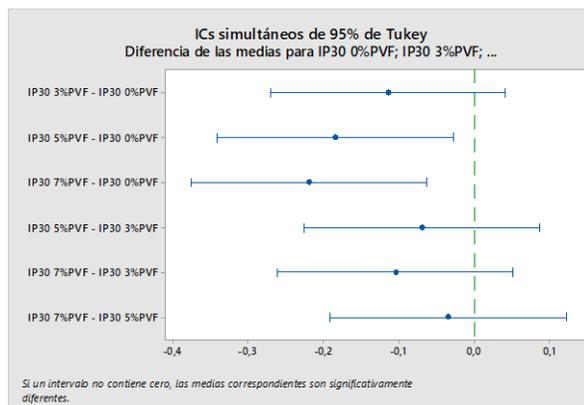
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

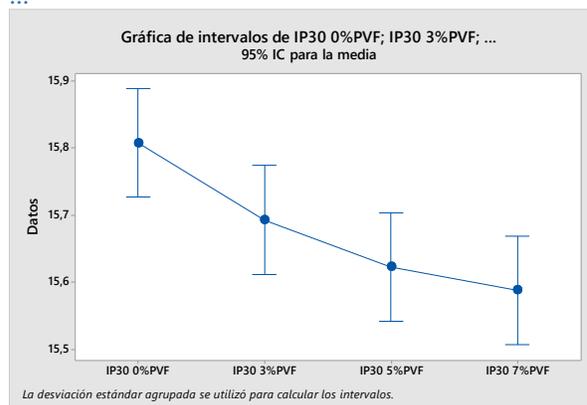
Factor	N	Media	Agrupación
IP30 0%PVF	4	15,8075	A
IP30 3%PVF	4	15,6925	A B
IP30 5%PVF	4	15,6225	B
IP30 7%PVF	4	15,5875	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

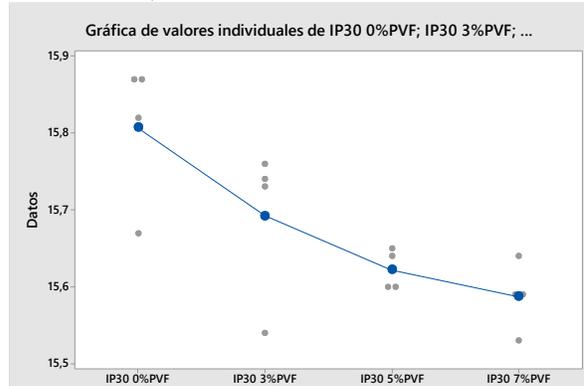
ICs simultáneos de 95% de Tukey



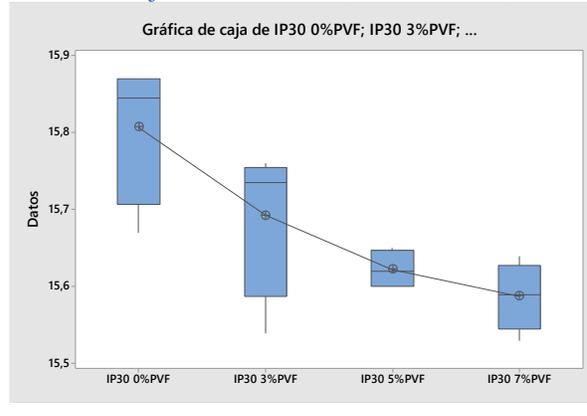
Gráfica de intervalos de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



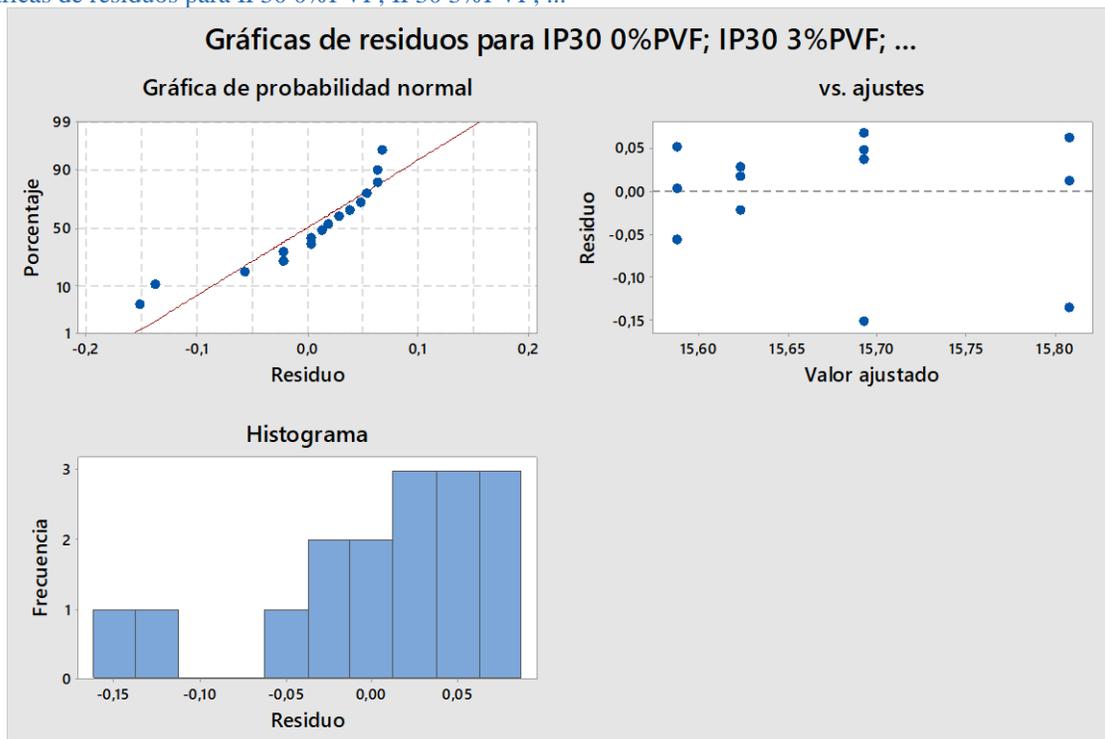
Gráfica de valores individuales de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráfica de caja de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráficas de residuos para IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Determinación de la Superficie Específica Blaine

Estadísticos descriptivos: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... P30 7%PVF

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
IP30 0%PVF	4	4729,5	18,9	37,8	1429,7	0,80	4700,0	4719,0	4780,0
IP30 3%PVF	4	4884,0	15,4	30,9	952,0	0,63	4856,0	4876,0	4928,0
IP30 5%PVF	4	5013,8	10,2	20,4	416,3	0,41	4992,0	5014,5	5034,0
IP30 7%PVF	4	5117,8	20,4	40,8	1661,6	0,80	5073,0	5116,0	5166,0

ANOVA de un solo factor: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... 30 7%PVF

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 5%PVF; IP30 7%PVF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	337697	112566	100,97	0,000
Error	12	13379	1115		
Total	15	351075			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
33,3897	96,19%	95,24%	93,23%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
IP30 0%PVF	4	4729,5	37,8	(4693,1; 4765,9)
IP30 3%PVF	4	4884,0	30,9	(4847,6; 4920,4)
IP30 5%PVF	4	5013,8	20,4	(4977,4; 5050,1)
IP30 7%PVF	4	5117,8	40,8	(5081,4; 5154,1)

Desv.Est. agrupada = 33,3897

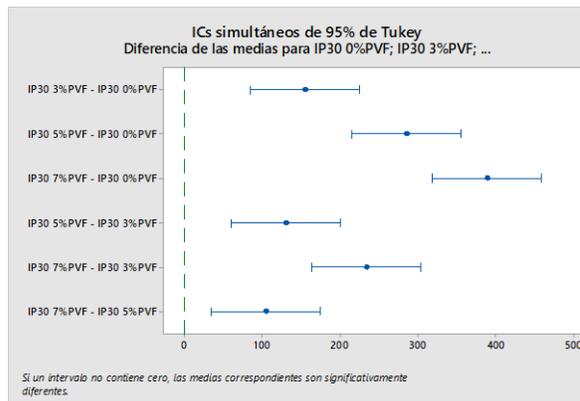
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

