



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA
COMPRESIÓN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO
DE LA PLANTA DE CONCRETOS DEL GRUPO SAN PÍO.**

Autora
Laura Ospina Serna

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2021



Análisis estadístico de la resistencia del concreto a la compresión de los ensayos realizados en el laboratorio de la planta de concretos del Grupo San Pío.

Laura Ospina Serna

Informe de práctica como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera Civil

Asesores (a):

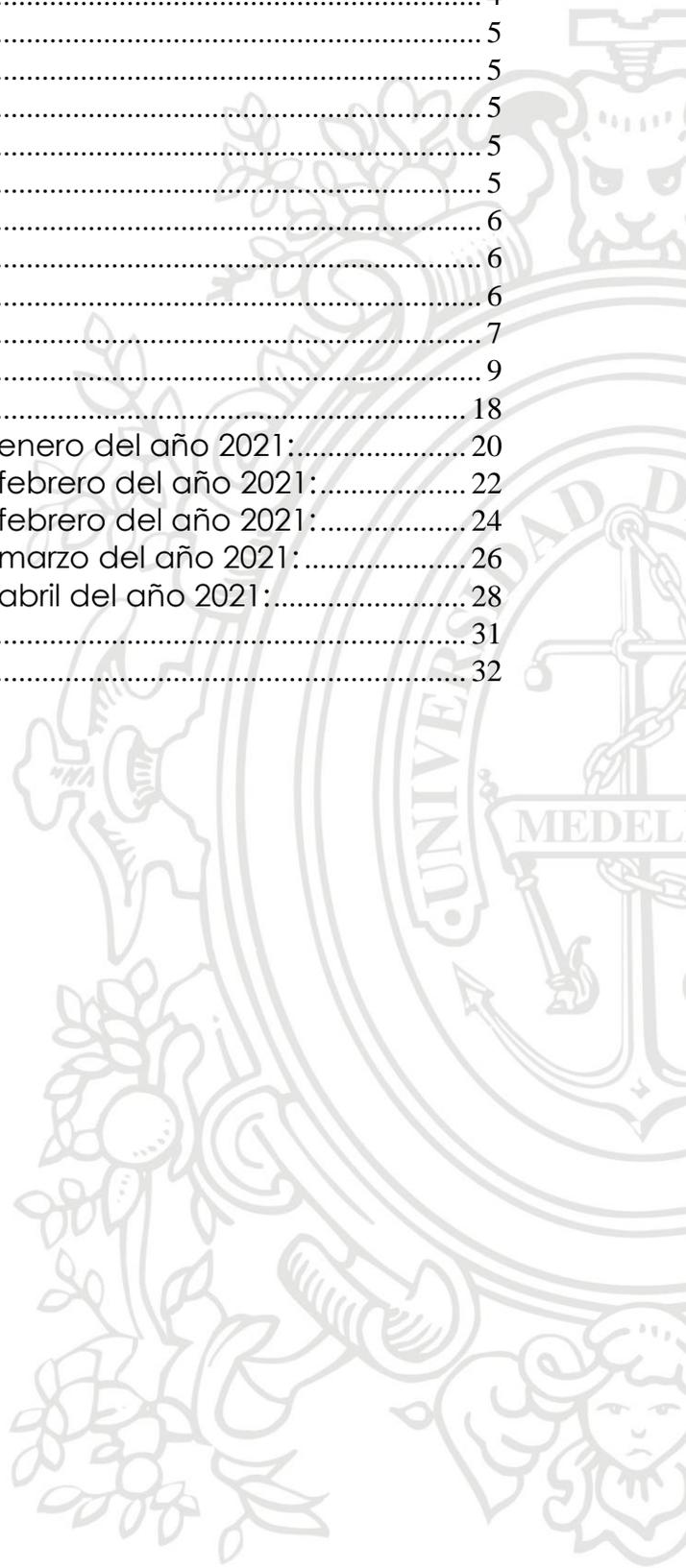
Karen Vanessa Henao Garcés – Ingeniera Civil

Juan Carlos Obando Fuertes – Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2021.

Contenido

1	Resumen.....	4
2	Introducción.....	4
3	Objetivos	5
3.1	Objetivo general	5
3.2	Objetivos específicos	5
4	Marco Teórico	5
4.1	Cemento:	5
4.2	Agua:	6
4.3	Aire:.....	6
4.4	Agregados o áridos:.....	6
4.5	Aditivos:.....	7
5	Metodología	9
6	Resultados y análisis	18
6.1	Resistencia de 21 Mpa en el mes de enero del año 2021:.....	20
6.2	Resistencia de 21 Mpa en el mes de febrero del año 2021:.....	22
6.3	Resistencia de 28 Mpa en el mes de febrero del año 2021:.....	24
6.4	Resistencia de 21 Mpa en el mes de marzo del año 2021:.....	26
6.5	Resistencia de 21 Mpa en el mes de abril del año 2021:.....	28
7	Conclusiones.....	31
8	Referencias Bibliográficas	32



1 Resumen

El análisis estadístico de la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto se realizó teniendo en cuenta los datos tomados durante seis meses en la planta de concretos del Grupo San Pío, donde se realizó todo el proceso de producción de este, desde la caracterización de materias primas, hasta la toma de muestras y ensayo de estas, todo basado en la Norma Técnica Colombiana NTC, que define todos los parámetros para garantizar la calidad del concreto producido en la planta. Los resultados de las resistencias fueron óptimos a la hora de analizar las variaciones que se presentan debido a factores internos y externos de la fabricación del concreto.

2 Introducción

El concreto es un material que posee ciertas propiedades y características que lo hacen idóneo para las obras de construcción, como su maleabilidad que le permite moldearse de distintas formas o su capacidad para resistir el fuego, la congelación u otros ambientes de exposición severos. Además, es económico, resistente y durable, lo que lo convierte en el material más utilizado en el campo de la construcción. (Pérez Fletes, M. O., 2013)

La planta de concretos del Grupo San Pío, ubicada en el municipio de Itagüí, hace parte de una de las empresas más grandes y de mayor trayectoria en el gremio de la construcción de dicho municipio. Allí, se producen concretos convencionales de diferentes tipos como normal, tipo bombeo, fluido, fraguado acelerado o retardado; y concretos especiales como antilavado, de baja retracción, baja permeabilidad, autocompactante, con fibra, entre otros. Todos estos cuentan con el cumplimiento de las normas NTC vigentes para el concreto, utilizando productos estandarizados y materias primas de gran calidad. (Grupo San Pío, 2021)

Por tanto, para garantizar que se cumpla con dichas normas, es necesario verificar las variaciones que presenta la resistencia de acuerdo con lo que se proyecta, por medio de un análisis estadístico de los datos encontrados al realizar los fallos de las muestras tomadas de la producción de la planta a los 28 días, que es el tiempo en que se debe alcanzar o superar la resistencia requerida o de diseño.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar un análisis estadístico de los resultados de los ensayos de compresión realizados en el laboratorio de la planta de concretos del Grupo San Pío.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar las muestras de concreto a compresión de la producción de la planta a los 28 días.
- Identificar la variación de la resistencia a la compresión de las muestras evaluadas.
- Analizar los datos recolectados con base a la norma NTC 2275.
- Detectar problemas comunes en los procesos de la planta de concretos y proponer soluciones a los mismos.

4 Marco Teórico

El concreto se define como la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al secarse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de un tiempo logra soportar grandes esfuerzos a compresión. (Sánchez de Guzmán, D., 2001)

Cada uno de los materiales que conforman la mezcla deben cumplir con ciertas propiedades para proporcionar el resultado óptimo que requiere el concreto para su buen funcionamiento. A continuación, se definen dichos materiales según el libro "Tecnología del concreto y del mortero" de Diego Sánchez de Guzmán:

4.1 Cemento:

El cemento que se utiliza tiene propiedades tanto adhesivas como cohesivas, que le dan capacidad de aglutinar los agregados o áridos para conformar

el concreto. Estas propiedades dependen de su composición química, el grado de hidratación, la finura de las partículas, la velocidad de fraguado, el calor de hidratación y la resistencia mecánica que es capaz de desarrollar.

4.2 Agua:

El agua como material dentro del concreto es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que éstas desarrollen sus propiedades aglutinantes. Al mezclarse el agua con el cemento se produce la pasta, la cual puede ser más o menos diluida, según la cantidad de agua que se agregue. Al endurecer la pasta, como consecuencia del fraguado, parte del agua queda fija (agua de hidratación) en la estructura rígida de la pasta y el resto queda como agua evaporable.

4.3 Aire:

Cuando el concreto se encuentra en proceso de mezclado, es normal que quede aire incluido dentro de la masa (aire naturalmente atrapado), el cual posteriormente es liberado por los procesos de compactación a que es sometido el concreto una vez ha sido colocado. Sin embargo, como la compactación no es perfecta, queda siempre un aire residual dentro de la masa endurecida. Por otra parte, en algunas ocasiones se incluyen burbujas de aire, por medio de aditivos, con fines específicos, como se verá más adelante.

4.4 Agregados o áridos:

Como agregados o áridos para concreto pueden tomarse en consideración todos aquellos materiales que, teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia del grano), no perturban ni afectan el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico, es decir que son inertes y garantizan una adherencia suficiente con la pasta de cemento endurecida. Estos materiales pueden ser naturales o artificiales, dependiendo de su origen.

La razón principal de la utilización de agregados dentro de una mezcla de concreto, es que éstos actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla. Los agregados, en combinación con la pasta fraguada, también proporcionan parte de la resistencia mecánica característica a la compresión, debido a que estos tienen una resistencia propia que aportan al concreto como masa endurecida. Cuando la mezcla de concreto pasa del estado plástico al estado endurecido durante el proceso de fraguado, los agregados controlan los cambios volumétricos de

la pasta, evitando que se generen agrietamientos por retracción plástica que puedan afectar la resistencia del concreto.

4.5 Aditivos:

Son materiales distintos del agua, los agregados y el cemento hidráulico que se utilizan como ingredientes en concretos y morteros y se añaden a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado. En términos de su función, éstos pueden ser reductores de agua, retardantes o acelerantes. Hay algunos otros, como los inclusores de aire, las puzolanas, los colorantes, etc.

Estos pueden ser utilizados para modificar las propiedades del concreto de manera que lo hagan más adecuado para las condiciones de trabajo. Pero, también pueden ser usados por razones de orden económico, ya que permiten, en algunos casos, reducir los costos de fabricación del concreto.

