

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO –
MECÁNICAS DE UN CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA DE f'_c
= 500 Kg/cm² CON ADICIÓN DE CENIZA VOLANTE”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:
Bach. Ing. VÍCTOR SÁNCHEZ VILLEGAS**

**ASESOR:
M. en I. HÉCTOR PÉREZ LOAYZA**

CAJAMARCA – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A mis padres: Alejandro Sánchez Olano Y Juana Villegas Chávez, porque creyeron en mí y me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mis hermanos, tíos, primos y amigos. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTO

AGRADEZCO A DIOS por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y sobre todo por poner en mí camino a personas maravillosas.

Le doy gracias a mis padres Alejandro y Juana por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una profesión, sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida para mí y mis hermanos.

A mi tía Teresa Sánchez que me ayudo moral y económicamente en toda mi formación como profesional gracias por confiar en mí y apoyarme como una segunda Madre.

A mis hermanos Edith, Edsson, Dany, Alexanders y Sheyla por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar; por llenar mi vida de alegrías y amor en todo momento.

Agradezco a mi asesor el ING. Héctor Pérez Loayza; por la confianza, apoyo y dedicación de tiempo en todo el transcurso de mi tesis y a lo largo de mi paso por la Universidad.

A mi enamorada Ketty por el apoyo brindado durante todo este proceso, gracias a ella porque en todo momento fue un apoyo incondicional en mi vida, fue la felicidad encajada en una sola persona.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del proyecto y planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación Del Problema.....	3
1.3 Hipótesis	3
1.4 Variables.....	3
1.4.1 Variable independiente	3
1.4.2 Variable dependiente	3
1.5 Justificación de la investigación	4
1.6 Alcances	4
1.7 Objetivos.....	5
1.7.1 Objetivo general.....	5
1.7.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes Teóricos De La Investigación.....	6
2.2 Bases Teóricas	9
2.2.1 Concreto.	9

2.2.1.1	Características del concreto.....	11
2.2.1.2	Compuestos del concreto	13
2.2.2	Cenizas volantes	19
2.2.2.1	Origen de las cenizas volantes	20
2.2.2.2	Clasificación de las cenizas volantes	23
2.2.2.3	Propiedades de las cenizas volantes	23
2.2.2.4	Usos y ventajas de la ceniza volante	28
2.3	Definición De Términos Básicos.....	34
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		35
3.1	Toma de muestras	35
3.2	Localización	35
3.3	Metodología	36
3.4	Materiales y Equipos	36
3.4.1	Materiales	36
3.4.2	Equipos.....	37
3.5	Procedimiento	37
3.5.1	Cantera de estudio.....	37
3.5.2	Determinación de propiedades físico mecánicas de los agregados	38
3.5.3	Procedimiento de diseño de mezclas.....	39
3.5.4	El cemento utilizado.....	44
3.5.5	Agua.	45
3.5.6	Peso Unitario del concreto en estado fresco	45
3.5.7	Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto	46
3.5.8	Módulo de elasticidad del concreto.	47
3.5.9	Absorción en el concreto.....	47
3.5.10	Porosidad en el concreto	48
3.5.11	Resistencia a la tracción en especímenes cilíndricos de concreto.	49

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
4.1 Presentación de las propiedades físico - mecánicas de los agregados ...	51
4.2 Presentación y Discusión de Resultados del Peso Unitario del Concreto en estado Fresco	52
4.3 Presentación y Discusión de Resultados de los Ensayos a Compresión.	54
4.3.1 Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto para la mezcla patrón con 0% de adición de ceniza volante	54
4.3.2 Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto para la mezcla con 10% de adición de ceniza volante	56
4.3.3 Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto para la mezcla con 12% de adición de ceniza volante	58
4.3.4 Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto para la mezcla con 15% de adición de ceniza volante	60
4.3.5 Resumen, comparación y determinación del porcentaje óptimo de ceniza volante en función a la resistencia de compresión obtenida	62
4.4 Análisis de los resultados obtenidos del módulo de elasticidad.....	66
4.5 Análisis de los resultados obtenidos de la resistencia a tracción del concreto	68
4.6 Análisis de los resultados obtenidos de la absorción del concreto .	69
4.7 Análisis de los resultados obtenidos de la porosidad en el concreto	70
4.8 Contraste de hipótesis	72
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1. Conclusiones	73
5.2. Recomendaciones	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXOS.....	78
ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	78

ANEXO 2: DISEÑOS DE MEZCLA	92
ANEXO 3: RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN.....	101
ANEXO 4: ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN	107
ANEXO 5: ENSAYO DE ABSORCIÓN EN EL CONCRETO	108
ANEXO 6: ENSAYO DE POROSIDAD EN EL CONCRETO	109
ANEXO 7: DIAGRAMAS DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA	110
ANEXO 8: HOJA TÉCNICA DE LA CENIZA VOLANTE	150
ANEXO 9: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO.	152
ANEXO 10: PANEL FOTOGRÁFICO.....	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características y propiedades del concreto	11
Tabla 2. Tipos de cemento de acuerdo a la norma UNE EN 197-1.....	13
Tabla 3. Tipos y subtipos de cemento Portland designados por la ASTM C 150 ..	13
Tabla 4. Propiedades físicas principales de las cenizas volantes	24
Tabla 5. Composición típica de las cenizas volantes	25
Tabla 6. Requisitos químicos de las cenizas volantes	27
Tabla 7. Limitaciones Químicas para las Cenizas Volantes según la norma ASTM C618.....	28
Tabla 8. f'_{cr} en función del grado de control de calidad en la obra.	40
Tabla 9. Consistencia del concreto fresco	40
Tabla 10. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión requerida	41
Tabla 11. Determinación del aire atrapado según el tamaño máximo nominal. ...	41
Tabla 12. Módulo de finura de la combinación de agregados	43
Tabla 13. Cantidad de especímenes realizados en la investigación.	44
Tabla 14. Estándar de control de hormigón.	46
Tabla 15. Propiedades físico – mecánicas de los agregados.....	51
Tabla 16. Peso unitario del concreto en estado fresco.....	52

Tabla 17. Resistencia a la compresión obtenida a la edad de 7,14 y 28 días para la mezcla patrón.....	54
Tabla 18. Resistencia a la compresión obtenida a la edad de 7,14 y 28 días para la mezcla con dosificación de 10% de ceniza volante	56
Tabla 19. Resistencia a la compresión obtenida a la edad de 7,14 y 28 días para la mezcla con dosificación de 12% de ceniza volante	58
Tabla 20. Resistencia a la compresión obtenida a la edad de 7,14 y 28 días para la mezcla con dosificación de 15% de ceniza volante	60
Tabla 21. Cuadro resumen de resultados de los ensayos a compresión	63
Tabla 22. Cuadro de comparación de resultados de las resistencia a compresión VS. Dosificación de ceniza volante	65
Tabla 23. Resistencia a compresión a los 28 días VS. Dosificación de CV*	66
Tabla 24. Resistencia promedio y módulo de elasticidad de cada tipo de mezcla.	67
Tabla 25. Resistencia a tracción del concreto a edad de 7 días, con diferentes porcentajes de adición de CV*	68
Tabla 26. Absorción del concreto a edad de 7 días, con diferentes porcentajes de adición de CV*	69
Tabla 27. Porosidad del concreto a edad de 7 días, con diferentes porcentajes de adición de CV*	71
Tabla 28. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 01	78
Tabla 29. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 02	79
Tabla 30. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 03	80
Tabla 31. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 01	81
Tabla 32. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 02	82
Tabla 33. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 03	83
Tabla 34. Peso específico del agregado fino.	85
Tabla 35. Absorción del agregado Fino.	85
Tabla 36. Peso específico del agregado grueso.	86
Tabla 37. Absorción del agregado grueso.	86
Tabla 38. Peso específico del agua.	87
Tabla 39. Factor f del agregado fino.	87
Tabla 40. Peso unitario seco suelto del agregado fino.	87