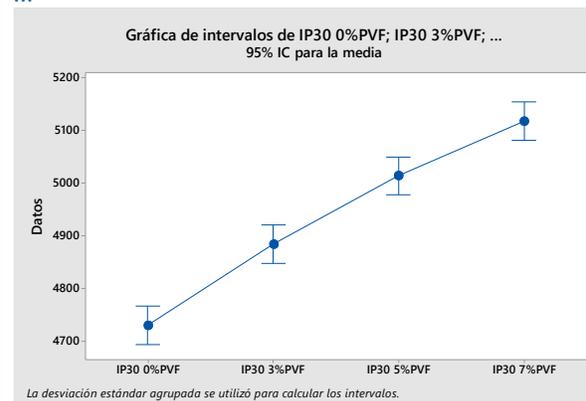
Factor	N	Media	Agrupación
IP30 7%PVF	4	5117,8	A
IP30 5%PVF	4	5013,8	B
IP30 3%PVF	4	4884,0	C
IP30 0%PVF	4	4729,5	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

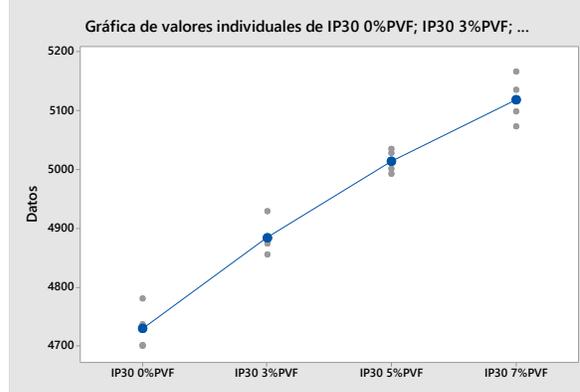
ICs simultáneos de 95% de Tukey



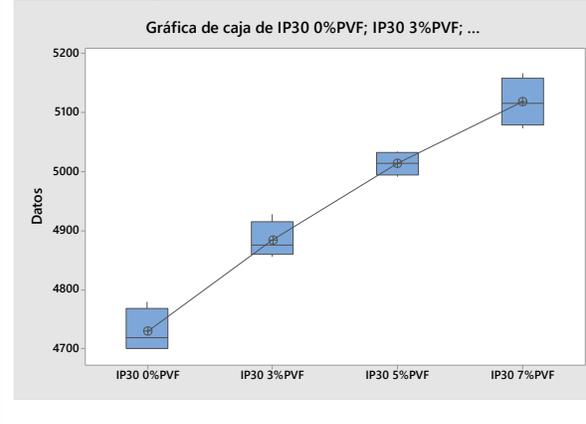
Gráfica de intervalos de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



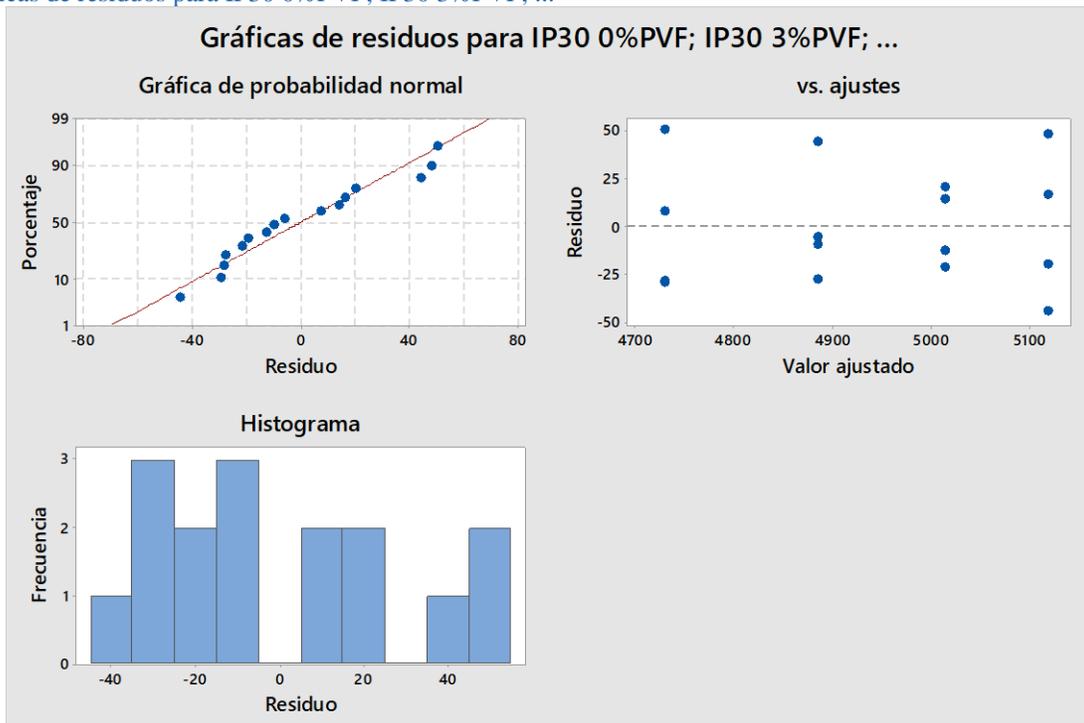
Gráfica de valores individuales de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráfica de caja de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráficas de residuos para IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Determinación del Tiempo de Fraguado inicial

Estadísticos descriptivos: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... P30 7%PVF

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
IP30 0%PVF	4	153,25	1,65	3,30	10,92	2,16	150,00	153,00	157,00
IP30 3%PVF	4	157,75	1,80	3,59	12,92	2,28	153,00	158,50	161,00
IP30 5%PVF	4	164,75	3,42	6,85	46,92	4,16	155,00	167,00	170,00
IP30 7%PVF	4	168,25	3,01	6,02	36,25	3,58	160,00	169,50	174,00

ANOVA de un solo factor: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... 30 7%PVF

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 5%PVF; IP30 7%PVF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	549,0	183,00	6,84	0,006
Error	12	321,0	26,75		
Total	15	870,0			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
5,17204	63,10%	53,88%	34,41%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
IP30 0%PVF	4	153,25	3,30	(147,62; 158,88)
IP30 3%PVF	4	157,75	3,59	(152,12; 163,38)
IP30 5%PVF	4	164,75	6,85	(159,12; 170,38)
IP30 7%PVF	4	168,25	6,02	(162,62; 173,88)

Desv.Est. agrupada = 5,17204

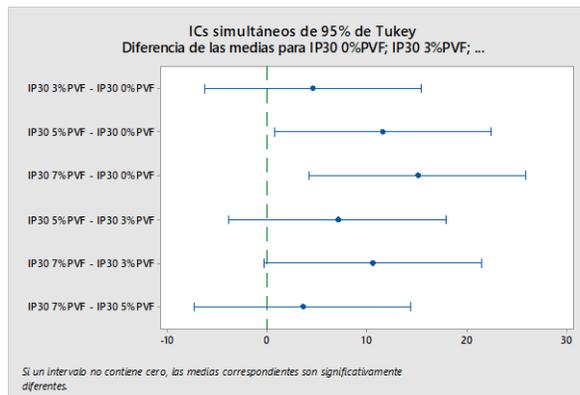
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