Por otra parte, el control de calidad del concreto es muy importante para garantizar que las obras que se construyen sean duraderas y seguras. Esto se basa en tres actividades: El control de materias primas, supervisión del proceso completo de fabricación y la verificación total del producto terminado. Este último, se puede realizar por medio de cilindros testigos que se ensayan a distintas edades para comprobar la dosificación de mezcla diseñada y verificar que cumpla con la resistencia especificada, para lo cual se necesita una cantidad suficiente de muestras para ensayos y luego realizar el análisis estadístico para evaluar los resultados obtenidos. (Gutiérrez de López, L., 2003).

El control de materias primas, es decir de los agregados finos y gruesos, se realiza por medio de las siguientes normas pertenecientes a la Norma Técnica Colombiana (NTC):

- **NTC 77: Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.** Este método de ensayo se usa principalmente para determinar la gradación de los materiales propuestos para usarse como agregados, o que se están utilizando como tales. Los resultados se usan para determinar la correlación entre la distribución de los tamaños de las partículas y los requisitos específicos de aplicación, y para suministrar los datos necesarios para el control de la producción de varios materiales y mezclas que contienen agregados. Los datos también pueden ser útiles en la determinación de las relaciones de porosidad y entramamiento.
- **NTC 92: Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.** Esta norma se usa para determinar los valores de la

masa unitaria necesarios para la selección de las proporciones de los agregados en las mezclas de concreto.

- **NTC 127: Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto.** Esta norma presenta procedimientos para una determinación aproximada de la presencia de impurezas orgánicas perjudiciales para el agregado fino usado en mortero de cemento hidráulico o en concreto.
- **NTC 176: Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado.** Este método de ensayo tiene por objeto determinar la densidad y la absorción del agregado grueso. La densidad se puede expresar como densidad aparente, densidad aparente (SSS) (saturada y superficialmente seca), o densidad nominal. La densidad nominal (SSS) y la absorción se basan en el humedecimiento en agua del agregado después de 24 h.

Para el proceso de fabricación del concreto, se tienen en cuenta las siguientes normas:

- **NTC 396: Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.** Esta norma establece el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en la obra y en el laboratorio.
- **NTC 454: Concreto fresco. Toma de muestras.** Esta norma establece los procedimientos para obtener muestras representativas de concreto fresco, tal como se entrega en el sitio del proyecto, sobre las cuales se realizan los ensayos para verificar el cumplimiento de los requisitos de calidad de acuerdo con las especificaciones en las que se suministra el concreto.
- **NTC 673: Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto.** Este método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados.
- **NTC 1032: Determinación del contenido de aire en concreto fresco. Método de presión.** Este método de ensayo comprende la determinación del contenido de aire del concreto mezclado fresco. Pretende determinar únicamente el contenido de aire del concreto mezclado fresco, sin incluir el aire que puede estar en los vacíos de las partículas del agregado.
- **NTC 1926: Concreto. Determinación de la masa unitaria, rendimiento y contenido de cemento y aire.** Este método de ensayo cubre la determinación de la masa por metro cúbico de concreto fresco mezclado (masa unitaria) y da fórmulas para calcular el rendimiento, el contenido de cemento, y el contenido de aire del concreto. El rendimiento se define como el volumen de concreto resultante de la mezcla de cantidades conocidas de los materiales que lo componen.

- **NTC 3357: Método de ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco.** Este método de ensayo permite medir la temperatura de mezclas de concreto fresco. Puede emplearse para verificar que el concreto cumple los requisitos especificados para la temperatura.

Por último, en la Norma Técnica Colombiana (NTC), se explica el proceso adecuado para la realización del control de calidad del concreto, que cumpla con ciertas especificaciones para que sea óptimo y los resultados no estén alterados. En la norma NTC 2275, se muestran las distintas variaciones que puede presentar el concreto en todo su proceso, desde los materiales que lo componen, la dosificación, el mezclado, el transporte, la colocación y el curado, así como la forma correcta de evaluar los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia del concreto, que pueden analizarse estadísticamente para verificar que se cumpla con los parámetros de diseño de las mezclas.

5 Metodología

Para garantizar la calidad y resistencia del concreto, se realizaron ensayos previos a los materiales que se utilizan en la producción, es decir, a los agregados finos y gruesos, esto se hizo en base a las siguientes normas:

- NTC 77: Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.
- NTC 92: Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.
- NTC 127: Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto.
- NTC 176: Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado.

La caracterización se realizó con cada una de las gravas y arenas, así como la combinación de estas, que hacen parte de la dosificación del concreto, para poder garantizar que cumplen con los requisitos de la norma.

Luego, se hizo el proceso de muestreo y ensayo de las mezclas de concreto, dependiendo de su resistencia, como se evidencia en la figura 1. Para esto, se sacó una muestra de concreto fresco, cada cuarenta metros cúbicos (40 m³), de cada mezcla, y se hicieron once (11) cilindros para fallar a distintas edades; tres (3) a tres días, tres (3) a siete días, tres (3) a 28 días y dos (2) a 90 días (Estos últimos sólo se fallaron en casos en que la resistencia a los 28 días no cumplió con la resistencia de diseño). También, se realizaron las pruebas

de asentamiento, rendimiento volumétrico, contenido de aire y temperatura, utilizando las siguientes normas:

- NTC 396: Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.
- NTC 454: Concreto fresco. Toma de muestras.
- NTC 673: Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto.
- NTC 1032: Determinación del contenido de aire en concreto fresco. Método de presión.
- NTC 1926: Concreto. Determinación de la masa unitaria, rendimiento y contenido de cemento y aire.
- NTC 3357: Método de ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco.



Figura 1. Proceso de muestreo de las mezclas de concreto fresco. Elaboración propia.

Al cabo de 24 horas, se desencofraron los cilindros y se metieron en los tanques de curado de sus respectivas edades de fallo. Luego, se sacaron los cilindros de los tanques, y se tomaron sus dimensiones con un pie de rey y su peso con una balanza, ya que estos datos se deben especificar en el software que utiliza la empresa para el ensayo de resistencia a la compresión de cada uno de los cilindros, esto se hizo utilizando una prensa hidráulica como la que se muestra en la figura 2, con el fin de obtener todos los datos de resistencia de las mezclas y verificar que se cumpla con lo requerido.



Figura 2. Prensa hidráulica para el ensayo de resistencia a la compresión. Elaboración propia.

Este proceso se realizó todos los días, dependiendo de la producción y al final de cada mes se recopilaban los datos suficientes para realizar el análisis estadístico de la resistencia a la compresión de los cilindros fallados a los 28 días como lo indica la norma NTC 2275. Para esto, se tomaron los datos de una mezcla en específico que tuviera como mínimo entre 25 y 30 datos, por ejemplo, concreto de 21 MPa del mes de enero, como se muestra en la Tabla 1, ya que es importante tener una cantidad suficiente de ensayos para conocer su variación.

EVALUACIÓN ESTADÍSTICA PRODUCCIÓN ENERO 2021						
Concreto 21MPA						
N°	MUESTRA	FECHA DE ELABORACIÓN	C1	C2	C3	PROMEDIO
1	9868	04/01/2021	31,46	30,94	29,51	30,64
2	9869	04/01/2021	31,04	32,03	34,06	32,38
3	9871	04/01/2021	34,52	34,08	35,35	34,65
4	9873	06/01/2021	29,57	29,87	30,51	29,98
5	9877	07/01/2021	23,45	23,09	24,98	23,84
6	9879	07/01/2021	29,54	30,19	27,90	29,21
7	9880	07/01/2021	39,77	35,34	37,66	37,59
8	9883	08/01/2021	27,53	28,93	28,96	28,47
9	9884	08/01/2021	29,21	31,58	30,81	30,53
10	9888	08/01/2021	34,25	27,25	34,65	32,05
11	9889	12/01/2021	34,60	34,55	35,24	34,80
12	9892	12/01/2021	33,01	34,39	34,27	33,89
13	9894	12/01/2021	35,04	32,92	34,65	34,20
14	9895	12/01/2021	37,03	35,06	36,67	36,25
15	9896	13/01/2021	26,62	29,54	30,00	28,72
16	9897	13/01/2021	36,70	36,66	36,66	36,67
17	9898	13/01/2021	39,71	38,47	37,32	38,50
18	9899	13/01/2021	38,11	39,20	40,43	39,25
19	9902	13/01/2021	35,48	34,79	35,46	35,24
20	9903	14/01/2021	32,09	34,76	35,09	33,98
21	9905	14/01/2021	38,12	37,63	36,43	37,39
22	9909	15/01/2021	25,38	25,28	24,35	25,00
23	9910	15/01/2021	31,88	31,95	31,12	31,65
24	9911	15/01/2021	33,85	36,27	35,72	35,28
25	9916	15/01/2021	28,61	28,20	28,68	28,50
26	9917	15/01/2021	32,97	27,64	31,65	30,75
27	9919	16/01/2021	30,00	31,03	31,54	30,86
28	9920	18/01/2021	31,00	31,35	31,57	31,31
29	9921	18/01/2021	38,19	34,79	37,16	36,71
30	9922	19/01/2021	36,27	37,30	33,91	35,83
31	9923	19/01/2021	33,55	35,39	32,36	33,77
32	9928	19/01/2021	31,87	33,10	33,37	32,78
33	9930	19/01/2021	31,70	31,03	31,68	31,47

Continúa...