Tabla 41. <i>Peso unitario seco compactado o varillado del agregado fino.</i>	87
Tabla 42. <i>Peso específico del agua.</i>	88
Tabla 43. <i>Factor f para el agregado grueso.</i>	88
Tabla 44. <i>Peso unitario suelto seco del agregado grueso.</i>	88
Tabla 45. <i>Peso unitario seco compactado o varillado del agregado grueso.</i>	89
Tabla 46. <i>Vacíos teóricos del agregado grueso en (%).</i>	89
Tabla 47. <i>Vacíos calculados en laboratorio del agregado grueso en (%).</i>	89
Tabla 48. <i>Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino.</i>	90
Tabla 49. <i>Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado grueso.</i>	90
Tabla 50. <i>Contenido de humedad del agregado fino.</i>	90
Tabla 51. <i>Contenido de humedad del agregado grueso.</i>	91
Tabla 52. <i>Desgaste a la abrasión del agregado grueso.</i>	91
Tabla 53. <i>Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 7 días</i>	101
Tabla 54. <i>Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 14 días</i>	101
Tabla 55. <i>Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 28 días</i>	102
Tabla 56. <i>Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 10% de ceniza volante a edad de 7 días</i>	102
Tabla 57. <i>Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 10% de ceniza volante a edad de 14 días</i>	103
Tabla 58. <i>Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 10% de ceniza volante a edad de 28 días</i>	103
Tabla 59. <i>Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 12% de ceniza volante a edad de 7 días</i>	104
Tabla 60. <i>Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 12% de ceniza volante a edad de 14 días</i>	104
Tabla 61. <i>Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 12% de ceniza volante a edad de 28 días</i>	105
Tabla 62. <i>Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 15% de ceniza volante a edad de 7 días</i>	105

Tabla 63. Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 15% de ceniza volante a edad de 14 días.....	106
Tabla 64. Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 15% de ceniza volante a edad de 28 días.....	106
Tabla 65. Resultados del ensayo a tracción para la muestra patrón con 0% de ceniza volante a edad de 7días.....	107
Tabla 66. Resultados del ensayo a tracción para la muestra con dosificación de 10 % de ceniza volante a edad de 7días.....	107
Tabla 67. Resultados del ensayo a tracción para la muestra con dosificación de 12 % de ceniza volante a edad de 7días.....	107
Tabla 68. Resultados del ensayo a tracción para la muestra con dosificación de 15 % de ceniza volante a edad de 7días.....	107
Tabla 69. Resultados del ensayo de absorción para la muestra patrón con 0% de ceniza volante a edad de 7días.....	108
Tabla 70. Resultados del ensayo de absorción para la muestra con 10% de ceniza volante a edad de 7días.....	108
Tabla 71. Resultados del ensayo de absorción para la muestra con 12 % de ceniza volante a edad de 7días.....	108
Tabla 72. Resultados del ensayo de absorción para la muestra con 15 % de ceniza volante a edad de 7días.....	108
Tabla 73. Resultados de la porosidad en el concreto para la muestra patrón con 0 % de ceniza volante a edad de 7días.....	109
Tabla 74. Resultados de la porosidad en el concreto para la muestra con 10 % de ceniza volante a edad de 7días.....	109
Tabla 75. Resultados de la porosidad en el concreto para la muestra con 12 % de ceniza volante a edad de 7días.....	109
Tabla 76. Resultados de la porosidad en el concreto para la muestra con 15 % de ceniza volante a edad de 7días.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proporciones de materiales usadas en concreto	14
Figura 2. Proceso de Obtención de la Ceniza Volante	20
Figura 3. Esquema de la Producción de las Cenizas Volantes y Escorias.....	21
Figura 4. Clase, estado y uso del carbón	22
Figura 5. Fotografía satelital de la ubicación del estudio.	35
Figura 6. Fotografía satelital de la ubicación de la cantera Chilete.	38
Figura 7. Cuadro de barras de Tipo de Mezcla Vs Peso Volumétrico del concreto fresco	53
Figura 8. Variación de la resistencia con el tiempo de la mezcla patrón.	55
Figura 9. Variación de la resistencia con el tiempo de la mezcla con dosificación del 10%.....	57
Figura 10. Variación de la resistencia con el tiempo de la mezcla con dosificación del 12%.....	59
Figura 11. Variación de la resistencia con el tiempo de la mezcla con dosificación del 15%.....	61
Figura 12. Resistencia a compresión obtenida de cada tipo de mezcla.....	62
Figura 13. Resultados de los ensayos a compresión para edad de 7 días.	64
Figura 14. Resultados de los ensayos a compresión para edad de 14 días.	64
Figura 15. Resultados de los ensayos a compresión para edad de 28 días.	65
Figura 16. Módulo de elasticidad del concreto de cada tipo de mezcla a diferentes edades.	67
Figura 17. Resistencia a tracción del concreto Vs. Porcentaje de adición de CV*	69
Figura 18. Absorción del concreto Vs. Porcentaje de adición de CV*	70
Figura 19. Porosidad en el concreto Vs. Porcentaje de adición de CV*	71
Figura 20. Requisito granulométrico del Agregado Fino.	78
Figura 21. Requisito granulométrico del Agregado Fino.	79
Figura 22. Requisito granulométrico del Agregado Fino.	80

Figura 23. Requisito granulométrico del Agregado grueso.	82
Figura 24. Requisito granulométrico del Agregado grueso.	83
Figura 25. Requisito granulométrico del Agregado grueso.	84
Figura 26. Agregado fino de la Cantera Chilete.	153
Figura 27. Agregado grueso de la cantera Chilete	153
Figura 28. Ensayo de granulometría del agregado fino	154
Figura 29. Ensayo de granulometría del agregado grueso.	154
Figura 30. Ensayo de peso específico del agregado fino	155
Figura 31. Ensayo para determinar el desgaste a la abrasión del agregado grueso.	155
Figura 32. Preparación de la mezcla de concreto.....	156
Figura 33. Ensayo para determinar el asentamiento de la mezcla de concreto. .	156
Figura 34. Medición del asentamiento de la mezcla de concreto.....	157
Figura 35. Elaboración de especímenes de concreto.	157
Figura 36. Desencofrado y codificación de los especímenes de concreto.	158
Figura 37. Curado de especímenes de concreto.	158
Figura 38. Ruptura de los especímenes de concreto.....	159
Figura 39. Ceniza volante FLY ASH TIPO F.	159
Figura 40. Saturación de especímenes de concreto para el ensayo de absorción y porosidad	160
Figura 41. Especímenes cilíndricos para el ensayo de tracción en el concreto .	160
Figura 42. Ensayo a tracción de los especímenes cilíndricos de concreto a edad de 7 días	161
Figura 43. Falla del espécimen cilíndrico con adición del 15% de ceniza volante después del ensayo a tracción	161

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la influencia que genera la ceniza volante FLY ASH TIPO F en las características físico – mecánicas de un concreto de alta resistencia de $f'c$ igual a 500 kg/cm² . Para lo cual se planteó cuatro grupos de estudio o tratamientos los cuales fueron: mezcla patrón con 0%, 10%, 12% y 15% de ceniza volante por peso de cemento. De estos cuatro tratamientos de concreto se estudió las variables de resistencia a compresión, resistencia a tracción, porosidad, absorción y módulo de elasticidad en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días. La dosificación con la que se obtuvo mayores resistencias a la compresión y tracción; una disminución en la porosidad, absorción y un aumento en el módulo de elasticidad en el concreto es cuando se le adicionó ceniza volante en una proporción del 12% en peso del cemento, alcanzando valores de aumento de la resistencia a la compresión de hasta 8.34% a edad de 7 días, 12.20% a edad de 14 días y 18.04% a edad de 28 días. A la edad de 7 días la absorción y porosidad del concreto disminuyen en 0.86% y 1.53%; la resistencia a tracción aumenta en 4.92 Kg/cm² y el módulo de elasticidad a los 28 días aumenta en 8.6%. Concluyendo que un concreto de alta resistencia de $f'c$ igual a 500 kg/cm² elaborado con la adición de ceniza volante FLY ASH TIPO F mejora las propiedades físico - mecánicas del concreto

Palabras clave: Concreto de alta resistencia, ceniza volante y características físico - mecánicas

ABSTRACT

The objective of this research work is to determine the influence generated by fly ash FLY ASH TYPE F on the physico - mechanical characteristics of a high resistance concrete of f'_c equal to 500 kg/cm². To this end, four study groups or treatments were proposed, which were: standard mixture with 0%, 10%, 12% and 15% of fly ash by weight of cement. Of these four concrete treatments, the variables of compressive strength, tensile strength, porosity, absorption and modulus of elasticity were studied in cylindrical specimens of concrete at the age of 7, 14 and 28 days. The dosage with which greater resistance to compression and traction was obtained; a decrease in porosity, absorption and an increase in the modulus of elasticity in the concrete is when we add fly ash in a proportion of 12% by weight of the cement, reaching values of increase in compressive strength of up to 8.34% at the age of 7 days, 12.20% at the age of 14 days and 18.04% at the age of 28 days. At the age of 7 days, the absorption and porosity of the concrete decreased by 0.86% and 1.53%; the tensile strength increases by 4.92 Kg/cm² and the modulus of elasticity at 28 days increases by 8.6%. Concluding that a high strength concrete of f'_c equal to 500 kg/cm² made with the addition of fly ash FLY ASH TYPE F improves the physical-mechanical properties of concrete

Keywords: High strength concrete, fly ash and physical-mechanical characteristics

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del proyecto y planteamiento del problema

El concreto es un material de construcción que está hecho básicamente de agua, agregados (fino y grueso), cemento y aire que gana resistencia después de un cierto tiempo de reacción actúa el cemento, agua aditivos y adiciones. Aunque actualmente se les puede agregar otro ingrediente dependiendo su disposición final y el factor del tiempo, los denominados aditivos.