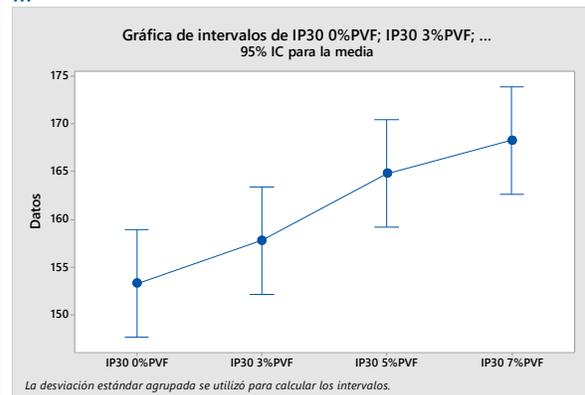
Factor	N	Media	Agrupación
IP30 7%PVF	4	168,25	A
IP30 5%PVF	4	164,75	A
IP30 3%PVF	4	157,75	A B
IP30 0%PVF	4	153,25	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

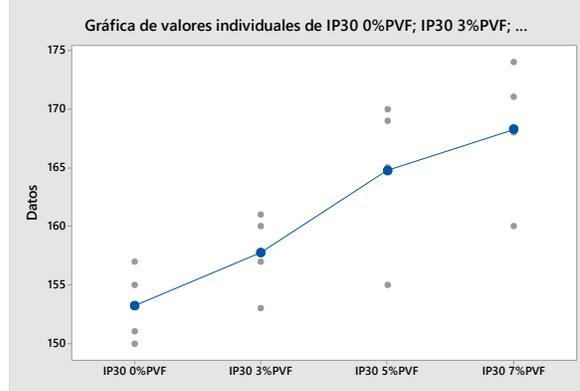
ICs simultáneos de 95% de Tukey



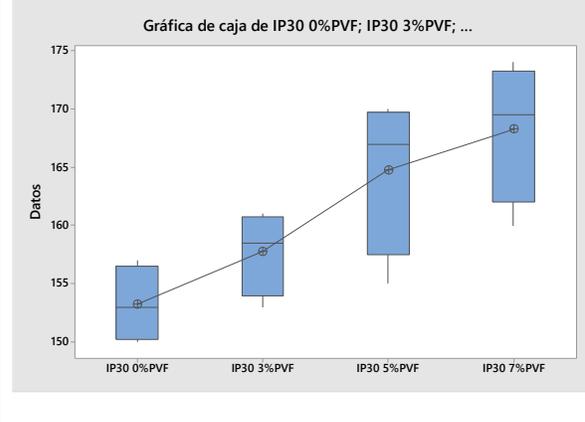
Gráfica de intervalos de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



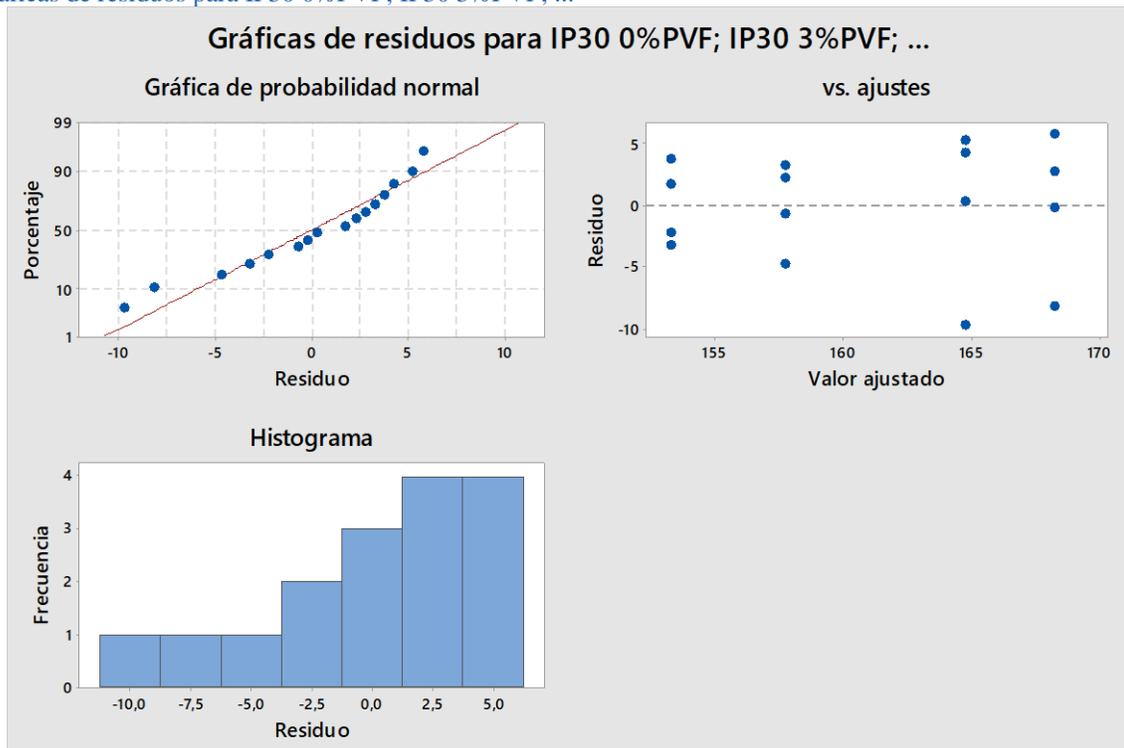
Gráfica de valores individuales de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráfica de caja de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráficas de residuos para IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Determinación del Tiempo Fraguado final

Estadísticos descriptivos: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... P30 7%PVF

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
IP30 0%PVF	4	278,75	5,15	10,31	106,25	3,70	265,00	280,00	290,00
IP30 3%PVF	4	286,25	4,27	8,54	72,92	2,98	275,00	287,50	295,00
IP30 5%PVF	4	287,50	3,23	6,45	41,67	2,25	280,00	287,50	295,00
IP30 7%PVF	4	285,00	3,54	7,07	50,00	2,48	280,00	282,50	295,00

ANOVA de un solo factor: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... 30 7%PVF

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 5%PVF; IP30 7%PVF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	181,3	60,42	0,89	0,473
Error	12	812,5	67,71		
Total	15	993,7			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
8,22851	18,24%	0,00%	0,00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
IP30 0%PVF	4	278,75	10,31	(269,79; 287,71)
IP30 3%PVF	4	286,25	8,54	(277,29; 295,21)
IP30 5%PVF	4	287,50	6,45	(278,54; 296,46)
IP30 7%PVF	4	285,00	7,07	(276,04; 293,96)

Desv.Est. agrupada = 8,22851

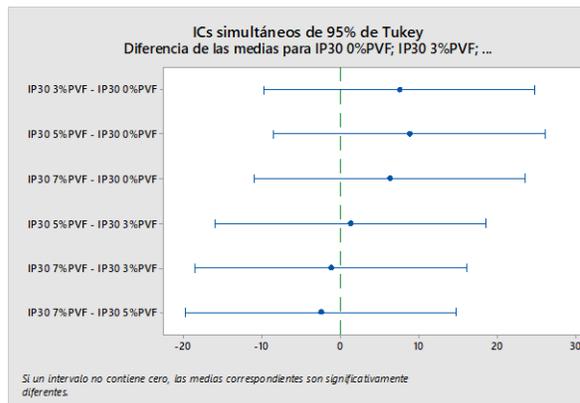
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

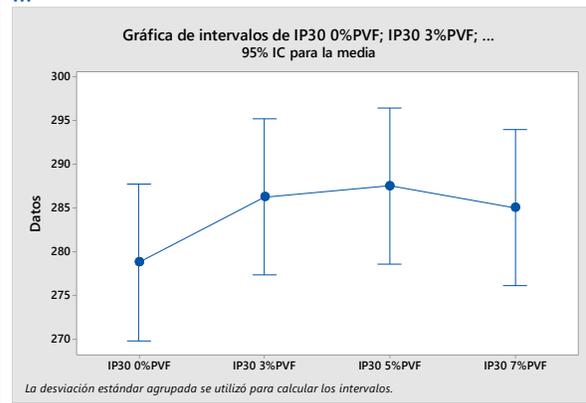
Factor	N	Media	Agrupación
IP30 5%PVF	4	287,50	A
IP30 3%PVF	4	286,25	A
IP30 7%PVF	4	285,00	A
IP30 0%PVF	4	278,75	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