34	9931	20/01/2021	34,93	34,16	34,56	34,55
35	9932	20/01/2021	29,18	28,92	30,81	29,64
36	9933	20/01/2021	34,37	33,39	33,69	33,82
37	9934	20/01/2021	38,59	38,25	39,68	38,84
38	9938	21/01/2021	28,59	28,42	29,59	28,87
39	9941	21/01/2021	33,06	32,32	33,72	33,03
40	9945	21/01/2021	28,30	27,73	27,58	27,87
41	9947	22/01/2021	30,50	31,42	32,21	31,38
42	9948	22/01/2021	33,93	32,62	32,51	33,02
43	9951	22/01/2021	36,96	36,78	35,87	36,54
44	9953	22/01/2021	30,64	31,48	29,90	30,67
45	9955	22/01/2021	31,81	32,42	33,40	32,54
46	9956	23/01/2021	26,72	29,01	29,67	28,47
47	9957	23/01/2021	30,50	30,08	29,88	30,15
48	9961	23/01/2021	30,14	27,87	28,61	28,87
49	9964	25/01/2021	29,31	29,94	29,28	29,51
50	9967	25/01/2021	37,85	38,37	38,97	38,40
51	9971	25/01/2021	32,33	31,00	31,02	31,45
52	9974	25/01/2021	27,63	28,72	28,14	28,16
53	9976	26/01/2021	25,21	29,49	27,93	27,54
54	9978	26/01/2021	34,12	33,31	31,70	33,04
55	9979	26/01/2021	31,73	30,90	32,97	31,87
56	9980	27/01/2021	28,34	27,98	27,93	28,08
57	9981	27/01/2021	31,66	31,05	30,05	30,92
58	9983	27/01/2021	31,42	31,79	31,22	31,48
59	9984	27/01/2021	29,38	30,30	29,01	29,56
60	9987	27/01/2021	36,15	34,95	36,32	35,81
61	9989	27/01/2021	33,96	33,61	31,69	33,09
62	9992	27/01/2021	33,27	35,85	33,85	34,32
63	9993	28/01/2021	29,31	27,80	28,04	28,38
64	9994	28/01/2021	30,28	30,64	28,91	29,94
65	9996	28/01/2021	33,27	33,53	33,97	33,59
66	9998	28/01/2021	29,27	29,94	29,92	29,71
67	10000	28/01/2021	24,58	23,53	23,76	23,96
68	10002	28/01/2021	34,63	34,46	31,80	33,63
69	10004	29/01/2021	34,31	32,26	32,21	32,93
70	10006	29/01/2021	34,05	33,81	36,16	34,67
71	10007	29/01/2021	34,94	34,51	34,94	34,80
72	10008	29/01/2021	37,44	37,03	38,80	37,76
73	10010	29/01/2021	32,08	33,97	36,75	34,27
74	10011	29/01/2021	30,58	28,66	30,77	30,00
75	10012	30/01/2021	31,55	31,21	32,55	31,77
76	10013	30/01/2021	35,10	34,24	33,89	34,41
77	10014	30/01/2021	30,45	30,48	30,49	30,47
78	10016	30/01/2021	31,51	32,00	30,93	31,48

Tabla 1. Datos de resistencia de las mezclas de concreto de 21 Mpa del mes de enero.
Elaboración propia.

Luego, se utilizó la resistencia promedio de los tres (3) cilindros de cada muestra para calcular los siguientes parámetros, como lo indica la norma NTC 2275:

- Promedio: La resistencia promedio de todos los ensayos individuales.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

Ecuación 5.1

- Desviación estándar: La medida de dispersión generalmente reconocida, es la raíz cuadrada media de la desviación de las resistencias, con relación a su promedio. También se conoce como la desviación estándar de mezcla a mezcla.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n-1}}$$

Ecuación 5.2

- Coeficiente de variación: La desviación estándar, expresada como un porcentaje de la resistencia promedio.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

Ecuación 5.3

- Rango: El rango es la función estadística que se obtiene restando el menor de un conjunto de números del más alto del grupo. El rango dentro del ensayo se calcula restando la resistencia menor de la resistencia mayor del grupo de cilindros, cuyos resultados se promedian para obtener un ensayo. El rango dentro del ensayo es útil en la determinación de la desviación estándar dentro del ensayo como se discute en seguida.

Una sola mezcla de ensayo de concreto no proporciona los datos suficientes para el análisis estadístico y se requieren cilindros compañeros de por lo menos 10 mezclas de concreto, con el fin de establecer valores confiables para el rango promedio. La desviación estándar dentro del ensayo se calculó utilizando la Tabla 2 y la ecuación 5.4, como se muestra:

Número de cilindros	d ₂	1/d ₂
2	1,128	0,8865
3	1,693	0,5907
4	2,059	0,4857
5	2,326	0,4299
6	2,534	0,3946
7	2,704	0,3698
8	2,847	0,3512
9	2,970	0,3367
10	3,078	0,3249

Tabla 2. Factores para calcular la desviación estándar dentro del ensayo. Tomado de NTC 2275.

Para el caso de este trabajo, se utilizó el factor de 3 cilindros, que son la cantidad de cilindros promediados para producir el ensayo, y así calcular la desviación estándar dentro del ensayo.

$$\sigma_1 = \frac{1}{d_2} \times \bar{R}$$

Ecuación 5.4

- Desviación estándar total: Tiene en cuenta la desviación estándar dentro del ensayo y la desviación estándar de mezcla a mezcla.

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$$

Ecuación 5.5

Luego de calcular estos parámetros, se graficó la curva de distribución normal de frecuencia, teniendo en cuenta la resistencia promedio de cada mezcla, ya que, según la norma NTC 2275, donde existe un buen control, los valores de la resistencia estarán agrupados cerca de la media y la curva será alta y estrecha. Conforme aumentan las variaciones en la resistencia, los valores se apartan y la curva se vuelve baja y alargada tal como se muestra en la Figura 3.

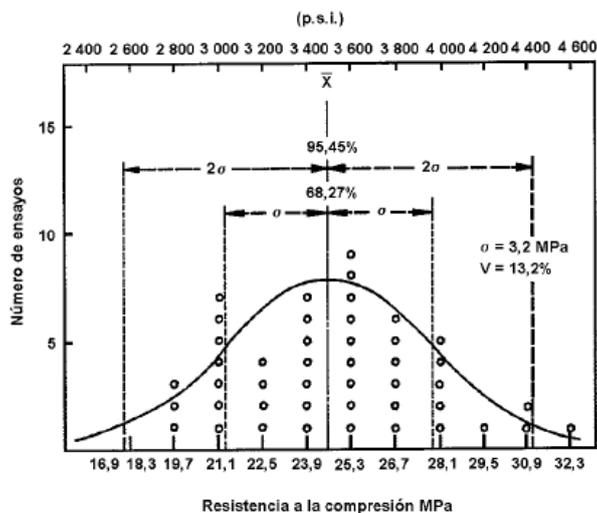


Figura 3. Distribución de frecuencia de resultados de resistencia y la correspondiente distribución normal. Tomado de NTC 2275.

Seguidamente, se utilizaron las normas de control para calificar el concreto, teniendo en cuenta que, según la norma NTC 2275, la decisión relativa sobre si la medida apropiada de dispersión que debe utilizarse en determinada situación es la desviación estándar o el coeficiente de variación, depende de cuál de las dos medidas es aproximadamente la más constante dentro del rango de resistencias en una situación particular. Además, La presente información indica que la desviación estándar permanece aproximadamente constante, en especial para resistencias superiores a 200 kgf/cm², lo cual aplicó en estos casos, ya que se calificaron las resistencias de 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm², haciendo uso de la Tabla 3.

Clase de operación	Variación total				
	Desviación estándar para diferentes clases de control, MPa (p.s.i)				
	excelente	muy bueno	bueno	aceptable	pobre
Ensayo de construcciones en general	por debajo de 2,5 (357)	de 2,5 a 3,5 (357 a 500)	de 3,5 a 4,0 (500 a 571)	de 4,0 a 5,0 (571 a 714)	sobre 5,0 (714)
Mezclas de ensayos de laboratorio	por debajo de 1,5 (214)	de 1,5 a 1,7 (214 a 243)	de 1,7 a 2,0 (243 a 286)	de 2,0 a 2,5 (286 a 357)	sobre 2,5 (357)

Tabla 3. Normas para el control del concreto. Tomado de NTC 2275.

Una vez realizado todo lo anterior, se procedió a calcular la resistencia promedio requerida para la mezcla, la cual según la norma NTC 2275, debe ser superior a f'_c , o sea la resistencia de diseño. El excedente de resistencia depende de la variabilidad esperada de los resultados de los ensayos, tal como se expresa mediante un coeficiente de variación o una desviación estándar y de la proporción permisible de ensayos con resultados menores que los indicados en el nivel de resistencia.

Dicha resistencia, se calculó utilizando la ecuación 5.6, la Tabla 4 y seleccionando uno de los criterios que indica la norma NTC 2275, para este caso, se escogió el criterio 1, en el cual a una proporción máxima especificada de ensayos de resistencia individuales aleatorios, se les permite caer por debajo de f'_c . Esto se basa en que la NTC 3318 utiliza un criterio similar, para el concreto en estructuras diseñadas, mediante el método de resistencia última, donde se recomienda que no más del 10 % de los ensayos de resistencia, tengan valores inferiores a la resistencia especificada f'_c .

Por tanto, en esta situación a no más de 1 de cada 10 de las resistencias individuales seleccionadas al azar se le permite caer por debajo de un valor f'_c de 21 MPa (210 kg/cm²). Es decir que, según la Tabla 4, el valor de t para este criterio sería $t = 1,28$.

$$f'_{cr} = f'_c + t\sigma$$

Ecuación 5.6

Porcentaje de ensayos que caen dentro de los límites $\bar{X} \pm t\sigma$	Probabilidad de que caigan por debajo del límite inferior	t
40	3 en 10	0,52
50	2,5 en 10	0,67
60	2 en 10	0,84
68,27	1 en 6,3	1,00
70	1,5 en 10	1,04
80	1 en 10	1,28
90	1 en 20	1,65
95	1 en 40	1,96
95,45	1 en 44	2,00
98	1 en 100	2,33
99	1 en 200	2,58
99,73	1 en 741	3,00

Tabla 4. Valores de t. Tomado de NTC 2275.