El uso del concreto de alta resistencia tiene poco más de 50 años, fue utilizado por primera vez en 1968 en las columnas inferiores del edificio Lake Point Tower en Chicago, Illinois, teniendo una resistencia de 520 Kg/cm².

A partir de aquel momento se han ido empleando en forma considerable, y por ello los institutos que estudian el diseño y uso del concreto, han tenido que formular y estudiar en sus laboratorios cual es el comportamiento real de este concreto; teniendo relación directa con las proporciones y calidad de ingredientes, y como debe ser su colocación para proporcionar el mejor desempeño y seguridad de los elementos donde se ocupe.

El ACI (Instituto Americano del Concreto) describe que el Concreto de Alta Resistencia, es aquel que tiene una resistencia a la compresión $f'_c \geq 420$ Kg/cm², al igual que las N.T.C. de Concreto del RCDF 2004, lo define con una resistencia a la compresión, $f'_c \geq 420$ Kg/cm².

Los concretos de hoy requieren en su composición la incorporación de aditivos y adiciones con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas y de durabilidad. En este sentido, en el presente trabajo de investigación, se ha experimentado la incorporación de ceniza volante a la mezcla de concreto para obtener concretos de alta resistencia, la misma que será comparada con una mezcla patrón, que será aquella que no presenta ningún tipo de adición.

Las cenizas son los residuos de la combustión de carbón pulverizado en centrales térmicas. Los productos de esta combustión se subdividen en cenizas volantes y de hogar. Los primeros, son residuos volátiles obtenidos a lo largo del trayecto de los gases de la combustión del carbón que son evacuados por la chimenea de la caldera. Las propiedades de estas cenizas varían ampliamente según el tipo de carbón, el residuo de cenizas, el grado de pulverización y el tipo de colectores empleados. Aun cuando estas cenizas se obtengan de una misma fuente de producción, sus propiedades físicas y químicas presentan cierto rango de variación. Las cenizas de hogar, por su parte, se obtienen desde el fondo del hogar de la caldera y el tamaño de sus partículas es entonces mayor que el de las cenizas volantes. Su producción corresponde al 20%, aproximadamente, del total de cenizas obtenidas.

Los efectos de las cenizas volantes en el concreto han sido estudiados en numerosas investigaciones, sea como reemplazo de parte del cemento portland, sea simplemente como adición en el concreto. En el primer caso, que es mayoritario en estudios, se ha comprobado que cuando se emplean las cenizas volantes en porcentaje de 10 a 30 % de reemplazo del total de cemento, el agua necesaria para mezclado por unidad de volumen del concreto generalmente no aumenta y a veces puede ser reducida; que la resistencia en las primeras edades, hasta los 28 días disminuye, pero en edades posteriores puede ser igual o mayor que el hormigón normal; que los cambios de volumen no son significativamente afectados; que se reducen el calor de hidratación y la permeabilidad; que aumenta la cantidad de aditivo necesario para una determinada incorporación de aire.

Cuando las cenizas volantes se emplean como adición en el concreto, se ha comprobado que, en cantidades de 15 a 30 % en peso de la arena de concretos pobres, se mejora notablemente la trabajabilidad y se obtienen mayores resistencias a todas las edades.

Para poder comprobar la hipótesis planteada, en la presente tesis de investigación, se plantea la adición de ceniza volante a un concreto patrón de $f'c = 500$ Kg/cm², en proporciones de 10%, 12% y 15% por peso de cemento, elaborándose un total de 30 especímenes de concreto, los que serán ensayados a compresión según la norma técnica ASTM C39M – 16, a edades de 7, 14 y 28 días.

1.2 Formulación Del Problema

Conociendo el problema de investigación y los argumentos para realizar la presente tesis de investigación es que se formula el siguiente problema:

¿Cuál es la influencia que presenta la adición de ceniza volante en las propiedades físico-mecánicas de un concreto de alta resistencia de $f'c = 500$ Kg/cm², en la ciudad de Cajamarca?

1.3 Hipótesis

La adición de ceniza volante mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto de alta resistencia cuyo $f'c$ es igual a 500 Kg/cm² y en especial la resistencia a la compresión aumenta en un 15%

1.4 Variables

1.4.1 Variable independiente

Ceniza volante

1.4.2 Variable dependiente

Propiedades físico - mecánicas

1.5 Justificación de la investigación

Este trabajo de investigación se justifica por lo siguiente:

El concreto de alta resistencia en diversos estudios se ha demostrado que la economía que representa se puede ver representada directamente en el tamaño de los elementos estructurales, y en especial las columnas para los edificios de gran altura, de mediana altura y los de baja altura.

El concreto de alta resistencia debido a que se reducen los tamaños de los elementos estructurales, produce un material más resistente y durable, y además, porque en el sometimiento a un análisis dinámico, se ha podido demostrar que produce menor desplazamiento lateral, y con ello aumenta la rigidez lateral y al acortamiento axial del edificio.

Otro aspecto importante del uso de concretos de alta resistencia es que además pueden disminuir el uso de tamaños diversos de cimbras para la estructura de soporte, debido a que se puede iniciar usando un concreto de alta resistencia en los niveles inferiores y en los niveles posteriores, únicamente se disminuye la resistencia, esto conlleva a mantener iguales las dimensiones de los elementos en todo el edificio.

Además, la ceniza volante a utilizar FLY ASH TIPO F, está constituido por sílice reactiva, reacciona con el hidróxido de calcio del cemento, formando compuestos de silicato de calcio, sellando los poros capilares del concreto, lo cual conduce a una reducción de su capilaridad incrementando su permeabilidad, resistencia a la compresión y sellado de los poros capilares del concreto incrementando su resistencia química.

1.6 Alcances

Con la finalidad de alcanzar con los objetivos planteados, en la presente tesis de investigación, se plantea desarrollar actividades que estén de acuerdo con lo que estipula la normatividad vigente, realizando cuatro diseños de mezcla (mezcla patrón, mezcla con dosificación de 10% de ceniza volante por peso

de cemento, mezcla con dosificación de 12% de ceniza volante por peso de cemento y mezcla con dosificación de 15% de ceniza volante por peso de cemento), con los que se elaborarán un total de 30 especímenes de concreto por cada tipo de mezcla, para ser ensayados a compresión uniaxial a edades de 7, 14 y 28 días.

1.7 Objetivos.

1.7.1 Objetivo general

- ✓ Determinar las características físico – mecánicas de un concreto de alta resistencia de f_c igual a 500 kg/cm² con adición de ceniza volante.

1.7.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados de la cantera Chilete ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: 7°12'51" S y 78°46'45" O.
- ✓ Determinar las propiedades tanto en estado fresco y endurecido del concreto de alta resistencia con la adición de ceniza volante en proporciones de 10%, 12% y 15% por peso de cemento.
- ✓ Determinar el porcentaje óptimo de ceniza volante FLY ASH TIPO F a un concreto de alta de resistencia de f_c igual a 500 Kg/cm².
- ✓ Determinar la resistencia a tracción del concreto de alta resistencia con la adición de ceniza volante a la edad de 7 días.
- ✓ Determinar la porosidad y absorción del concreto de alta resistencia con la adición de ceniza volante a la edad de 7 días.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos De La Investigación

El uso del Concreto de Alta Resistencia tiene poco más de 50 años, fue utilizado por primera vez en 1968 en las columnas inferiores del edificio Lake Point Tower en Chicago, Illinois, teniendo una resistencia de 520 kg/cm². A partir de aquel momento se han ido empleando en forma considerable, y por ello los institutos que estudian el diseño y uso del concreto, han tenido que formular y estudiar en sus laboratorios cual es el comportamiento real de este concreto; teniendo relación directa con las proporciones y calidad de ingredientes, y como debe ser su colocación para proporcionar el mejor desempeño y seguridad de los elementos donde se ocupe.