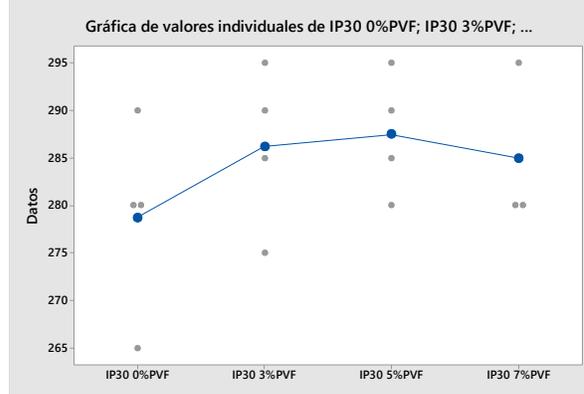
ICs simultáneos de 95% de Tukey



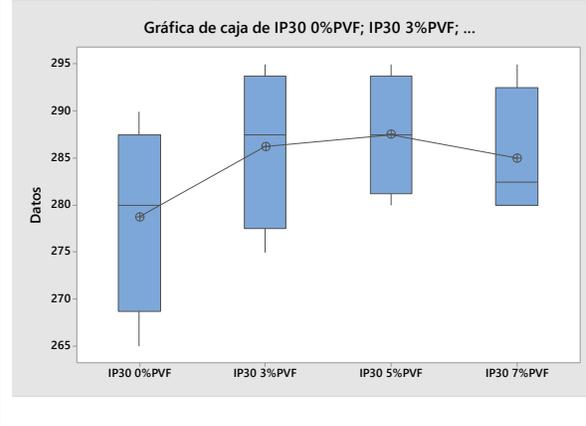
Gráfica de intervalos de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



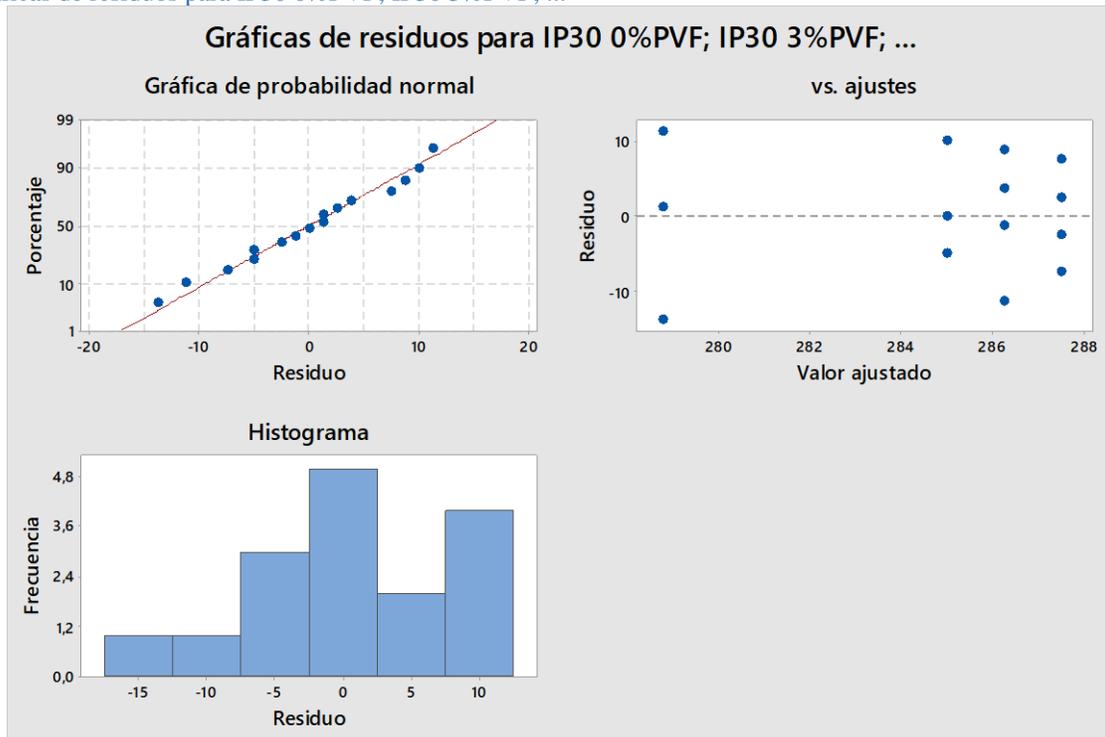
Gráfica de valores individuales de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráfica de caja de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráficas de residuos para IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Determinación de la Estabilidad del Volumen Le Chatelier

Estadísticos descriptivos: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... P30 7%PVF

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
IP30 0%PVF	4	0,5350	0,0849	0,1698	0,0288	31,74	0,3000	0,5750	0,6900
IP30 3%PVF	4	0,4225	0,0466	0,0932	0,0087	22,07	0,3000	0,4450	0,5000
IP30 5%PVF	4	0,4025	0,0904	0,1808	0,0327	44,92	0,2000	0,4050	0,6000
IP30 7%PVF	4	0,0725	0,0440	0,0881	0,0078	121,49	0,0000	0,0500	0,1900

ANOVA de un solo factor: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... 30 7%PVF

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 5%PVF; IP30 7%PVF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	0,4759	0,15864	8,14	0,003
Error	12	0,2339	0,01949		
Total	15	0,7098			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,139620	67,05%	58,81%	41,41%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
IP30 0%PVF	4	0,5350	0,1698	(0,3829; 0,6871)
IP30 3%PVF	4	0,4225	0,0932	(0,2704; 0,5746)
IP30 5%PVF	4	0,4025	0,1808	(0,2504; 0,5546)
IP30 7%PVF	4	0,0725	0,0881	(-0,0796; 0,2246)

Desv.Est. agrupada = 0,139620

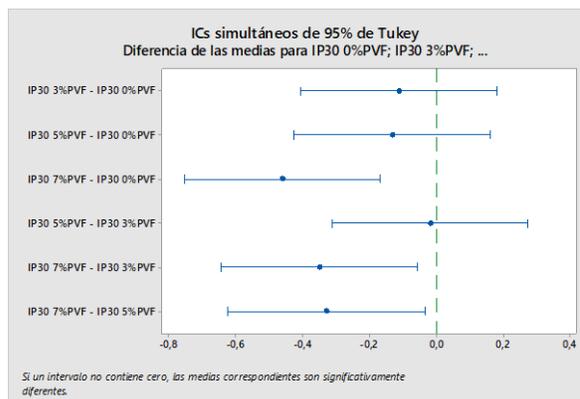
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

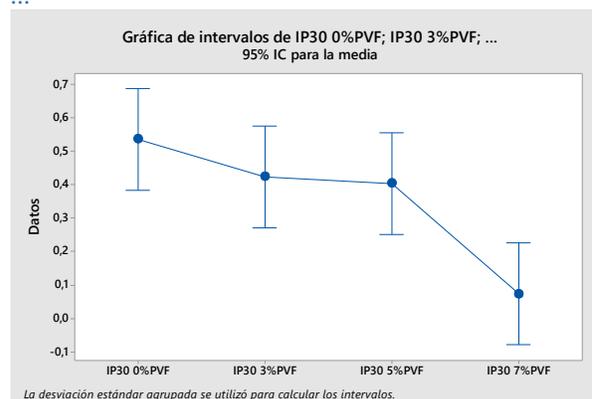
Factor	N	Media	Agrupación
IP30 0%PVF	4	0,5350	A
IP30 3%PVF	4	0,4225	A
IP30 5%PVF	4	0,4025	A
IP30 7%PVF	4	0,0725	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