Por último, se graficó una especie de carta de control donde se evidencian los datos más relevantes de todo el análisis estadístico de cada resistencia, parecido al que se muestra a continuación:

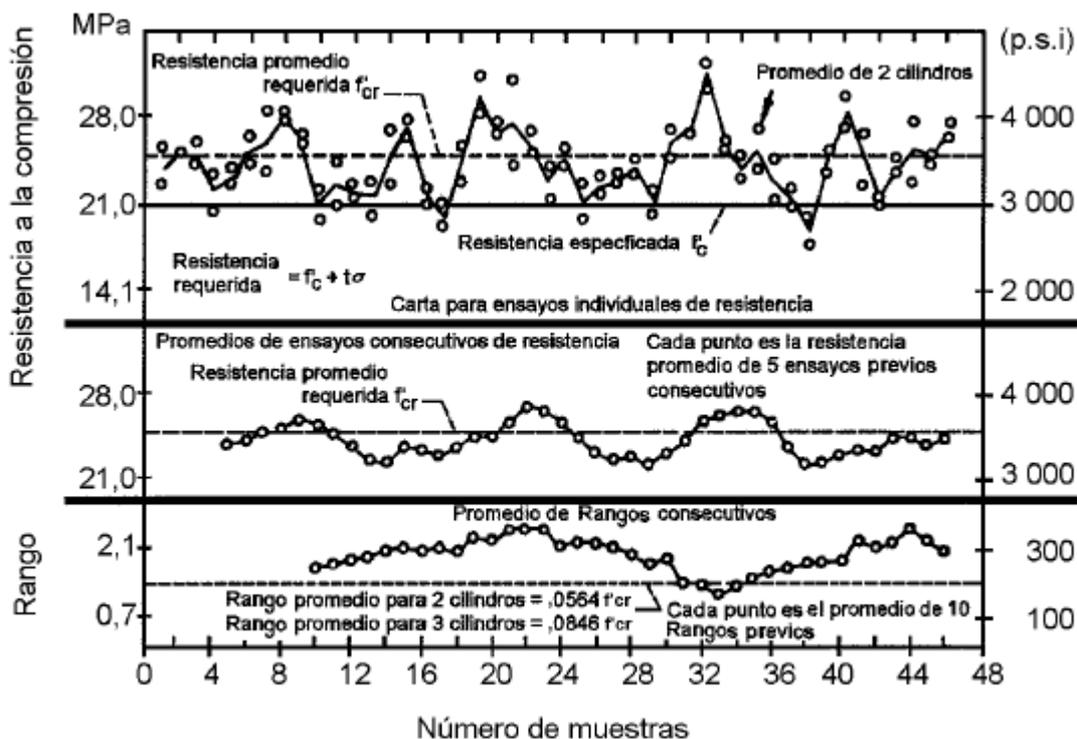


Figura 4. Cartas de control de calidad para el concreto. Tomado de NTC 2275.

Todo este proceso se realizó con la resistencia de 21Mpa de los meses de enero, febrero, marzo y abril del año 2021 y la resistencia de 28 Mpa del mes de febrero del año 2021, ya que eran los únicos meses con datos suficientes para el análisis estadístico.

6 Resultados y análisis

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis estadístico de la resistencia del concreto para cada mes.

Para este caso, solo se mostrarán los datos de la resistencia del concreto de 21 Mpa del mes enero, ya que el proceso se realizó igual con los demás meses, como se explicó anteriormente.

EVALUACIÓN ESTADÍSTICA PRODUCCIÓN ENERO 2021										
Concreto 21MPA										
N°	MUESTRA	FECHA DE ELABORACIÓN	C1	C2	C3	PROMEDIO	PROMEDIO MOVIL	MAX	MIN	Rango
1	9868	04/01/2021	31,46	30,94	29,51	30,64		31,46	29,51	1,95
2	9869	04/01/2021	31,04	32,03	34,06	32,38		34,06	31,04	3,02
3	9871	04/01/2021	34,52	34,08	35,35	34,65	32,55	35,35	34,08	1,27
4	9873	06/01/2021	29,57	29,87	30,51	29,98	32,34	30,51	29,57	0,94
5	9877	07/01/2021	23,45	23,09	24,98	23,84	29,49	24,98	23,09	1,89
6	9879	07/01/2021	29,54	30,19	27,90	29,21	27,68	30,19	27,9	2,29
7	9880	07/01/2021	39,77	35,34	37,66	37,59	30,21	39,77	35,34	4,43
8	9883	08/01/2021	27,53	28,93	28,96	28,47	31,76	28,96	27,53	1,43
9	9884	08/01/2021	29,21	31,58	30,81	30,53	32,20	31,58	29,21	2,37
10	9888	08/01/2021	34,25	27,25	34,65	32,05	30,35	34,65	27,25	7,4
11	9889	12/01/2021	34,60	34,55	35,24	34,80	32,46	35,24	34,55	0,69
12	9892	12/01/2021	33,01	34,39	34,27	33,89	33,58	34,39	33,01	1,38
13	9894	12/01/2021	35,04	32,92	34,65	34,20	34,30	35,04	32,92	2,12
14	9895	12/01/2021	37,03	35,06	36,67	36,25	34,78	37,03	35,06	1,97
15	9896	13/01/2021	26,62	29,54	30,00	28,72	33,06	30	26,62	3,38
16	9897	13/01/2021	36,70	36,66	36,66	36,67	33,88	36,7	36,66	0,04
17	9898	13/01/2021	39,71	38,47	37,32	38,50	34,63	39,71	37,32	2,39
18	9899	13/01/2021	38,11	39,20	40,43	39,25	38,14	40,43	38,11	2,32
19	9902	13/01/2021	35,48	34,79	35,46	35,24	37,66	35,48	34,79	0,69
20	9903	14/01/2021	32,09	34,76	35,09	33,98	36,16	35,09	32,09	3
21	9905	14/01/2021	38,12	37,63	36,43	37,39	35,54	38,12	36,43	1,69
22	9909	15/01/2021	25,38	25,28	24,35	25,00	32,13	25,38	24,35	1,03
23	9910	15/01/2021	31,88	31,95	31,12	31,65	31,35	31,95	31,12	0,83
24	9911	15/01/2021	33,85	36,27	35,72	35,28	30,64	36,27	33,85	2,42
25	9916	15/01/2021	28,61	28,20	28,68	28,50	31,81	28,68	28,2	0,48
26	9917	15/01/2021	32,97	27,64	31,65	30,75	31,51	32,97	27,64	5,33
27	9919	16/01/2021	30,00	31,03	31,54	30,86	30,04	31,54	30	1,54
28	9920	18/01/2021	31,00	31,35	31,57	31,31	30,97	31,57	31	0,57
29	9921	18/01/2021	38,19	34,79	37,16	36,71	32,96	38,19	34,79	3,4
30	9922	19/01/2021	36,27	37,30	33,91	35,83	34,62	37,3	33,91	3,39
31	9923	19/01/2021	33,55	35,39	32,36	33,77	35,44	35,39	32,36	3,03
32	9928	19/01/2021	31,87	33,10	33,37	32,78	34,12	33,37	31,87	1,5
33	9930	19/01/2021	31,70	31,03	31,68	31,47	32,67	31,7	31,03	0,67

Continúa...

34	9931	20/01/2021	34,93	34,16	34,56	34,55	32,93	34,93	34,16	0,77
35	9932	20/01/2021	29,18	28,92	30,81	29,64	31,89	30,81	28,92	1,89
36	9933	20/01/2021	34,37	33,39	33,69	33,82	32,67	34,37	33,39	0,98
37	9934	20/01/2021	38,59	38,25	39,68	38,84	34,10	39,68	38,25	1,43
38	9938	21/01/2021	28,59	28,42	29,59	28,87	33,84	29,59	28,42	1,17
39	9941	21/01/2021	33,06	32,32	33,72	33,03	33,58	33,72	32,32	1,4
40	9945	21/01/2021	28,30	27,73	27,58	27,87	29,92	28,3	27,58	0,72
41	9947	22/01/2021	30,50	31,42	32,21	31,38	30,76	32,21	30,5	1,71
42	9948	22/01/2021	33,93	32,62	32,51	33,02	30,76	33,93	32,51	1,42
43	9951	22/01/2021	36,96	36,78	35,87	36,54	33,64	36,96	35,87	1,09
44	9953	22/01/2021	30,64	31,48	29,90	30,67	33,41	31,48	29,9	1,58
45	9955	22/01/2021	31,81	32,42	33,40	32,54	33,25	33,4	31,81	1,59
46	9956	23/01/2021	26,72	29,01	29,67	28,47	30,56	29,67	26,72	2,95
47	9957	23/01/2021	30,50	30,08	29,88	30,15	30,39	30,5	29,88	0,62
48	9961	23/01/2021	30,14	27,87	28,61	28,87	29,16	30,14	27,87	2,27
49	9964	25/01/2021	29,31	29,94	29,28	29,51	29,51	29,94	29,28	0,66
50	9967	25/01/2021	37,85	38,37	38,97	38,40	32,26	38,97	37,85	1,12
51	9971	25/01/2021	32,33	31,00	31,02	31,45	33,12	32,33	31	1,33
52	9974	25/01/2021	27,63	28,72	28,14	28,16	32,67	28,72	27,63	1,09
53	9976	26/01/2021	25,21	29,49	27,93	27,54	29,05	29,49	25,21	4,28
54	9978	26/01/2021	34,12	33,31	31,70	33,04	29,58	34,12	31,7	2,42
55	9979	26/01/2021	31,73	30,90	32,97	31,87	30,82	32,97	30,9	2,07
56	9980	27/01/2021	28,34	27,98	27,93	28,08	31,00	28,34	27,93	0,41
57	9981	27/01/2021	31,66	31,05	30,05	30,92	30,29	31,66	30,05	1,61
58	9983	27/01/2021	31,42	31,79	31,22	31,48	30,16	31,79	31,22	0,57
59	9984	27/01/2021	29,38	30,30	29,01	29,56	30,65	30,3	29,01	1,29
60	9987	27/01/2021	36,15	34,95	36,32	35,81	32,28	36,32	34,95	1,37
61	9989	27/01/2021	33,96	33,61	31,69	33,09	32,82	33,96	31,69	2,27
62	9992	27/01/2021	33,27	35,85	33,85	34,32	34,41	35,85	33,27	2,58
63	9993	28/01/2021	29,31	27,80	28,04	28,38	31,93	29,31	27,8	1,51
64	9994	28/01/2021	30,28	30,64	28,91	29,94	30,88	30,64	28,91	1,73
65	9996	28/01/2021	33,27	33,53	33,97	33,59	30,64	33,97	33,27	0,7
66	9998	28/01/2021	29,27	29,94	29,92	29,71	31,08	29,94	29,27	0,67
67	10000	28/01/2021	24,58	23,53	23,76	23,96	29,09	24,58	23,53	1,05
68	10002	28/01/2021	34,63	34,46	31,80	33,63	29,10	34,63	31,8	2,83
69	10004	29/01/2021	34,31	32,26	32,21	32,93	30,17	34,31	32,21	2,1
70	10006	29/01/2021	34,05	33,81	36,16	34,67	33,74	36,16	33,81	2,35
71	10007	29/01/2021	34,94	34,51	34,94	34,80	34,13	34,94	34,51	0,43
72	10008	29/01/2021	37,44	37,03	38,80	37,76	35,74	38,8	37,03	1,77
73	10010	29/01/2021	32,08	33,97	36,75	34,27	35,61	36,75	32,08	4,67
74	10011	29/01/2021	30,58	28,66	30,77	30,00	34,01	30,77	28,66	2,11
75	10012	30/01/2021	31,55	31,21	32,55	31,77	32,01	32,55	31,21	1,34
76	10013	30/01/2021	35,10	34,24	33,89	34,41	32,06	35,1	33,89	1,21
77	10014	30/01/2021	30,45	30,48	30,49	30,47	32,22	30,49	30,45	0,04
78	10016	30/01/2021	31,51	32,00	30,93	31,48	32,12	32	30,93	1,07

Tabla 5. Datos de resistencia de las mezclas de concreto de 21 Mpa del mes de enero.