El interés de las cenizas volantes puede remontarse al año 1895, fecha en que las fábricas de cemento empiezan a utilizar como combustible carbón pulverizado. En 1910 se empieza a utilizar también en calderas de vapor y comienza, a partir de esa fecha, un rápido crecimiento en la utilización de carbón pulverizado en Centrales Térmicas, al tiempo que un severo incremento de las restricciones reguladoras de las descargas de humos, sobre todo en áreas densamente pobladas, motivo por el cual el problema de la recuperación de cenizas volantes se desarrolló a gran escala.

Estos estudios comenzaron en EE.UU., pero (no sólo en este país, sino también en muchos otros industrializados que utilizaban carbón a gran escala, como Alemania, Francia, Inglaterra, Polonia, etc. Los precursores en la utilización fueron también los EE.UU. que en 1930 desarrollaron su aplicación a la fabricación de productos de hormigón, y como adición al hormigón mismo en la construcción de obras hidráulicas (Presa de Hungry Horse). De 12 millones de t de cenizas volantes producidas en 1959, se pasará a 40 millones de t en 1980, por lo que se ve la necesidad de abrir nuevos campos de utilización.

A. Antecedentes internacionales

F. Amahjoura, J. Payáb, P. Pardoc, M.V. Borrachero desarrollaron un estudio en la Universidad Politécnica de Valencia en el año 2002, referente a las "Propiedades de lechadas de cemento fabricadas con cementos de Tipo I y mezclas con cenizas volantes (cv) y humo de sílice (hs)". En el presente trabajo se investiga la influencia de la incorporación de adiciones como la ceniza volante y humo de sílice sobre las características de las lechadas de cemento tales como la fluidez, exudación, variación de volumen, y las resistencias mecánicas a compresión R_c . También se estudia mediante Análisis Termogravimétrico (ATG) y por Difracción de Rayos X (DRX), la relación entre la R_c y el desarrollo y la formación de los compuestos hidratados. La incorporación de puzolanas a las lechadas en niveles de sustitución elevados (30%), permite la reducción en el consumo de cemento, sin sacrificar las propiedades básicas del producto final. La sustitución de cemento por CV o por mezcla CV/HS permite fabricar lechadas con mayor fluidez, aunque la exudación y la variación de volumen se incrementan sensiblemente. Las resistencias mecánicas a compresión alcanzadas por las lechadas con puzolanas son más elevadas de lo que cabría esperar por el contenido en cemento de las mismas y por la elevada relación agua/cemento, demostrando el papel efectivo en el desarrollo de microestructuras resistentes activadas por la presencia de puzolanas.

Mejía J. M.; Rodríguez, E. D. y Mejía de Gutiérrez, R. desarrollaron un estudio en la Universidad de Bogotá en el año 2014, referente a la "Utilización potencial de una ceniza volante de baja calidad como fuente de aluminosilicatos en la producción de geopolímeros". En este artículo presenta la síntesis de materiales geopoliméricos a partir de una ceniza volante de origen colombiano (FA). Se evaluaron diferentes condiciones de activación de esta ceniza mediante el ajuste de los módulos totales de $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2 \text{O}_3$ y $\text{Na}_2 \text{O} / \text{SiO}_2$, así como el efecto de la incorporación de dos fuentes de calcio: una escoria granulada de alto horno (GBFS) y un cemento Portland tipo I (OPC). La cinética de las reacciones desarrolladas después de la activación alcalina de la FA se evaluó realizando una calorimetría isotérmica, según la cual los sistemas de mayor alcalinidad exhiben una mayor liberación de calor y un mayor grado de disolución de la fuente primaria. La incorporación de la fuente de calcio modifica la cinética de reacción y el tipo y características de los productos formados tras la activación. El incremento en la relación molar $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2 \text{O}_3$ del sistema condujo a obtener materiales con una resistencia a la compresión superior hasta en ~77%. En términos generales, la incorporación de una fuente de calcio al sistema contribuye a la adquisición de un mejor desempeño mecánico en todas las edades de curado en estudio. Los resultados evidencian el potencial aprovechamiento de esta FA para producir cementos no convencionales con resistencias a 28 días de curado superiores a los 50 MPa.

PARRA, F. I realizo un estudio en la Universidad de Chile en el año 2015, relacionado a "La eficiencia de una ceniza volante como adición inhibidora del fenómeno expansivo por formación de etringita retardada (def) en el hormigón". En el presente trabajo se estudiara el efecto de una ceniza volante como remplazante de cemento portland en diferentes dosificaciones, manteniendo el contenido de SO_3 en un rango normal entre 2,8-3,5%, para esto se confeccionaran una serie de probetas las cuales serán sometidas a curados a temperatura y ciclos de humedecimiento y secado, con el fin de homologar las condiciones óptimas para que se produzca el fenómeno DEF y

acelerar las expansiones que este conlleva, se utilizó esta metodología ya que se cuenta con un estudio anterior en el cual se realizaron los mismos ensayos, pero en ese caso se estudió el desempeño de una puzolana natural. Luego de un periodo de 120 días de medición de expansiones se concluyó que hormigones con una dosificación de 70% de cemento Portland y 30% de ceniza volante o puzolana es suficiente para controlar e inhibir el fenómeno DEF.

B. Antecedentes nacionales

Hasta la fecha no existe publicaciones referentes a la utilización de ceniza volante, como una adición para la elaboración de concretos.

C. Antecedentes Locales

Hasta la fecha no existe publicaciones referentes a la utilización de ceniza volante.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Concreto.

El concreto es un material durable y resistente, dado que se trabaja en su forma semilíquida, puede adquirir cualquier forma. Es un excelente material de construcción porque puede moldearse en una gran variedad de formas y texturizados para ser usado en un número ilimitado de aplicaciones.

El concreto está compuesto por la mezcla de cemento, agua, arena y grava. La pasta, compuesta de Cemento Pórtland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua. Los agregados pueden ser finos o gruesos. Los finos pueden ser arena natural o artificial con partículas hasta de 9,5mm y los gruesos de 19 a 25mm. (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

La mezcla de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. Cuanta menos agua se use, mejor es la calidad del concreto, si es que la mezcla se puede consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezcla (mezclado) resultan en mezclas más rígidas (secas); pero, con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser fácilmente colocadas. Por lo tanto, la consolidación por vibración permite una mejoría de la calidad del concreto. (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

En cuanto a la calidad de los agregados, es importante adecuarla a las funciones que debe desempeñar la estructura, a fin de que no representen el punto débil en el comportamiento del concreto y en su capacidad para resistir adecuadamente y por largo tiempo los efectos consecuentes de las condiciones de exposición y servicio a que esté sometido.

Finalmente, la compatibilidad y el buen trabajo de conjunto de la matriz cementante con los agregados, dependen de diversos factores tales como las características físicas y químicas del cemento, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen los agregados, y la forma, tamaño máximo y textura superficial de éstos. (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

2.2.1.1 Características del concreto

En la tabla 1, se muestra las características principales, así como su definición y los factores que influyen en sus propiedades.

Tabla 1. *Características y propiedades del concreto*

Característica	Definición	Factores influyentes
Trabajabilidad	Es la facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manejo	<ul style="list-style-type: none"> -Cantidad y características de los materiales cementantes. -Consistencia del concreto -Tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos. -Aire incluido (aire incorporado). -Cantidad de agua. -Temperatura del concreto y del aire
Sangrado (exudación)	Es el desarrollo de una camada de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie. El sangrado es útil en el control de la fisuración por retracción plástica. El exceso de sangrado aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie	<ul style="list-style-type: none"> -Aumenta el sangrado: con la cantidad inicial de agua, altura del elemento de concreto y presión. -Reduce el sangrado: El uso de agregados de granulometría adecuada, ciertos aditivos químicos, aire incluido, materiales cementantes suplementarios y cementos más finos.
Hidratación, tiempo de fraguado y endurecimiento	La calidad de unión (adhesión) de la pasta de cemento se debe a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, conocidas como hidratación. En la pasta de cemento ya endurecida, las partículas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar, cementando todo el conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de resistencia.	<p>Las propiedades ingenieriles del concreto, fraguado y endurecimiento, resistencia dependen principalmente del gel de hidrato de silicato de calcio.</p> <p>El silicato tricálcico y el silicato dicálcico constituyen cerca del 75% del peso del cemento Portland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio.</p> <p>La composición química del silicato de calcio hidratado que contiene cal (CaO) y sílice (SiO₂), está en una proporción sobre el orden de 3 a 2. El área superficial del hidrato de</p>

Va...