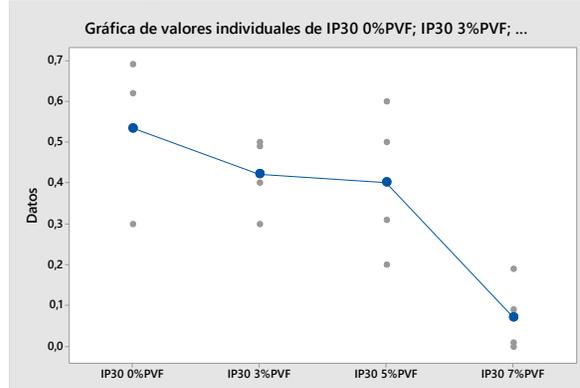
ICs simultáneos de 95% de Tukey



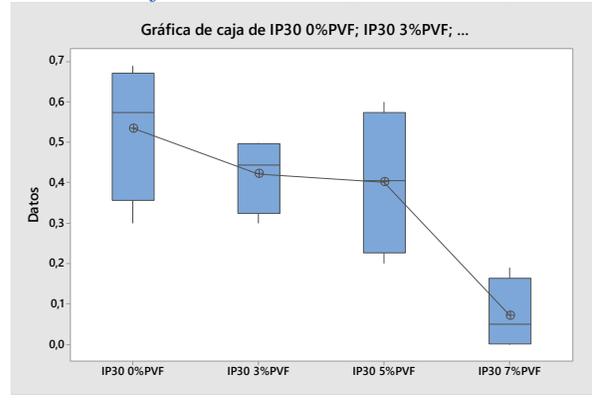
Gráfica de intervalos de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



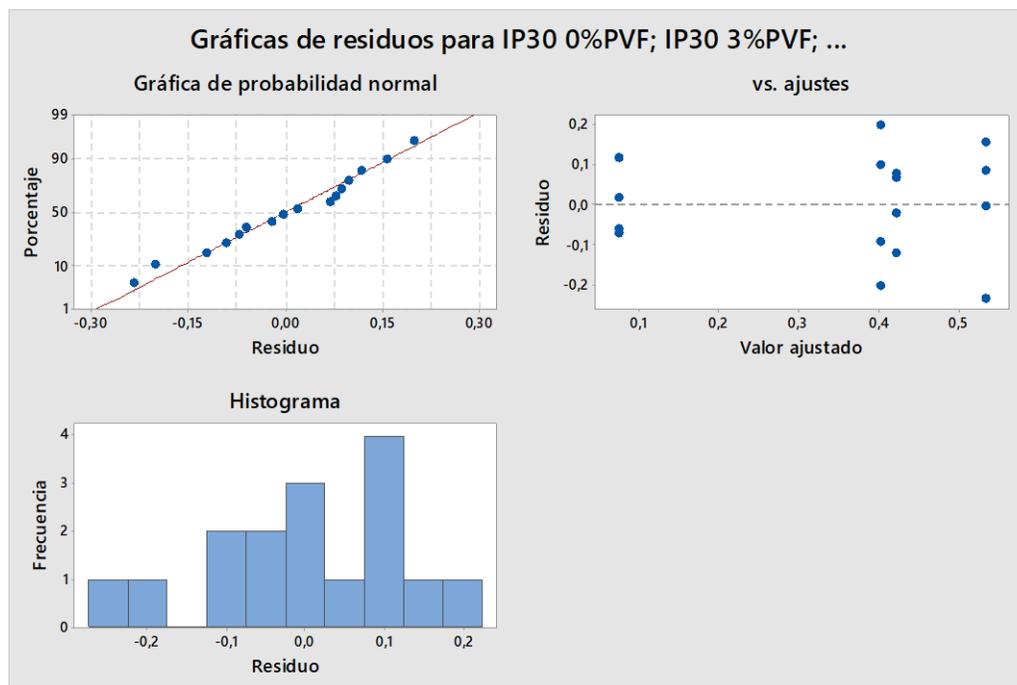
Gráfica de valores individuales de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráfica de caja de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráficas de residuos para IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



NB 470. Método determinación de la resistencia la compresión a 3 días

Estadísticos descriptivos: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... P30 7%PVF

Estadísticas

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
IP30 0%PVF	4	21,113	0,170	0,340	0,115	1,61	20,667	21,160	21,467
IP30 3%PVF	4	21,625	0,225	0,449	0,202	2,08	21,067	21,633	22,167
IP30 5%PVF	4	20,833	0,284	0,568	0,323	2,73	20,300	20,700	21,633
IP30 7%PVF	4	18,925	0,180	0,360	0,130	1,90	18,433	18,983	19,300

ANOVA de un solo factor: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... 30 7%PVF**Método**

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$ *Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.***Información del factor**

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 5%PVF; IP30 7%PVF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	16,687	5,5625	28,90	0,000
Error	12	2,310	0,1925		
Total	15	18,998			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,438750	87,84%	84,80%	78,38%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
IP30 0%PVF	4	21,113	0,340	(20,635; 21,591)
IP30 3%PVF	4	21,625	0,449	(21,147; 22,103)
IP30 5%PVF	4	20,833	0,568	(20,355; 21,311)
IP30 7%PVF	4	18,925	0,360	(18,447; 19,403)

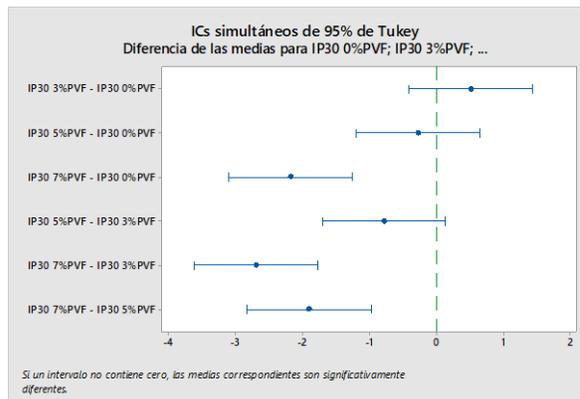
*Desv.Est. agrupada = 0,438750***Comparaciones en parejas de Tukey**

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

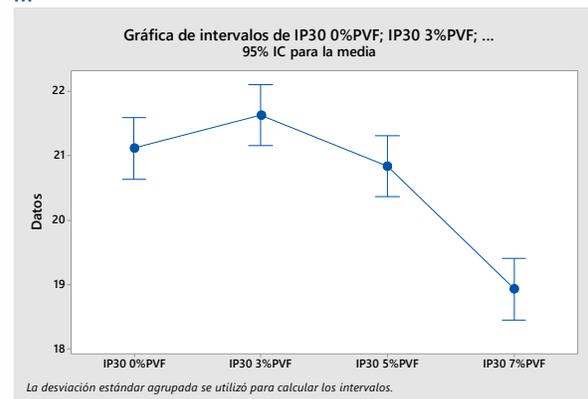
Factor	N	Media	Agrupación
IP30 3%PVF	4	21,625	A
IP30 0%PVF	4	21,113	A
IP30 5%PVF	4	20,833	A
IP30 7%PVF	4	18,925	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