Elaboración propia.

En la Tabla 5 se muestran los datos de la resistencia a los 28 días recopilados durante el mes de enero del año 2021. También se presentan los resultados del promedio móvil, que se hizo cada tres muestras consecutivas, y el rango, para el cual se sacó la resistencia máxima y mínima de cada muestra.

Luego, haciendo uso de las ecuaciones descritas en la metodología, se obtuvieron los siguientes datos:

6.1 Resistencia de 21 Mpa en el mes de enero del año 2021:

RESULTADOS	
NÚMERO DE DATOS	78
RESISTENCIA PROMEDIO (Mpa)	32,25
DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEZCLA A MEZCLA	3,4
RANGO PROMEDIO	1,81
DESVIACIÓN ESTÁNDAR DENTRO DEL ENSAYO	1,07
DESVIACIÓN ESTÁNDAR TOTAL	3,54
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	11
FC (Mpa)	21
FCR (Mpa)	25,53
CALIFICACIÓN SEGÚN NTC 2275	Bueno

Tabla 6. Resultados obtenidos para el concreto de 21 Mpa del mes de enero. Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 6, se muestran los resultados de la resistencia promedio de todos los datos del concreto de 21 Mpa del mes de enero mostrados en la Tabla 5, que fue calculada con la ecuación 5.1. También, la desviación estándar de mezcla a mezcla calculada con la ecuación 5.2, la desviación estándar dentro del ensayo (para la cual se calculó el Rango promedio de todos los rangos individuales mostrados en la Tabla 5) que fue calculada a partir de la ecuación 5.4, y la desviación estándar total calculada con la ecuación 5.5. Además, se halló el coeficiente de variación haciendo uso de la ecuación 5.3. Finalmente, se calculó la resistencia promedio requerida F_{CR} usando la ecuación 5,6 como se indicó en la metodología. Este proceso se hizo con las demás resistencias de los meses que tenían los datos suficientes para el análisis.

La calificación según la norma NTC 2275, se hizo teniendo en cuenta la tabla 3, donde se evidencia que para una desviación estándar entre 3,5 y 4, la calificación es Buena, y en este caso la desviación estándar total es de 3,54.

Ahora, se muestran las gráficas de distribución normal de frecuencia y la evaluación estadística para la resistencia de 21 Mpa del mes de enero del año 2021:

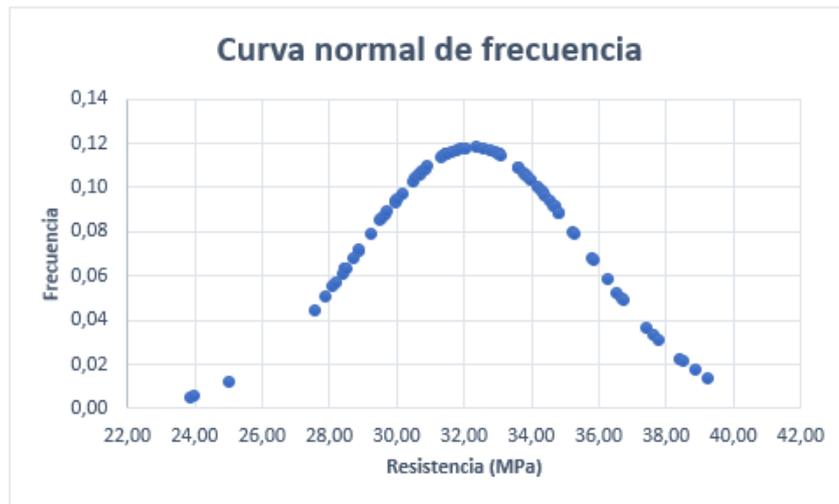


Figura 5. Distribución normal de frecuencia para el concreto de 21 Mpa del mes de enero. Elaboración propia.

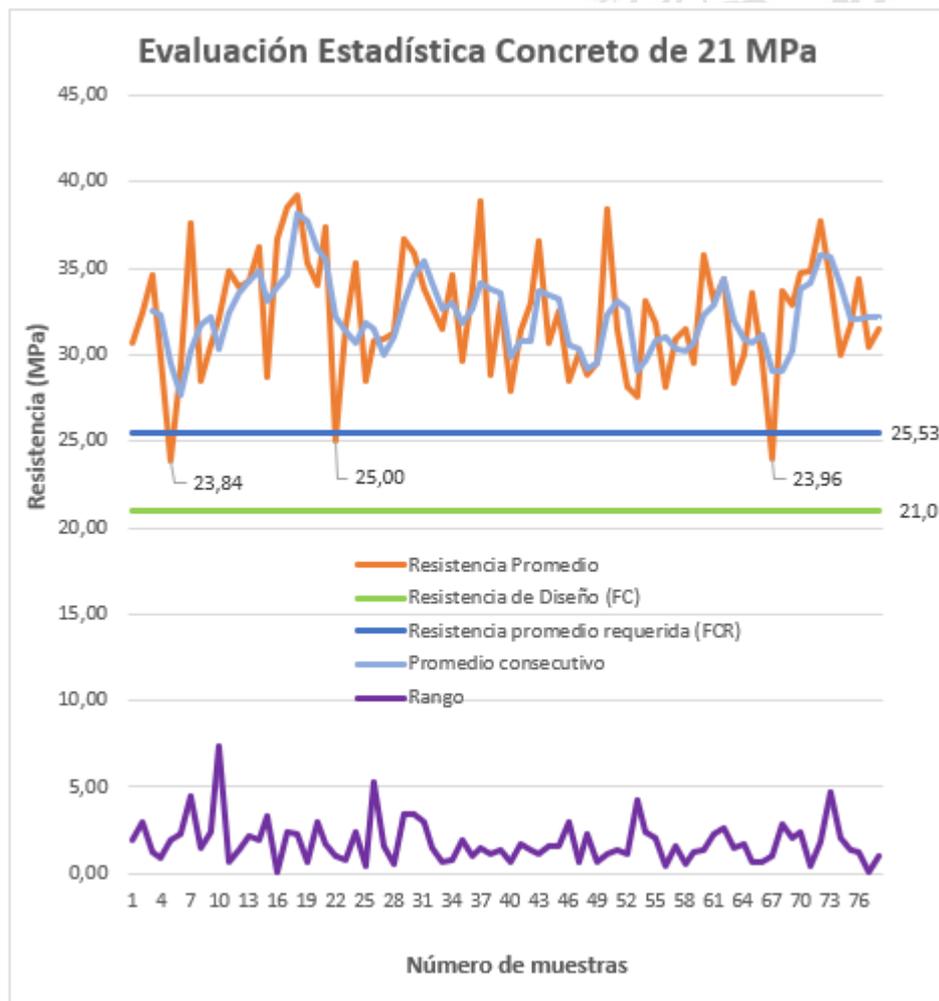


Figura 6. Evaluación estadística del concreto de 21 Mpa del mes de enero. Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 5, la mayoría de los datos de resistencia promedio de cada muestra, se encuentran agrupados cerca a la media, lo que indica que existe un buen control de las variaciones dentro del ensayo. Por otro lado, en la Figura 6 se evidencia que ningún dato cayó por debajo de la resistencia de diseño ($F_C = 21 \text{ Mpa}$), y sólo 3 de los datos cayeron por debajo de la resistencia promedio requerida ($F_{CR} = 25,53 \text{ Mpa}$), lo cual indica que el ensayo cumple con los requerimientos de la norma para su correcta ejecución y sus estándares de calidad.

6.2 Resistencia de 21 Mpa en el mes de febrero del año 2021:

RESULTADOS	
NÚMERO DE DATOS	108
RESISTENCIA PROMEDIO (Mpa)	31,80
DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEZCLA A MEZCLA	3,1
RANGO PROMEDIO	1,62
DESVIACIÓN ESTÁNDAR DENTRO DEL ENSAYO	0,96
DESVIACIÓN ESTÁNDAR TOTAL	3,24
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	10
FC (Mpa)	21
FCR (Mpa)	25,15
CALIFICACIÓN SEGÚN NTC 2275	Muy Bueno

Tabla 7. Resultados obtenidos para el concreto de 21 Mpa del mes de febrero. Elaboración propia.

La calificación según la norma NTC 2275 mostrada en la Tabla 7 fue muy buena, ya que según la tabla 3, la desviación estándar debe encontrarse entre 2,5 y 3,5, y en este caso la desviación estándar es de 3,1.

Ahora, se muestran las gráficas de distribución normal de frecuencia y la evaluación estadística para la resistencia de 21 Mpa del mes de febrero del año 2021:

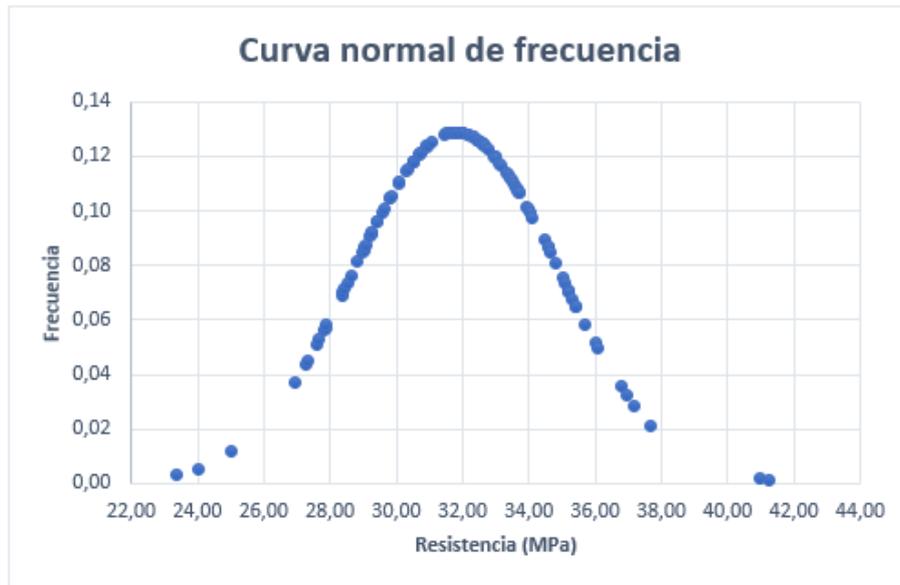


Figura 7. Distribución normal de frecuencia para el concreto de 21 Mpa del mes de febrero. Elaboración propia.