...Viene		
Calor de hidratación	Las reacciones que se dan como resultado del endurecimiento de la pasta de cemento hidráulico son exotérmicas. Las grietas se forman si el gradiente térmico es demasiado elevado.	Temperaturas altas se controlan colocando concreto con una temperatura inicial baja y sustituyendo el cemento portland por materiales cementantes de reacción más lenta o reduciendo el contenido de cemento mediante aditivos químicos.
Resistencia	<p>Resistencia a la compresión: Es el factor que determina la idoneidad del concreto. Generalmente varía entre 30 y 50 Mpa, se han empleado resistencias más altas de 130 Mpa. Se define como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes del concreto.</p> <p>Resistencia a la flexión: Se usa en el diseño de pavimentos u otras. Es normalmente de 0.7 a 0.8 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en MPa</p> <p>Resistencia a la tensión: es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.</p>	<p>Factores que gobiernan la resistencia del concreto:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Relación agua y material cementante -Condiciones de curado (humedad y temperatura) -Edad -Características de material cementante -Características y cantidad de los agregados -Tiempo de mezclado -Grado de compactación -Contenido de aire
Resistencia al congelamiento y al deshielo	La congelación es el factor de temperismo más destructivo y el deshielo mientras el concreto está húmedo. El deterioro es causado por la congelación del agua y posterior expansión en la pasta, agregado o ambos.	Aumenta resistencia a desintegración por congelamiento: Incorporación de Aire y minimizar formación de escamas Uso de aditivos inclusores de aire para lograr burbujas con separación homogénea
Permeabilidad y estanquidad	<p>Permeabilidad: cantidad de agua que migra a través del concreto mientras que el agua está bajo presión o habilidad del concreto de resistir la penetración del agua u otra sustancia.</p> <p>Estanquidad: habilidad del concreto en retener el agua sin escurrimiento o escape visible.</p>	<p>Baja permeabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Relación agua - Materia cementante (a/mc) debe limitarse. -Sustituir una parte del cemento por puzolana. -Compactación y curado.

Fuente: Mather & Ozyildirim, 2002.

2.2.1.2 Compuestos del concreto

a. El cemento

El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, formando un todo compacto. En la construcción, se ha generalizado la utilización de la palabra cemento para designar un tipo de aglutinante específico, existen varios tipos de cemento como lo describe la Tabla 2, dentro de ellos el más común es el que se denomina Cemento Pórtland., la clasificación de cementos portland se describe en la tabla 3.

Tabla 2. Tipos de cemento de acuerdo a la norma UNE EN 197-1

Tipos de cemento	Denominaciones
Tipo I	:Cemento Portland
Tipo II	:Cemento Portland con Adiciones
Tipo III	:Cemento Portland con Escorias de Alto Horno
Tipo IV	:Cemento Portland Puzolánico
Tipo V	:Cemento Portland Compuesto

Fuente: Norma UNE-EN 197-1

Tabla 3. Tipos y subtipos de cemento Portland designados por la ASTM C 150

Tipos de Cemento	Descripción
Tipo I	:Normal
Tipo IA	:Normal con aire incluido
Tipo II	:Moderada resistencia a los sulfatos
Tipo IIA	:Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido
Tipo III	:Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana)
Tipo IIIA	:Alta resistencia inicial con aire incluido
Tipo IV	:Bajo calor de hidratación
Tipo V	:Alta resistencia a los sulfatos

Fuente:(Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004

Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada o cualquier material granular) la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto. (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

La pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto. El volumen absoluto del Cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15 % y el agua entre el 14 y el 21 %. El contenido de aire y concreto con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso como se muestra en la figura 2. Esta pasta tiene la función de cubrir a los agregados finos y gruesos en toda su superficie, además de llenar los vacíos que por efectos de granulometría existen en mayor o menor cantidad. Como los agregados constituyen aproximadamente el 60 al 75 % del volumen total del concreto, su selección es importante.

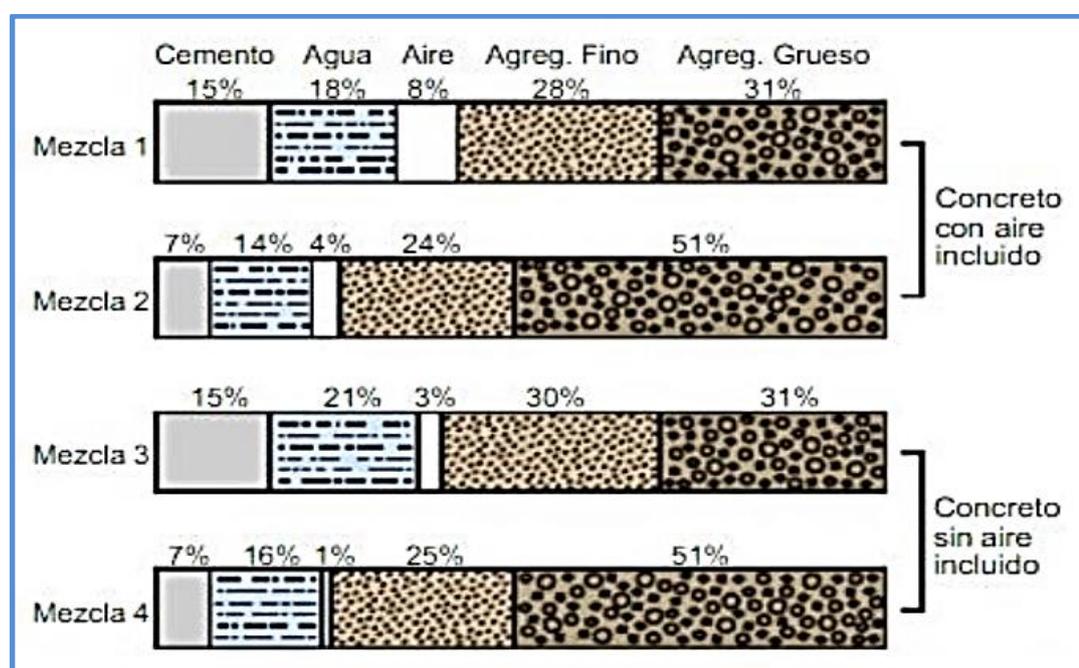


Figura 1. Proporciones de materiales usadas en concreto

Fuente: Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004

b. El agua

Cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor y olor se puede usar como agua de mezcla. Sin embargo, es posible usar aguas que no se consideren potables garantizando a través de ensayos del tiempo de fraguado que las impurezas en el agua de amasado no van a disminuir o a aumentar adversamente el tiempo de fraguado del cemento.

El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, pero también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad; por lo tanto, se pueden establecer ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas sobre varias propiedades. Algunas impurezas pueden tener un pequeño efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado y aun afectar la durabilidad y otras propiedades. (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos aplicaciones diferentes: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente cuando el concreto se cura con agua, es usual que se recomiende emplear igual de una sola calidad en ambos casos. Así, normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se indica que el agua que se utilice para curarlo debe ser del mismo origen, o similar, para evitar que se subestime esta segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas. (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente se refieren a sus características físico – químicas ya sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto. Salvo estudios especiales se prohíbe expresamente el empleo de aguas de mar o salinas para el amasado o curado del hormigón armado o pretensado. (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

c. Agregados

Los agregados pueden ser finos como la arena y piedra triturada con partículas menores de 5 mm o gruesos como la grava y la piedra triturada con partículas superiores a los 5 mm; ocupan entre el 60 y el 75% del volumen del concreto. Influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto. (Rivva, 200)

Los agregados frecuentemente se lavan y se gradúan en la cantera de donde se extraen. Pueden existir variaciones en cuanto al tipo, calidad, limpieza, granulometría (gradación), contenido de humedad entre otras. Los agregados naturales para concreto son una mezcla de rocas y minerales. Las rocas generalmente se componen de minerales como por ejemplo el granito que contiene cuarzo, feldespato, mica y otros pocos minerales. (Rivva, 200)

También es usado el concreto reciclado o de desperdicio, que representan un beneficio de tipo económico y como sustitutos en especial en áreas donde se presenta escases de buenos agregados. Lo que establecen las normas de los agregados en Ingeniería: Deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables, libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos que puedan activar la hidratación y la adherencia a la pasta de cemento (Rivva, 200)

- **Granulometría**

La granulometría es importante para lograr una mezcla económica, porque afecta a la cantidad de concreto que puede fabricarse con una cantidad determinada de cemento y agua. La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C136).