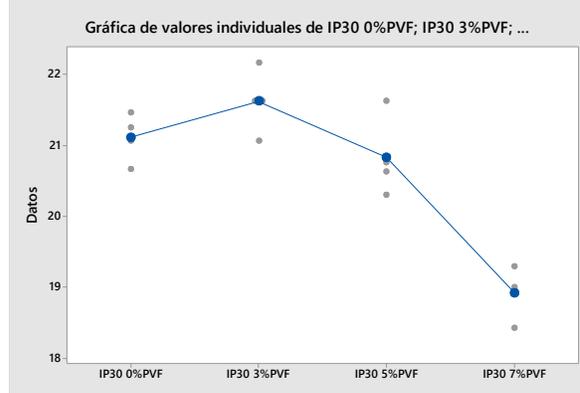
ICs simultáneos de 95% de Tukey



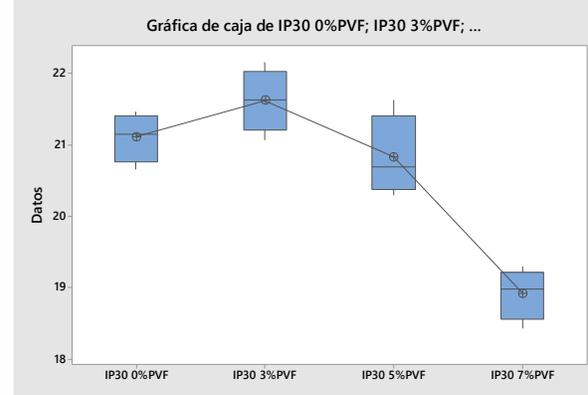
Gráfica de intervalos de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



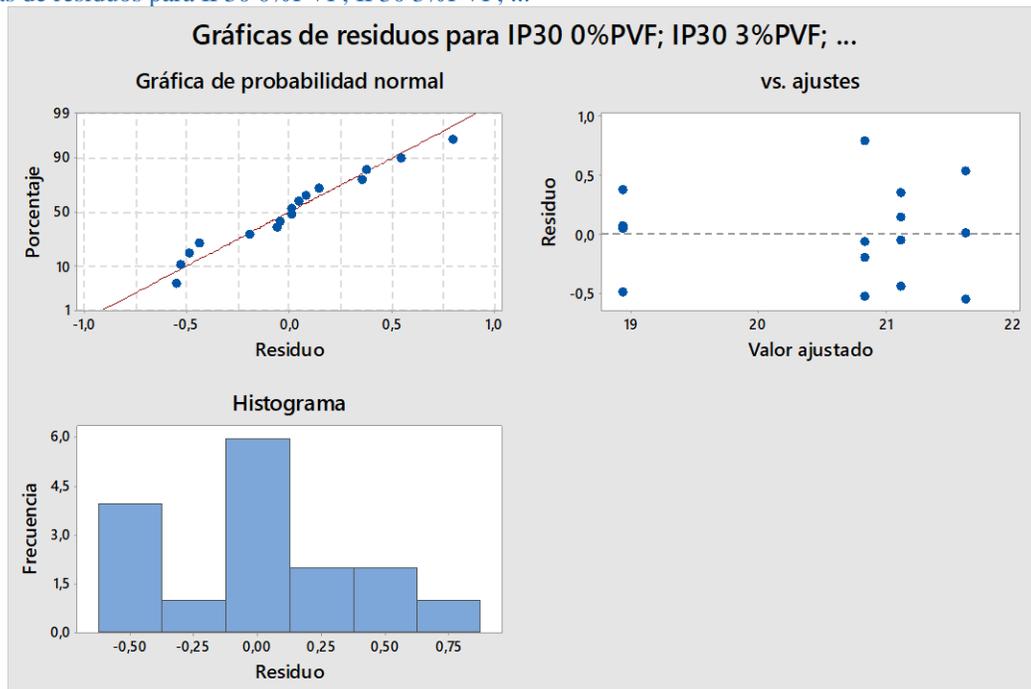
Gráfica de valores individuales de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráfica de caja de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráficas de residuos para IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



NB 470. Método determinación de la resistencia la compresión a 7 días

Estadísticos descriptivos: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... P30 7%PVF
Estadísticas

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
IP30 0%PVF	4	27,433	0,146	0,292	0,085	1,06	27,033	27,483	27,733
IP30 3%PVF	4	28,592	0,106	0,211	0,045	0,74	28,300	28,633	28,800
IP30 5%PVF	4	27,883	0,320	0,640	0,410	2,30	27,100	27,967	28,500
IP30 7%PVF	4	24,742	0,422	0,845	0,714	3,41	23,633	24,850	25,633

ANOVA de un solo factor: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... 30 7%PVF

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 5%PVF; IP30 7%PVF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	33,984	11,3279	36,15	0,000
Error	12	3,761	0,3134		
Total	15	37,744			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,559803	90,04%	87,55%	82,29%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
IP30 0%PVF	4	27,433	0,292	(26,823; 28,043)
IP30 3%PVF	4	28,592	0,211	(27,982; 29,202)
IP30 5%PVF	4	27,883	0,640	(27,273; 28,493)
IP30 7%PVF	4	24,742	0,845	(24,132; 25,352)

Desv.Est. agrupada = 0,559803

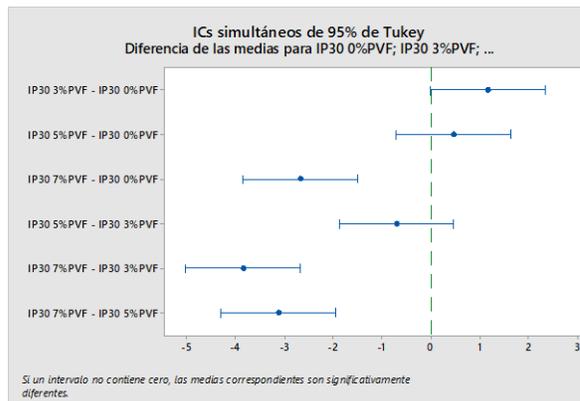
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

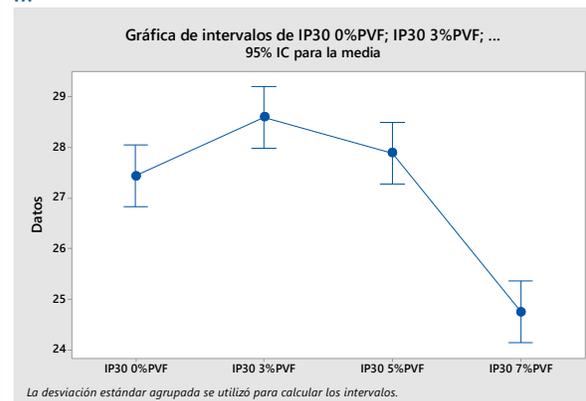
Factor	N	Media	Agrupación
IP30 3%PVF	4	28,592	A
IP30 5%PVF	4	27,883	A
IP30 0%PVF	4	27,433	A
IP30 7%PVF	4	24,742	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

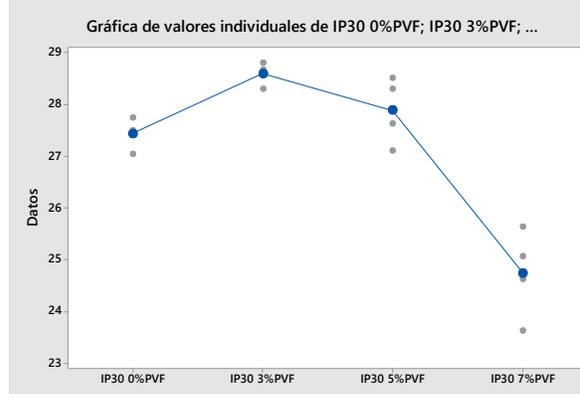
ICs simultáneos de 95% de Tukey



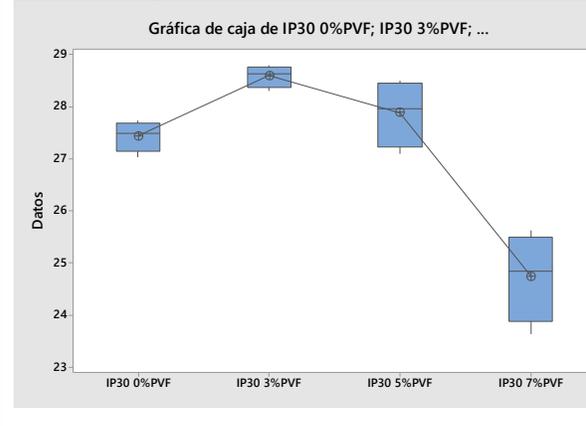
Gráfica de intervalos de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