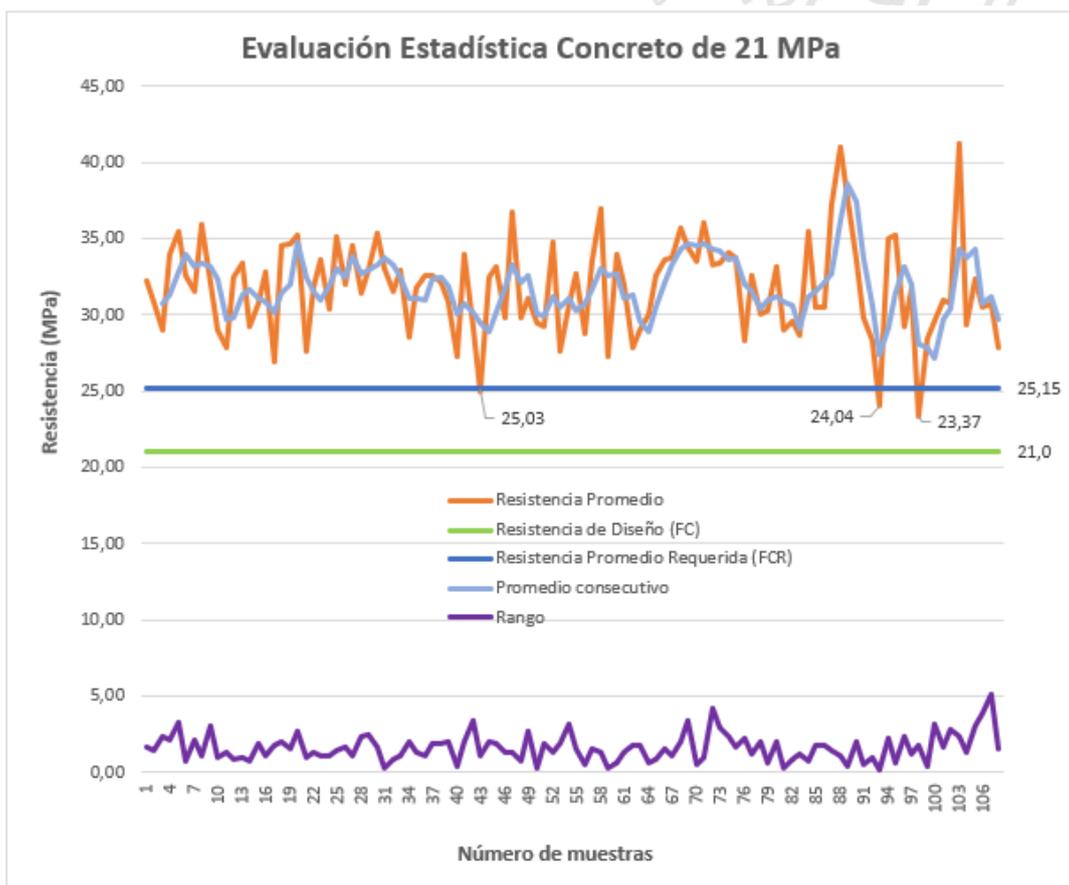


Figura 8. Evaluación estadística del concreto de 21 Mpa del mes de febrero. Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 7, la mayoría de los datos de resistencia promedio de cada muestra, se encuentran agrupados cerca a la media, sólo unos cuantos datos atípicos, se encuentran muy por encima o muy por debajo de esta, lo que indica que existe un buen control de las variaciones dentro del ensayo. Además, en la Figura 8 se evidencia que ningún dato cayó por debajo de la resistencia de diseño ($F_C = 21$ Mpa), y sólo 3 de los datos cayeron por debajo de la resistencia promedio requerida ($F_{CR} = 25,15$ Mpa), lo cual indica que el ensayo cumple con los requerimientos de la norma para su correcta ejecución y sus estándares de calidad.

6.3 Resistencia de 28 Mpa en el mes de febrero del año 2021:

RESULTADOS	
NÚMERO DE DATOS	27
RESISTENCIA PROMEDIO (Mpa)	38,15
DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEZCLA A MEZCLA	3,5
RANGO PROMEDIO	1,87
DESVIACIÓN ESTÁNDAR DENTRO DEL ENSAYO	1,10
DESVIACIÓN ESTÁNDAR TOTAL	3,69
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	10
FC (Mpa)	28
FCR (Mpa)	32,72
CALIFICACIÓN SEGÚN NTC 2275	Bueno

Tabla 8. Resultados obtenidos para el concreto de 28 Mpa del mes de febrero. Elaboración propia.

En este caso, como se muestra en la Tabla 8, sólo se tenían 27 datos de resistencia, lo cual cumple con el mínimo de datos de resistencia que es entre 25 y 30 datos para poder realizar el análisis estadístico. A su vez, la calificación según la norma NTC 2275 fue buena, ya que según la Tabla 3, la desviación estándar debe encontrarse entre 3,5 y 4, y en este caso la desviación estándar total es de 3,69.

Ahora, se muestran las gráficas de distribución normal de frecuencia y la evaluación estadística para la resistencia de 28 Mpa del mes de febrero del año 2021:

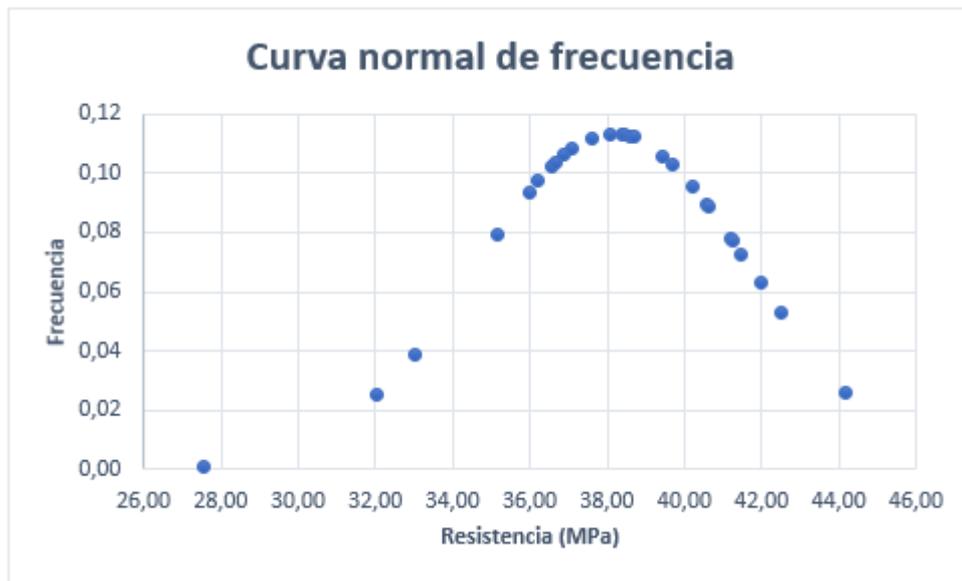


Figura 9. Distribución normal de frecuencia para el concreto de 28 Mpa del mes de febrero. Elaboración propia.

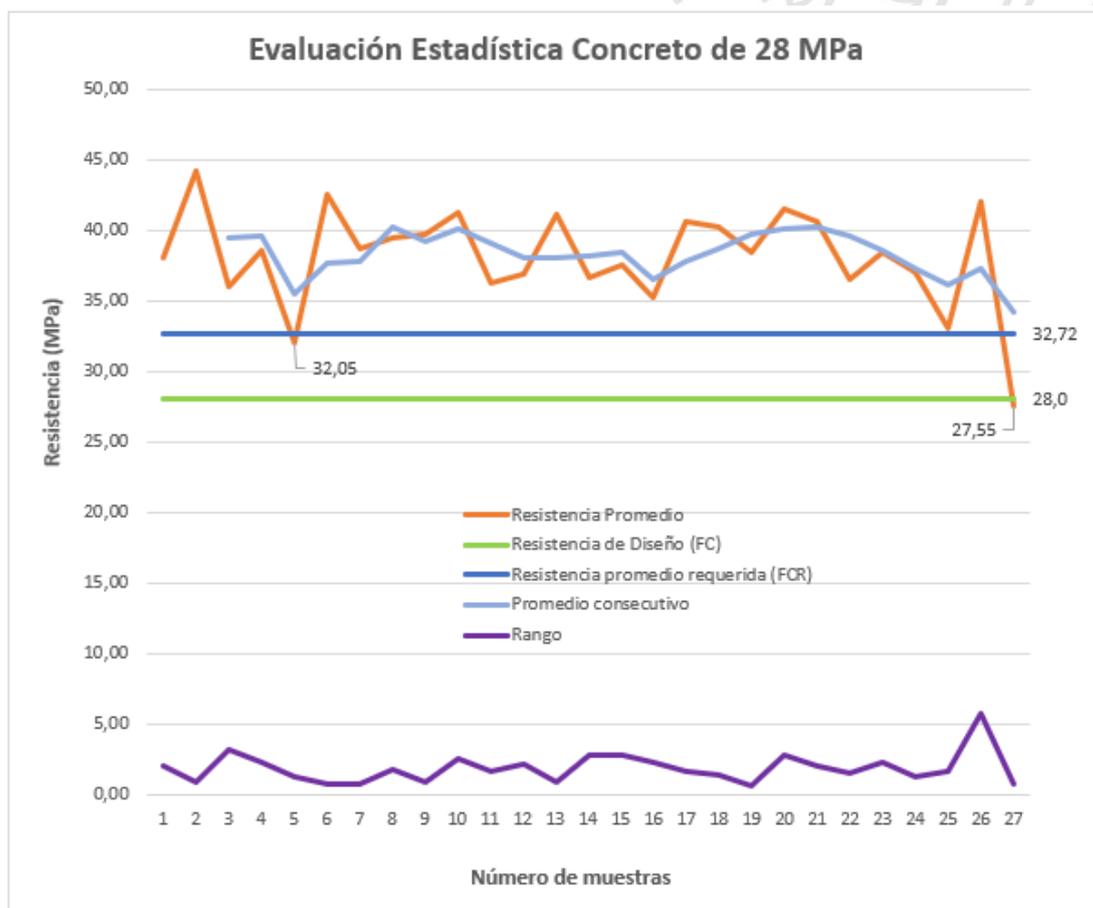


Figura 10. Evaluación estadística del concreto de 28 Mpa del mes de febrero. Elaboración propia.