El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100 (150 micras) hasta 9.52 mm. (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la ASTM C 33, más otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula; la granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

d. Aditivos

Sustancias o productos que, incorporados al hormigón (antes o durante el amasado o en un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada en estado fresco y/o endurecido de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento. (Reed Business Information Spain, 2006)

Reed Business Information Spain también expresa que la interpretación que puede darse a esta definición es que un material sólo puede considerarse como aditivo cuando se incorpora individualmente al concreto, es decir, que se puede ejercer control sobre su dosificación. De esta manera, las puzolanas y las escorias solamente son aditivos si se les maneja y administra por separado del cemento Portland. Lo cual no deja de ser más bien una cuestión de forma, ya que cualitativamente sus efectos son los mismos que si se administran por conducto del cemento. (Reed Business Information Spain, 2006)

En hormigones armados y pretensados se prohíbe la utilización de aditivos en cuya composición intervengan cloruros, sulfuros, sulfitos u otros componentes químicos que puedan ocasionar o favorecer la corrosión de las armaduras. El cloruro cálcico, por tanto, sólo podrá emplearse en hormigón en masa, en las debidas proporciones (del 1,5 al 2% del peso del cemento). En los elementos pretensados mediante armaduras ancladas exclusivamente por adherencia, no podrán utilizarse aditivos que tengan carácter de aireantes; los aditivos se transportarán y almacenarán de manera que se evite su contaminación y que sus propiedades no se vean afectadas por factores físicos o químicos (heladas, altas temperaturas, etc.) (Reed Business Information Spain, 2006)

Los aditivos se usan comúnmente para:

- Ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento
- Reducir la demanda de agua
- Aumentar la trabajabilidad,
- Incluir intencionalmente aire
- Ajustar otras propiedades del concreto.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado, y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, resistencia al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o nulo mantenimiento.

Entre los recientes desarrollos están la nueva generación de aditivos superfluidizantes, aditivos de innovación para el colado de concreto en climas fríos, agentes inclusores de aire, desarrollo de cementos libres de macrodefectos, aditivos activadores de escoria, aditivos inhibidores de la expansión álcaliagregado, aditivos para colados bajo el agua, aceleradores de fraguado libre de cloruros, aditivos controladores de fraguado y aditivos inhibidores de corrosión. (Colunga, 2003)

Debe tenerse en cuenta que el comportamiento de los aditivos puede variar con las condiciones particulares de cada obra, tipo y dosificación de cemento, naturaleza de los áridos, etc. Por ello es imprescindible la realización de ensayos previos en todos, los aditivos suelen emplearse en la elaboración de concretos, morteros o mezclas de inyección, no sólo para modificar sus propiedades en los estados fresco y endurecido, sino también por economía, para ahorrar energía y porque hay casos en que el uso de un aditivo puede ser el único medio factible para obtener el resultado requerido. (Colunga, 2003)

2.2.2 Cenizas volantes

El residuo inorgánico que resulta después de quemar el carbón pulverizado, se conoce como derivado de combustión. Estos derivados se acumulan rápidamente y pueden causar problemas enormes de desperdicio, a menos que se encuentre alguna manera de utilizarlos por medio de programas de recuperación. (Corona, 1997).

Las investigaciones que se llevaron a cabo detectaron en este producto un poder puzolánico similar a los materiales naturales de origen volcánico que, adicionados al cemento, son capaces de reaccionar con los productos de hidratación aportando nuevas propiedades al producto final. (Corona, 1997).

2.2.2.1 Origen de las cenizas volantes

De acuerdo con la norma ASTM C618, "Las cenizas volantes son el residuo finamente dividido que se origina en la combustión del carbón". Las cenizas de combustión pulverizadas llamadas cenizas volantes por ser residuos de carbón bituminoso ardiendo son lo suficientemente finos para ser llevados por el gas que sale del horno. La ceniza se elimina por medio de una serie de precipitadores mecánicos y electrostáticos antes que el gas sea liberado a la atmosfera, las operaciones unitarias del proceso se describen en la figura 2. (Corona, 1997).

El polvo es fino de partículas esféricas y cristalinas, tiene propiedades puzolanicas y está compuesto principalmente de SiO_2 y Al_2O_3 .



Figura 2. Proceso de Obtención de la Ceniza Volante

Fuente: Corona, 1997

Debido a que las cenizas volantes se originan de la combustión del carbón, las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las mismas dependen directamente del tipo de carbón del cual provienen y de la calidad del proceso de su proceso de combustión. Antes de su combustión el carbón se pulveriza usando molinos y posteriormente se inyecta dentro del horno usando para ello una corriente de aire caliente a alta velocidad, ya en suspensión se quema a una temperatura superior a 1500 °C, dentro de dicho proceso las partículas inorgánicas no sufren una combustión completa, produciéndose partículas de ceniza. (Corona, 1997).

Las centrales termoeléctricas que usan carbón (combustible) y que son generadoras de energía producen dos tipos de residuos: las cenizas volantes y la escoria, la diferencia entre ellas dos radica en el tamaño de las partículas. Las partículas más finas (cenizas volantes) se obtienen mediante una precipitación mecánica o electrostática del polvo que se encuentre en estado de suspensión, las más gruesas (escorias) caen al fondo por gravedad. Las cenizas volantes constituyen aproximadamente el 80% del total de la ceniza. Este proceso se muestra en la figura 3. (Corona, 1997)

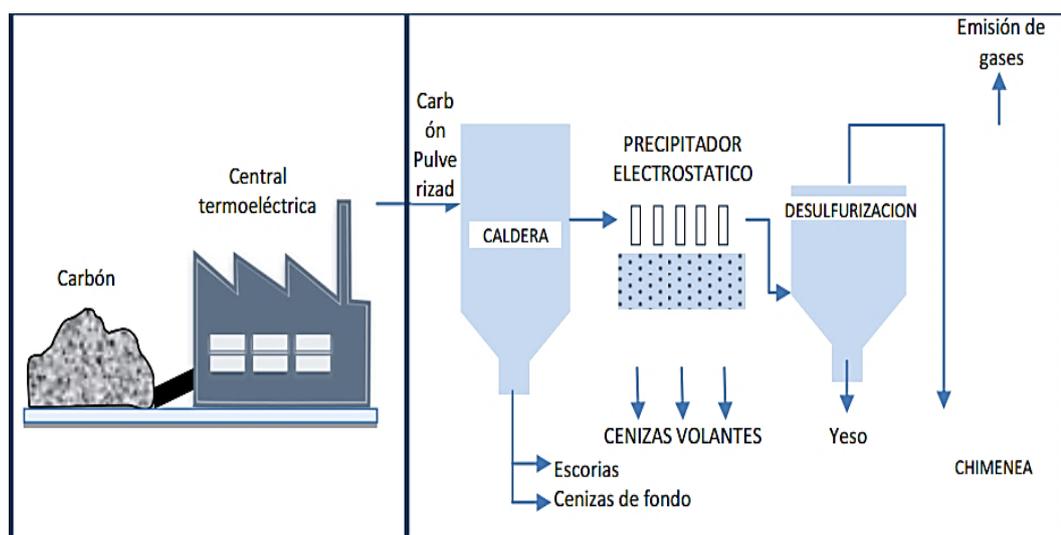


Figura 3. Esquema de la Producción de las Cenizas Volantes y Escorias
Fuente: Roa, 2016.

Existen cuatro variedades fundamentales de carbón: antracitas, carbones subbituminosos, bituminosos y lignitos; esta clasificación se extiende desde los carbones más antiguos hasta los más recientes. De acuerdo con su calidad, la antracita es el carbón de mayor poder calorífico, siendo el lignito el más pobre en este aspecto. La figura 4 representa los tipos de carbón y el uso según la industria que lo requiera. (Roa, 2016)

Los componentes principales del carbón son:

- a) **Vitreño:** Es la parte negra, brillante y quebradiza del carbón.
- b) **Clareño:** Es negro y brillante, pero en menor cantidad que el vitreño.
- c) **Dureño:** Es el componente mate, gris oscuro, duro y resistente.
- d) **Fuseno:** Es la parte negra, blanda y polvorosa que tiende a romperse. No es coquizable, por lo cual perjudica el poder aglomerante del carbón.