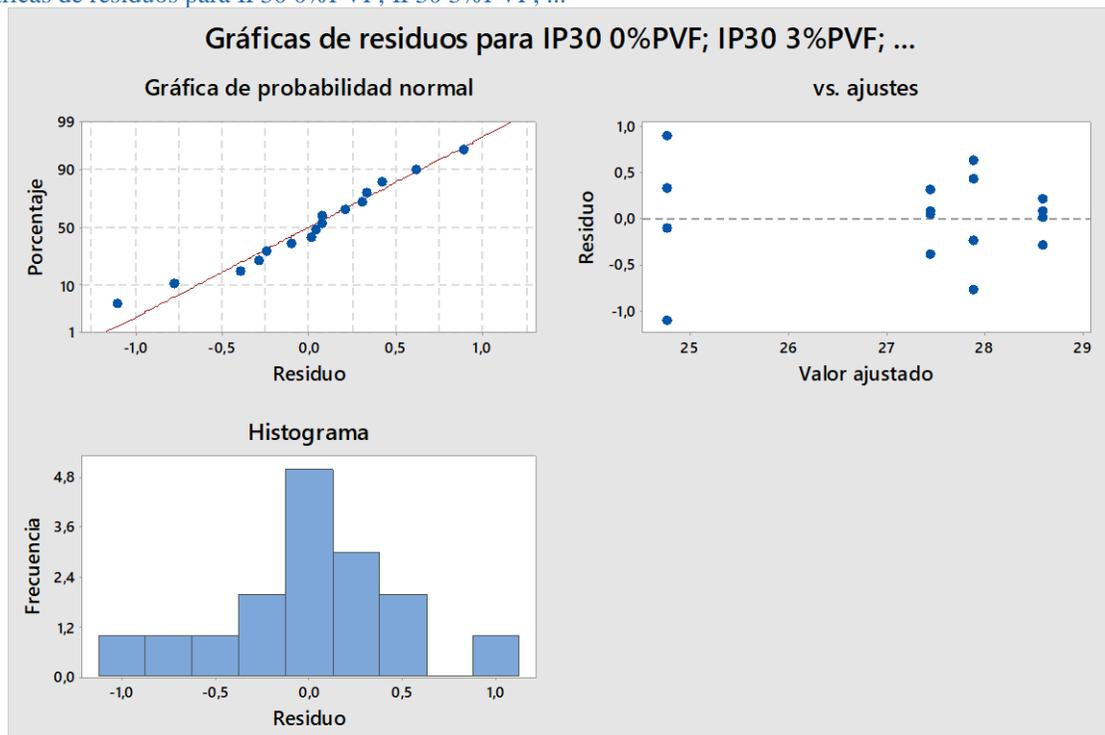
Gráfica de valores individuales de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráfica de caja de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráficas de residuos para IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



NB 470. Resumen método determinación de la resistencia la compresión a 28 DÍAS

Estadísticos descriptivos: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... P30 7%PVF

Estadísticas

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
IP30 0%PVF	4	33,028	0,223	0,447	0,200	1,35	32,380	33,167	33,400
IP30 3%PVF	4	32,734	0,266	0,532	0,283	1,63	32,157	32,733	33,313
IP30 5%PVF	4	31,244	0,292	0,583	0,340	1,87	30,400	31,472	31,633
IP30 7%PVF	4	28,510	0,617	1,234	1,523	4,33	26,707	28,967	29,400

ANOVA de un solo factor: IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 ... 30 7%PVF

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; IP30 5%PVF; IP30 7%PVF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	51,224	17,0748	29,11	0,000
Error	12	7,038	0,5865		
Total	15	58,262			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,765825	87,92%	84,90%	78,53%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
IP30 0%PVF	4	33,028	0,447	(32,194; 33,863)
IP30 3%PVF	4	32,734	0,532	(31,900; 33,568)
IP30 5%PVF	4	31,244	0,583	(30,410; 32,078)
IP30 7%PVF	4	28,510	1,234	(27,676; 29,344)

Desv.Est. agrupada = 0,765825

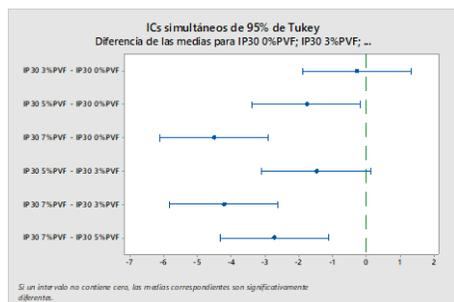
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

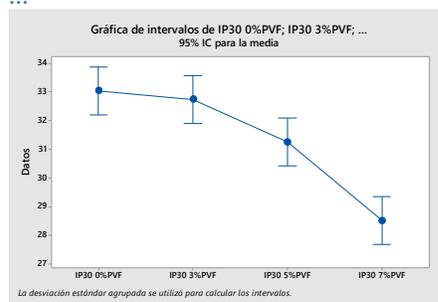
Factor	N	Media	Agrupación
IP30 0%PVF	4	33,028	A
IP30 3%PVF	4	32,734	A B
IP30 5%PVF	4	31,244	B
IP30 7%PVF	4	28,510	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

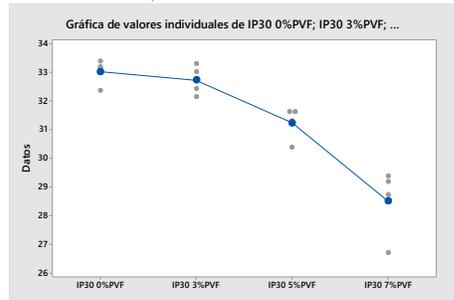
ICs simultáneos de 95% de Tukey



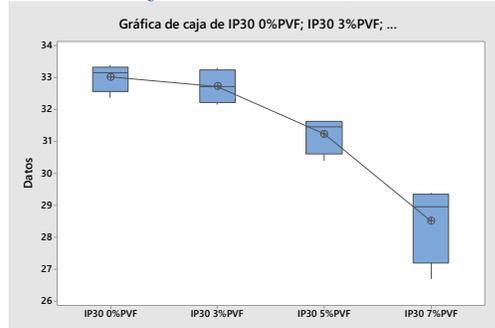
Gráfica de intervalos de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