Según lo observado en la Figura 9, la mayoría de los datos de resistencia promedio de cada muestra, se encuentran agrupados cerca a la media, pero hay un dato atípico que se encuentra muy por debajo de esta, lo que indica que existe un buen control de las variaciones dentro del ensayo, pero se debe tener en cuenta dicho dato. Por otra parte, en la Figura 10 se evidencia que existe un dato que cayó por debajo de la resistencia de diseño ($F_c = 28 \text{ Mpa}$), y sólo uno de los datos cayó por debajo de la resistencia promedio requerida ($F_{CR} = 32,72 \text{ Mpa}$), esto indica que el ensayo cumple con los requerimientos de la norma para su correcta ejecución y sus estándares de calidad, ya que según el criterio seleccionado, se permite que 1 de cada 10 ensayos seleccionados al azar caiga por debajo de la resistencia de diseño, además la resistencia promedio del ensayo es mayor a la resistencia promedio requerida.

6.4 Resistencia de 21 Mpa en el mes de marzo del año 2021:

RESULTADOS	
NÚMERO DE DATOS	124
RESISTENCIA PROMEDIO (Mpa)	30,39
DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEZCLA A MEZCLA	3,0
RANGO PROMEDIO	1,86
DESVIACIÓN ESTÁNDAR DENTRO DEL ENSAYO	1,10
DESVIACIÓN ESTÁNDAR TOTAL	3,18
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	10
FC (Mpa)	21
FCR (Mpa)	25,07
CALIFICACIÓN SEGÚN NTC 2275	Muy Bueno

Tabla 9. Resultados obtenidos para el concreto de 21 Mpa del mes de marzo. Elaboración propia.

La calificación según la norma NTC 2275, que se muestra en la Tabla 9, fue muy buena, ya que según la tabla 3, la desviación estándar debe encontrarse entre 2,5 y 3,5, y en este caso la desviación estándar es de 3,18.

Ahora, se muestran las gráficas de distribución normal de frecuencia y la evaluación estadística para la resistencia de 21 Mpa del mes de marzo del año 2021:

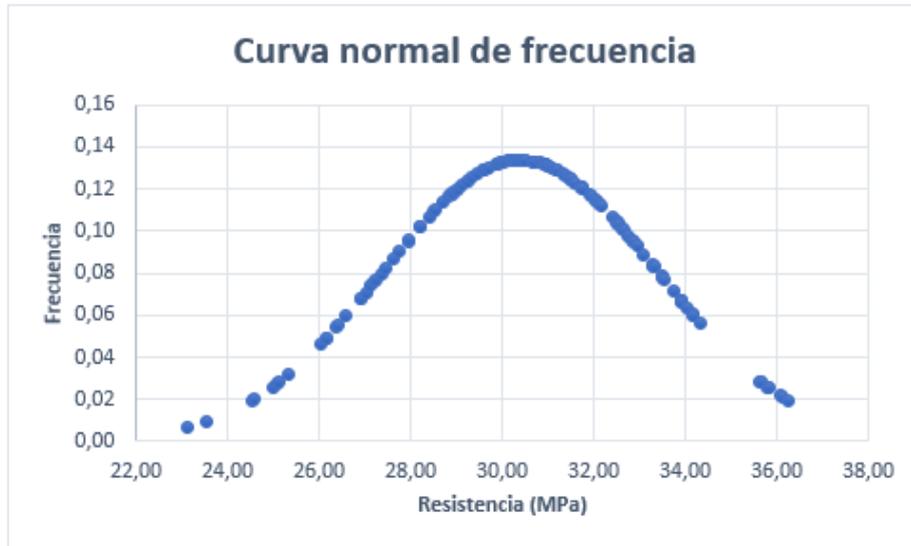


Figura 11. Distribución normal de frecuencia para el concreto de 21 Mpa del mes de marzo. Elaboración propia.

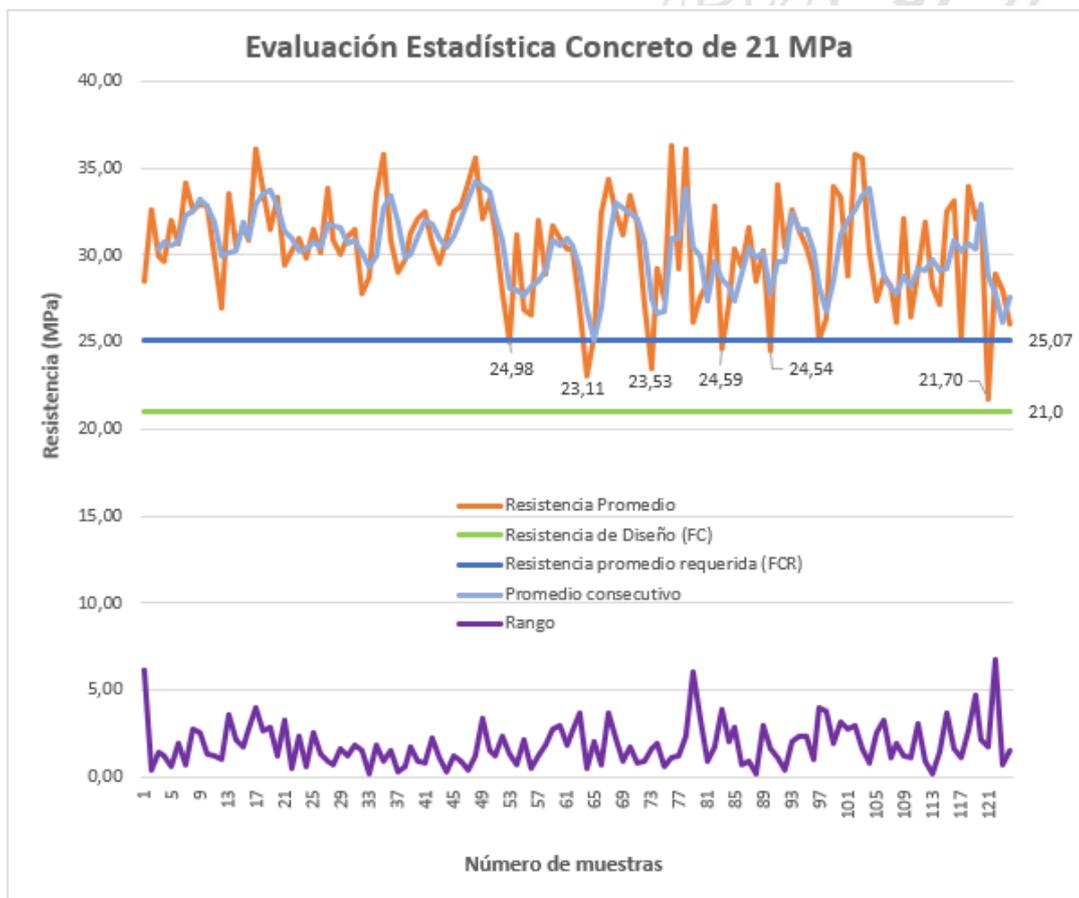


Figura 12. Evaluación estadística del concreto de 21 Mpa del mes de marzo. Elaboración propia.

En la Figura 11 se observa que la mayoría de los datos de resistencia promedio de cada muestra, se encuentran agrupados cerca a la media, y sólo unos cuantos datos atípicos se encuentran por encima o por debajo de esta, lo que indica que hay un buen control de las variaciones dentro del ensayo. Por otra parte, en la Figura 12 se evidencia que ningún dato cayó por debajo de la resistencia de diseño ($F_C = 21$ Mpa), aunque si hay uno muy cercano, y sólo 6 de los datos cayeron por debajo de la resistencia promedio requerida ($F_{CR} = 25,07$ Mpa), lo cual indica que el ensayo cumple con los requerimientos de la norma para su correcta ejecución y sus estándares de calidad.

6.5 Resistencia de 21 Mpa en el mes de abril del año 2021:

RESULTADOS	
NÚMERO DE DATOS	75
RESISTENCIA PROMEDIO (Mpa)	27,64
DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEZCLA A MEZCLA	2,5
RANGO PROMEDIO	1,48
DESVIACIÓN ESTÁNDAR DENTRO DEL ENSAYO	0,87
DESVIACIÓN ESTÁNDAR TOTAL	2,60
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	9
FC (Mpa)	21
FCR (Mpa)	24,33
CALIFICACIÓN SEGÚN NTC 2275	Muy Bueno

Tabla 10. Resultados obtenidos para el concreto de 21 Mpa del mes de abril. Elaboración propia.

La calificación según la norma NTC 2275, mostrada en la Tabla 10, fue muy buena, ya que según la tabla 3, la desviación estándar debe encontrarse entre 2,5 y 3,5, y en este caso la desviación estándar es de 2,6.

Ahora, se muestran las gráficas de distribución normal de frecuencia y la evaluación estadística para la resistencia de 21 Mpa del mes de abril del año 2021:

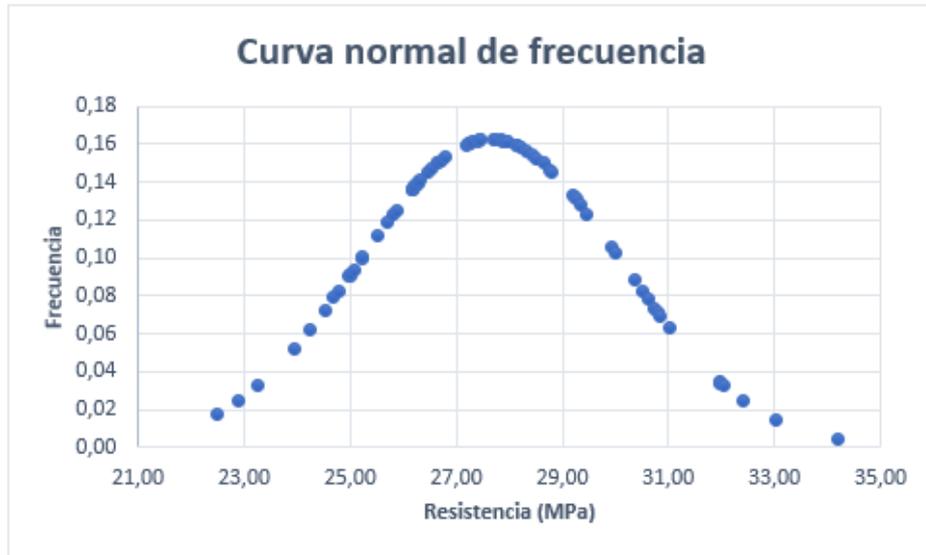


Figura 13. Distribución normal de frecuencia para el concreto de 21 Mpa del mes de abril. Elaboración propia.