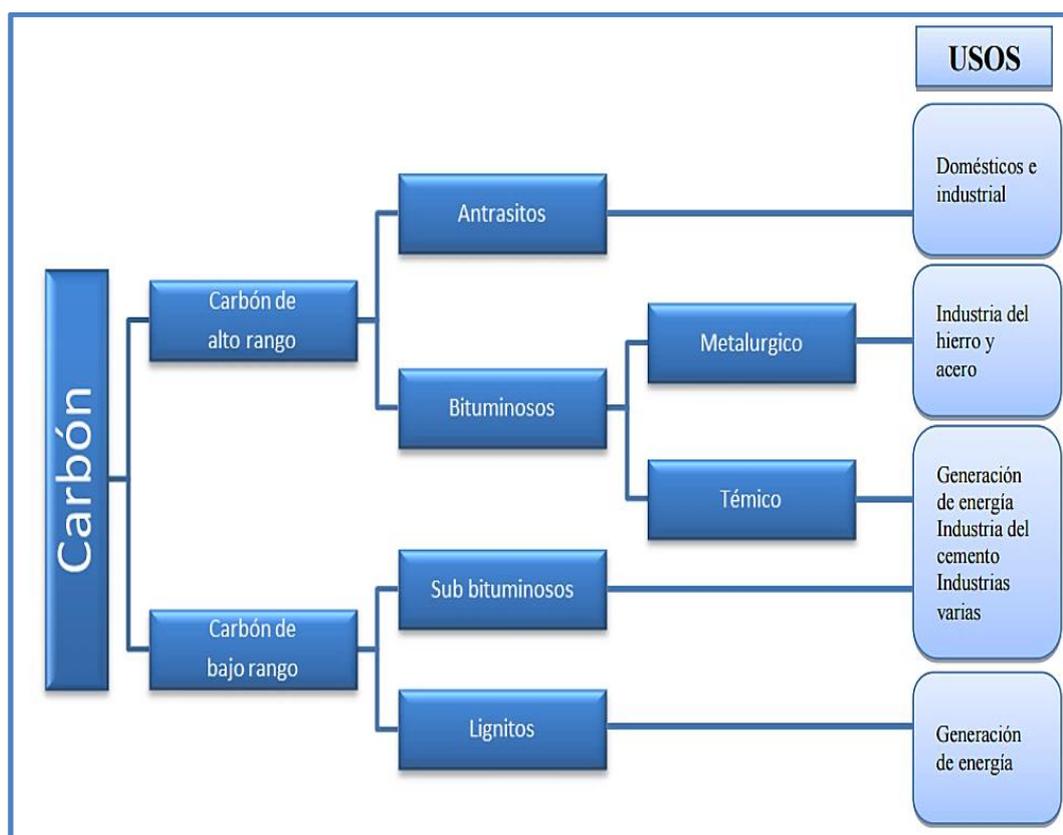


Figura 4. Clase, estado y uso del carbón

Fuente: Roa, 2016

El contenido de ceniza es el material incombustible del carbón, en formas de materias minerales en el crecimiento de los vegetales iniciales, materiales extraños que penetraron en la yeta durante su formación o rocas atrapadas durante el proceso de extracción. Las materias minerales están las que existían en la sustancia vegetal originaria, las que fueron transportadas por las aguas en la formación e intercaladas entre la sustancia vegetal en descomposición y aquellas materias extrañas. (Roa, 2016)

2.2.2.2 Clasificación de las cenizas volantes

De acuerdo con la norma colombiana NTC 3493: Cenizas Volantes y Puzolanas Naturales, Calcinadas o Crudas, Utilizadas Como Aditivos Minerales en el Concreto de Cemento Pórtland (ASTM C – 618: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete), existen dos clases de cenizas volantes: Ceniza Volante clase C y Ceniza Volante clase F

a. Cenizas volantes clase f

Están constituidas por cenizas volantes producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas o carbones bituminosos. Estas cenizas deben cumplir los requisitos dados por la norma NTC 3493 (ASTM C – 618), por lo que poseerán propiedades puzolánicas.

b. Cenizas volantes clase c

Son la producidas por la combustión de lignitos o carbones sub bituminosos y contienen mayor cantidad de cal (entre 15 y 30%). Estas además de poseer propiedades puzolánicas.

2.2.2.3 Propiedades de las cenizas volantes

Sus propiedades y características dependen de varios factores como la composición química de los componentes incombustibles del carbón, el grado de pulverización del mismo, el tipo de caldera, la temperatura de combustión, el tipo de extractor, el proceso por el cual las cenizas son retiradas.

a. Propiedades físicas

La forma, fineza, distribución del tamaño de la partícula, densidad, y composición de las partículas de las cenizas volantes, influyen las características de los productos para uso final se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. *Propiedades físicas principales de las cenizas volantes*

Propiedad física	Rango de valores
Aspecto externo	Polvo fino, grisáceo
Tamaño de partícula	1 – 200 μm ϕ
Superficie específica	0.2 – 25 m ² /g
Densidad	0.5 – 0.8 g/cm ³
Peso específico	1.9 – 2.8 g/cm ³
Fusión	950 – 1550 °C
Absorción de líquido	20 – 30% de agua

Fuente: Roa, 2016.

El tamaño del grano oscila entre 0,2 y 200 micras de diámetro, las que provienen de lecho fluido tienen forma pulverulenta con partículas de tipo plano y granulometría de 0,5 a 315 micras, en algunos países utilizan mallas de 45 micras, con lo cual se determina que entre mayor sea la cantidad de ceniza volante que pase por la malla de 45 micras, mayor será su efecto sobre la resistencia del concreto, esta es usada como función del tamaño de las partículas. (Roa, 2016)

Su forma es de un polvo granulado, en su mayoría sus partículas son esféricas, algunas aplanadas, su color varía de gris claro a negro dependiendo de la fuente, el color claro indica presencia de cal. En cuanto a las propiedades puzolánicas está indicada por la manera y la rapidez con la que la sílice de la ceniza volante se combina con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento. En general las cenizas volantes tienen una velocidad de reacción menor que la mayoría de puzolanas. (Roa, 2016)

Estabilidad de Volumen: Según Brown, 1976 menciona que la estabilidad de volumen es la capacidad de una pasta de cemento, mortero u concreto, para resistir las tensiones internas producidas durante la hidratación del cemento, sin sufrir variaciones de volumen ni grietas. El empleo de cementos con adiciones, (cementos Portland + ceniza volante) ha resultado ventajoso para evitar, los fenómenos de expansión, debido, entre otras causas, al hecho de que los cementos con adiciones contienen una menor cantidad de Clinker Portland.

b. Propiedades químicas

Las cenizas volantes son especialmente ricas en dióxido de sílice (SiO₂), óxido de aluminio (Al₂O₃) y óxido férrico (Fe₂O₃), conteniendo también otros óxidos, como óxido cálcico (CaO), óxido magnésico (MgO), óxido de titanio (TiO₂), óxido de sodio (Na₂O), óxido de potasio (K₂O), trióxido de azufre (SO₃), etc., la responsabilidad de su actividad puzolánica se atribuye al SiO₂ y al Al₂O₃, especialmente si ambos se encuentran formando parte de productos amorfos.

La tabla 5 muestra la composición química típica de las cenizas volantes y la tabla 6 describe el análisis mineralógico de las formas en que están presentes los Materiales.

Tabla 5. *Composición típica de las cenizas volantes*

Componente	Ceniza clase f	Ceniza clase c	Cemento portland
SiO ₂	54.90	39.90	22.60
Al ₂ O ₃	25.80	16.70	4.30
Fe ₂ O ₃	6.90	5.80	2.40
CaO (cal)	8.70	24.30	64.40
MgO	1.80	4.60	2.10
SO ₃	0.60	3.30	2.30

Fuente: Roa, 2016.

Mineralógicamente las cenizas volantes están compuestas por una gran fase de vidrio (más del 80% de las cenizas) y una fase cristalina consistente principalmente de mullita, cuarzo, magnetita, yeso, hematites, wustita, goehita, pirita, calcita, anhidrita, periclusa, y oxido de calcio libre.