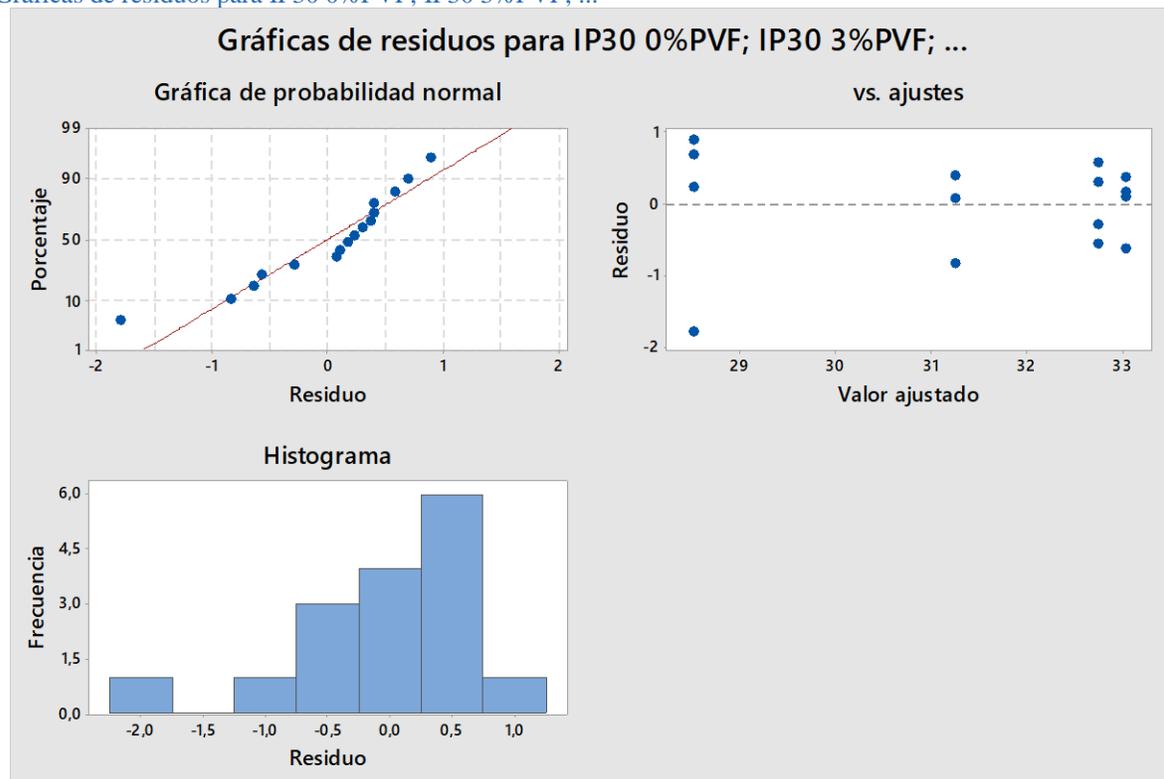
Gráfica de valores individuales de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráfica de caja de IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



Gráficas de residuos para IP30 0%PVF; IP30 3%PVF; ...



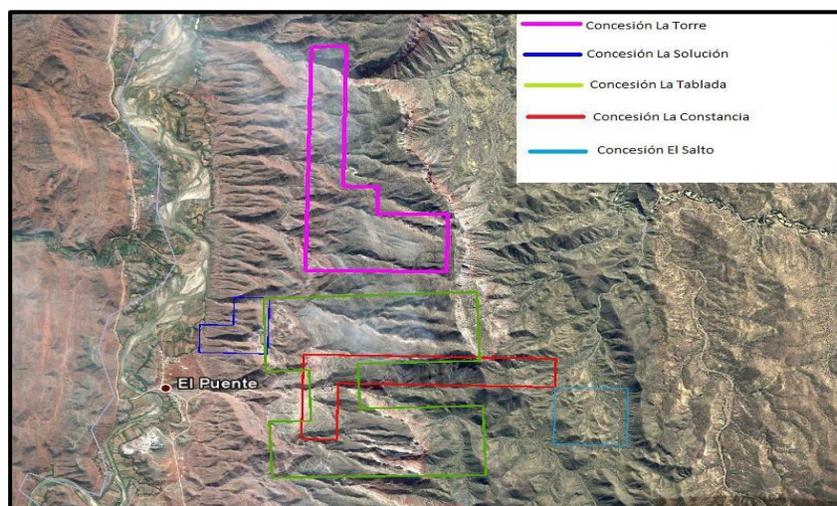
ANEXO 15 EXIGENCIAS QUÍMICAS. NORMA EUROPEA EN- 197-1

1	2	3	4	5
Propiedades	Ensayo de referencia	Tipo de cemento	Clase de resistencia	Exigencias 1*
Pérdida de calcinación	EN 196-2	CEM I	Todas	≤ 5,0%
		CEM III		
Residuo insoluble	EN 196-2 2*	CEM I	Todas	≤ 5,0%
		CEM III		
Sulfato (SO ₃)	EN 196-2	CEM I	32,5 N	≤ 3,5%
		CEM II 3*	32,5 R	
			42,5 N	
		CEM IV	42,5 R	≤ 4,0%
		CEM V	52,5 N	
			52,5 R	
CEM III 4*	Todas			
Cloruros	EN 196-21	Todas 5*	Todas	≤ 0,10% 6*
Puzolanidad	EN 196-5	CEM IV	Todas	Cumplir con el ensayo
1*	Las exigencias se dan en porcentajes en masa del cemento final.			
2*	Determinación del residuo insoluble en ácido clorhídrico y carbonato de sodio.			
3*	El cemento tipo CEM II/B-T puede contener hasta 4,5 % de SO ₃ para todas las clases de resistencia.			
4*	El cemento tipo CEM III/C puede contener hasta 4,5 % de SO ₃ .			
5*	El cemento tipo CEM II/b-t puede contener hasta 0,1 % de cloruros, pero en tal caso, el contenido máximo se debe consignar en los envases y albaranes de entrega.			
6*	Para aplicaciones de pretensado, el cemento se puede fabricar de acuerdo con valores más bajos. Si es así se debe reemplazar el valor de 0,10 % por este valor, el cual se debe consignar en los albaranes de entrega.			

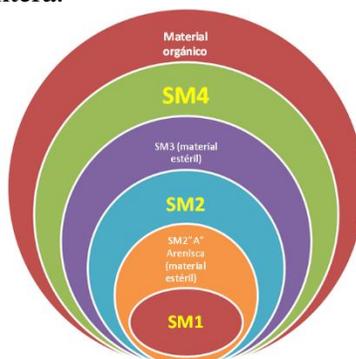
Fuente: UNE-EN 197-1:2000 Cemento. Parte1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.

ANEXO 16 CONSESIONES DE MATERIA PRIMA Y CONFORMACIÓN EN CANTERA

Concesiones de materia prima:



Formación de piedra caliza en cantera:



Fuente: Empresa de explotación y acopio de materia prima ESMICAL S.A. TARIJA, 2017

Se determinó la ubicación y características de las distintas canteras en las coordenadas ubicadas en los siguientes puntos:

Huayco: Se explota de este lugar piedra caliza de la misma se extrae de los yacimientos SM1 (porcentaje de carbonatos mayor a 85% y óxido de magnesio menor a 8%) y SM2 (carbonatos mayores a 50 % y óxido de magnesio menor a 3%)

Latitud este: 20273149 Latitud norte: 7649820 Altura: 2480 msnm

Salto: Actualmente en salto la explotación es casi nula ya que no cumple los parámetros requeridos de óxido de calcio, sílice, y alumina pero en el pasado se explotaba de aquí caliza SM1 y caliza SM2 (carbonatos mayor a 50 % y óxido de magnesio menor a 3%).

Latitud este: 20273390 Latitud norte: 7649875 Altura: 2504 msnm

SM 4: actualmente se explota caliza SM4 la cual se caracteriza por tener un elevado porcentaje de

carbonatos totales (mayor a 90 %) esta presenta la dificultad a veces de tener cantidades elevadas de carbonato de magnesio.

Latitud este: 20273167 Latitud norte: 7650442 Altura: 2554 msnm

Desmante toba y yeso: estas materias primas se encuentran juntas y son extraídas canteras más alejadas de la planta.

La cantera de yeso y toba están a 1.5 Km. de la cantera de salto aproximadamente .la composición que el yeso debe tener es sulfato de calcio di hidratado mayor a 45%.

Latitud este: 20272226 Latitud norte: 7650745 Altura: 2481 msnm

Epicentro toba y yeso

Latitud este: 20272275 Latitud norte: 7650841 Altura: 2487 msnm

Cantera Arcilla: está ubicada a 6 Km de salto aproximadamente.

Se la utiliza para suministrar sílice, aunque actualmente solo se usa en pequeñas proporciones ya que es reemplazada por la piedra caliza de segunda. La arcilla debe tener la siguiente composición: 55-70 % de sílice, más de 15% de óxido de aluminio y óxido de hierro mayor a 3%.

Polvorín (lugar de almacenamiento de explosivos)

Latitud este: 20272739 Latitud norte: 7650453 Altura: 2528 msnm

Latitud este: 20272754 Latitud norte: 7650410 Altura: 2521 msnm