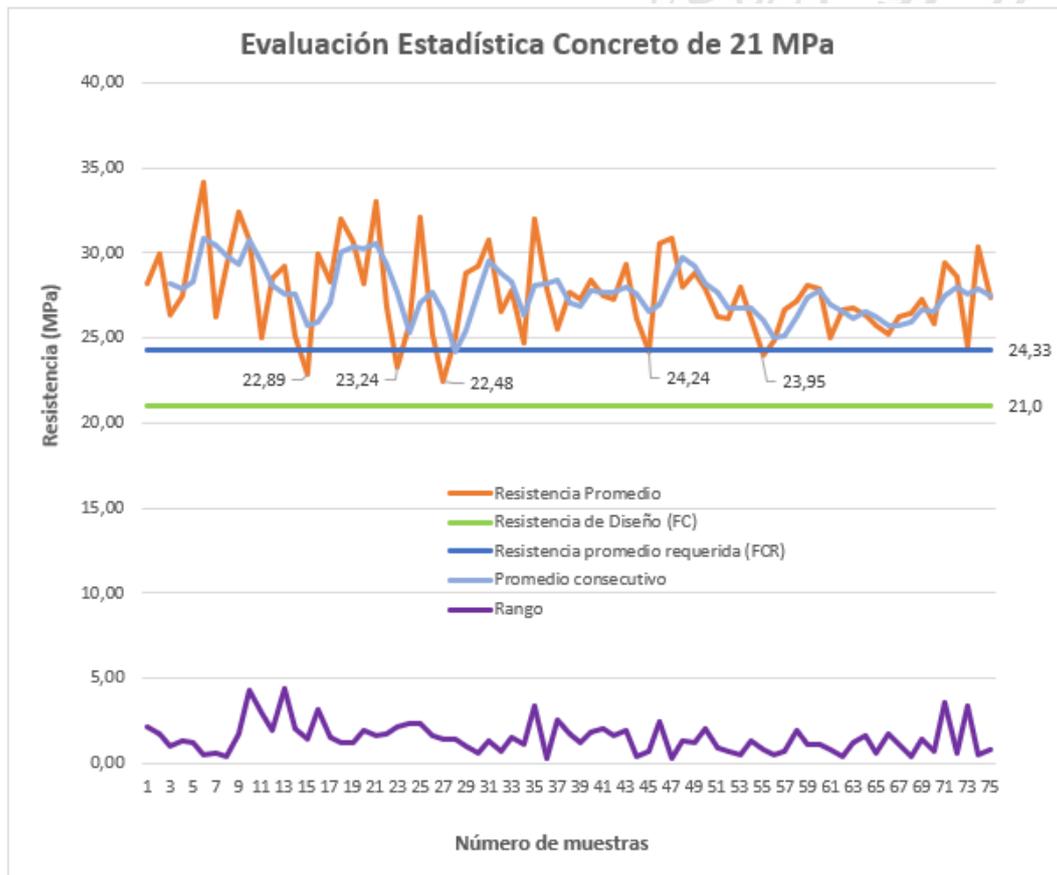


Figura 14. Evaluación estadística del concreto de 21 Mpa del mes de abril. Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 13, la mayoría de los datos de resistencia promedio de cada muestra, se encuentran agrupados cerca a la media, y sólo unos cuantos datos atípicos se encuentran por encima o por debajo de esta, lo que indica que hay un buen control de las variaciones dentro del ensayo. Por otra parte, en la Figura 14 se evidencia que ningún dato cayó por debajo de la resistencia de diseño ($F_c = 21 \text{ Mpa}$), y sólo 5 de los datos cayeron por debajo de la resistencia promedio requerida ($F_{CR} = 24,33 \text{ Mpa}$), lo cual indica que el ensayo cumple con los requerimientos de la norma para su correcta ejecución y sus estándares de calidad.

Tomando como referencia un estudio realizado por Heider Yoneduard Cuarán Chalaca titulado "Analizar el concreto hidráulico simple fabricado en obra teniendo en cuenta la variación de la resistencia a la compresión debido al proceso de fabricación de la mezcla.", se evidencia la diferencia que existe entre el concreto fabricado a mano in situ y el concreto fabricado en una planta, ya que, como el mismo autor lo relata, la difícil maniobra para introducir tanto los agregados, el cemento y el agua en la mezcladora, hace que en el transcurso del proceso de fabricación se pierda material que puede tener consecuencias desfavorables en la resistencia de diseño del concreto, además, el clima influye en la fabricación del concreto puesto que en ocasiones se presentaron precipitaciones fuertes que afectaban la humedad natural de los agregados o contaminación debido a basuras y partículas que transporta el viento.

Los problemas que se generan en la obra a la hora de fabricar el concreto a mano, no se ven reflejados en la planta de concretos, pero si algunos otros como que en ocasiones los concretos salen muy fluidos porque se les adiciona más agua de la que se especificó en el diseño, lo cual podría solucionarse capacitando al personal que manipula la cantidad de agua en la plataforma de llenado.

Otro problema que se presenta en la planta sería que el laboratorista que realiza los cilindros de concreto no siempre suele ser la misma, y esto afecta a la hora de la compactación de las muestras debido a la fuerza que se imprime con la barra de compactación y el mazo, ya que cuando se fallan pueden presentar variaciones en los resultados de resistencia, por tanto, en este caso se podría tener ciertos estándares para la realización de los cilindros o procurar que los realice siempre la misma persona.

Por otra parte, algunos equipos como las balanzas, el medidor de aire, el termómetro, entre otros, se descalibraban debido al mal uso, lo que podría solucionarse si se capacita al personal sobre el uso de adecuado de los equipos.

Así mismo, en algunas ocasiones no había disponibilidad de las materias primas, el cemento, la ceniza o los aditivos para la producción, lo cual

implicaba cambiar la dosificación de las mezclas y podría afectar considerablemente la resistencia del concreto o detener la producción de la planta. Este problema es difícil de solucionar debido a que existen factores externos como los proveedores, el transporte, entre otros que pueden demorar los procesos para la llegada de los materiales a la planta, pero podría implementarse una estrategia de reserva de los materiales, para prevenir que se acaben antes de la próxima entrega.

Por último, un problema que se mantuvo constante era que una de las arenas utilizadas en la dosificación del concreto tenía un alto contenido de materia orgánica, y aunque se les pedía a los proveedores de la arena que corrigieran esto en el material, siempre llegaba de la misma forma. Esto podría solucionarse cambiando de proveedor o utilizando una arena distinta para la dosificación, aunque en el caso de la empresa esto no representó un riesgo para la calidad de los concretos ya que se utilizaba un pequeño porcentaje de esta arena en la combinación de arenas de producción.

7 Conclusiones

El proceso de producción del concreto debe realizarse cuidadosamente, ya que existen muchos factores que pueden afectar la variación de los resultados de resistencia de las muestras de concreto a los 28 días, como son la gradación de las materias primas (gravas y arenas), la persona que realiza los cilindros de concreto, el curado de estos y el ensayo de compresión.

Para el caso de estudio, en general no se presentaron muchas variaciones, pero en la planta se puede evidenciar que uno de los factores que puede ocasionar más variaciones es la mano del laboratorista que realiza la fabricación de los cilindros, ya que no siempre suele ser la misma persona y esto genera que los cilindros tengan condiciones diferentes de compactación.

Otro factor que puede ocasionar variaciones en la resistencia del concreto a compresión es la disponibilidad de materiales como las materias primas, la ceniza, el cemento o los aditivos, ya que en ocasiones no llegan todos los materiales a tiempo, y esto implica cambiar la dosificación.

El análisis estadístico de la resistencia cada mes proporciona información relevante sobre la mezcla y si la dosificación que se está utilizando cumple con los estándares para un buen control de calidad. Este a su vez, permite determinar las variaciones que presenta la mezcla, con el fin de corregirlas en la producción.

Los concretos fabricados en una planta productora y comercializadora de concreto que lleve un estricto control de calidad en materias primas y en sus procesos, pueden garantizar la calidad de la mezcla entregada en las obras vs un concreto preparado in situ, en los que pueden existir errores en la dosificación, falta de control en las materias primas, factores externos como el clima, y otros; debido a la falta de equipos e idoneidad del personal, que afecten la calidad de este.

8 Referencias Bibliográficas

Cuarán Chalaca, H. Y. (2020). *Analizar el concreto hidráulico simple fabricado en obra teniendo en cuenta la variación de la resistencia a la compresión debido al proceso de fabricación de la mezcla.*

Grupo San Pío. (2021). *Planta de concreto premezclado.* Recuperado de <https://gruposanpio.com/planta-de-concreto-premezclado/>

Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción (Parte 4).* Repositorio Universidad Nacional. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>

Norma Técnica Colombiana NTC 77. (1997). *INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.*

Norma Técnica Colombiana NTC 92. (1997). *INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE PARTÍCULAS DE AGREGADOS.*

Norma Técnica Colombiana NTC 127. (1997). *INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADO FINO PARA CONCRETO.*

Norma Técnica Colombiana NTC 176. (1997). *INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO.*

Norma Técnica Colombiana NTC 396. (1997). *INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO.*

Norma Técnica Colombiana NTC 454. (1997). *INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. CONCRETO FRESCO. TOMA DE MUESTRAS.*

Norma Técnica Colombiana NTC 673. (1997). INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE CONCRETO.

Norma Técnica Colombiana NTC 1032. (1997). INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE EN CONCRETO FRESCO. MÉTODO DE PRESIÓN.

Norma Técnica Colombiana NTC 1926. (1997). INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. CONCRETO. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA, RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE CEMENTO Y AIRE.

Norma Técnica Colombiana NTC 2275. (1997). INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. PROCEDIMIENTO RECOMENDADO PARA LA EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO.

Norma Técnica Colombiana NTC 3357. (1997). INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO.

Pérez Fletes, M. O. (2013). *La importancia del concreto como material de construcción*. Instituto tecnológico de Tepic. Recuperado de [https://www.academia.edu/7037474/La importancia del concreto como material de construccion](https://www.academia.edu/7037474/La_importancia_del_concreto_como_material_de_construccion)

Sánchez de Guzmán, D. (2001). El concreto – Generalidades. *Tecnología del concreto y del mortero* (19-24). Biblioteca de la construcción.