El contenido de fase vítrea puede calcularse por medios químicos o por difracción de rayos x. Para el caso de los análisis químicos exigen la determinación de los siguientes parámetros y compuestos: Humedad, perdida por calcinación, carbón sin quemar, oxido de aluminio, de zinc, de magnesio, de Sodio y de Potasio, óxido de hierro II, óxido de hierro III, oxido de manganeso II y de cromo IV, oxido de fosforo, oxido de calcio total, oxido de calcio libre, dióxido de silicio y de carbono, trióxido de azufre, ion fluoruro e ion cloruro. (Santaella, 2001)

Los factores primarios que influyen la mineralogía de cenizas volantes del carbón son según (Baker, 1987):

- Composición química del carbón.
- Proceso de la combustión del carbón incluyendo la pulverización del carbón, la combustión, operaciones limpias de la colección de las cenizas volantes ascendentes del humo.

Cuando las cenizas volantes van a ser utilizadas como materiales de construcción, deben cumplir ciertas exigencias. La tabla 6 resume los requisitos químicos que deben cumplir las cenizas volantes de acuerdo con la norma ASTM C618.

Tabla 6. Requisitos químicos de las cenizas volantes

Mineral	Descripción
Sílice	Como dióxido de sílice (Si O ₂). Está presente en forma vidriosa como silicatos de calcio, aluminio y hierro que están listos a reaccionar químicamente. El cemento Portland contiene aproximadamente un 22% de sílice.
Aluminio	Como óxido de aluminio (Al ₂ O ₃). En la ceniza volante el aluminio está siempre combinado probablemente con la sílice. Está, por lo tanto, en condición vítrea amorfa y no cristalina. El aluminio en el cemento Portland ordinariamente está entre un 3 a un 7 %.
Hierro	Como óxido ferroso (Fe O) y como óxido férrico (Fe ₂ O ₃). Casi todo el hierro está presente en la forma de óxido férrico y no se sabe cómo es que está presente la otra forma. La cantidad de hierro en el cemento Portland está entre un 1%, en algunos hasta un 9% en otros como los cementos marinos o "ferro - Portland".
Cal	Como óxido cálcico (CaO). Entre menos cal contenga un material puzolánico hay más probabilidad de que los silicatos, el aluminio y el hierro restantes reaccionen con la cal liberada por la hidratación del cemento Portland. La función de la ceniza volante es la de proporcionar sílice, aluminio, y óxidos de hierro para que reaccionen con esta cal libre formando otros compuestos estables de valor cementante
Magnesio	Como óxido de magnesio (MgO). Se encuentra también en estructura vítrea lo cual no es peligroso. Las normas francesas especifican que debe estar en proporciones menores al 3% pues este elemento es el culpable de que se produzca hinchazón en la mezcla. Las normas americanas son un poco más flexibles y fijan este límite en un 5%.
Titanio	Como óxido de titanio (TiO ₂) Químicamente es parecido a la sílice, pero como su concentración en la ceniza es tan pequeña no se le tiene en cuenta.
Álcalis, Soda Potasio y	Como óxido de sodio (Na ₂ O) y como óxido de potasio (K ₂ O), Existen como complejos de los silicatos, entre todos los otros óxidos. Menos de la mitad del 1% de los álcalis en la ceniza volante son solubles en agua. Varias personas opinan que los álcalis tienen algo que ver con la relativa actividad puzolánica de algunos materiales.
Azufre	Como trióxido de azufre (SO ₃). En la ceniza está en la forma anhídrida y en esta forma no es peligrosa. Actúa de una manera similar a la del yeso en el cemento, aunque esto no es positivamente conocido. El cemento Portland contiene entre 1 y 2% de trióxido de azufre.

Fuente: Roa, 2016

Tabla 7. Limitaciones Químicas para las Cenizas Volantes según la norma ASTM C618

Características	Clase de cenizas volantes	
	Clase F	Clase C
Dióxido del silicio (óxido de aluminio más de SiO ₂) (óxido más del hierro del Al ₂ O ₃) (Fe ₂ O ₃), %mínimo	70,0	50,0
Trióxido del sulfuro (SO ₃), % máximo	5,0	5,0
Contenido de agua, % máximo	3,0	3,0
Pérdida en la ignición, % máximo	6,01	6,0
Álcalis como Na ₂ O ₂ , % máximo	1.5	1.5
Únicamente es aplicable cuando el comprador lo requiere, especialmente para un aditivo mineral que se va a utilizar en un concreto que contenga un agregado reactivo y cemento, con el fin de cumplir con una limitante en el contenido de álcalis		
El uso de las cenizas volantes de la clase F que contienen la pérdida de hasta 12% de ignición se puede aprobar por el usuario si los resultados aceptables del funcionamiento están disponibles		

Fuente: ASTM C618

c. Humedad

La absorción de humedad por parte de las cenizas se debe a varias causas, las más importante son (Alonso Ramírez, 1990) (Asociación de Investigaciones Industrial Eléctrica: (ASINEL, 1982)

- El método utilizado en el despolvado de los humos procedentes de la combustión del carbón, que arrastran a las cenizas volantes.
- El método utilizado en la recogida de las cenizas, que puede realizarse en estado seco o húmedo.
- El sitio en el que se depositan, que por lo general se hace a la intemperie en zonas cercanas a la central.

2.2.2.4 Usos y ventajas de la ceniza volante

Las propiedades que tienen las cenizas volantes les permiten ser utilizadas en diversas aplicaciones, su mayor uso es como materia prima en la fabricación de cementos, hormigones y morteros, entre otros.

Con relación a los problemas de durabilidad de estructuras de concreto, esta industria empezó a abordar el desarrollo de un nuevo tipo de concreto, de alto comportamiento, capaz de responder a los requisitos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad. Se reconoció que la extrapolación del conocimiento acerca del concreto convencional no resulta adecuada para manejar el desarrollo del alto comportamiento. (Santaella, 2001)

La tecnología moderna del concreto exige que la estructura del concreto resulte tan resistente como se desee y que a la vez soporte las condiciones de exposición y servicios a la que se verá sometida durante su vida útil. Para lograr lo anterior se requiere de los conocimientos del comportamiento de todos los ingredientes que interviene en el concreto y su correcta dosificación, ya que dependiendo de los porcentajes de cada uno de sus componentes primarios cambian sus propiedades y de igual manera con sus aditivos y adiciones. (Santaella, 2001)

a. Ventajas de la ceniza volante en el concreto

• Requerimientos de agua

La relación agua/cemento es el factor que controla la resistencia, debido a que el volumen relativo del espacio originalmente ocupado por el agua determina el volumen total de la materia sólida en el concreto endurecido. En términos muy generales, mientras más alto sea el volumen del material sólido, mayor será la resistencia a la compresión. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

• Mejoras de la trabajabilidad

Varios plastificantes han sido ensayados para darle esta textura a la mezcla entre los cuales están los Incluidores de aire que introducen pequeñas partículas de aire en la mezcla fresca. La "Ceniza Volante" también les da esta textura a las mezclas debido a que la ausencia de partículas finas en los agregados se salva con la adición de este elemento, el que por su extrema figura y su forma tienden a servir como lubricante entre los agregados. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

- **Segregación y sangrado**

Los concretos en los que se emplea ceniza volante o humo de sílice por lo general muestran menos segregación y sangrado que los concretos simples. Este efecto hace a la ceniza volante particularmente valiosa en los concretos fabricados con agregados que presentan deficiencias en su contenido de finos. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

- **Calor de hidratación**

El uso de cenizas volantes y de escorias molidas reducen la cantidad de calor que se forma en una estructura de concreto debido a su menor calor de hidratación o que reaccionan químicamente un poco más tarde que aquél. Algunas puzolanas tienen un calor de hidratación del orden del 40% del presentado por el cemento. En consecuencia, desarrollan más lentamente el calor de hidratación; esto significa que la elevación muy temprana de la temperatura del concreto es un poco menor. Inclusive una pequeña reducción en la temperatura máxima es importante, ya que, con los contenidos de cemento verdaderamente empleados en el concreto de alto desempeño, la elevación de la temperatura en el centro de una sección masiva puede ser de 50 °C o inclusive mayor. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

- **Resiste la corrosión**

Tiene la capacidad de resistir la corrosión y el ataque de las aguas subterráneas con sulfato encontradas a menudo al perforar en busca de petróleo y de gas. (Beaudoin, Zhang, & Malhotra, 1998)

- **Exudación y fraguado**

El uso de cenizas volantes, puzolanas naturales y escorias granuladas de alto horno molidas generalmente provoca retardos en el tiempo de fraguado del concreto. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

- **Resistencia**

La ceniza volante, la escoria granulada de alto horno molida, el humo de sílice y otros aditivos minerales finamente divididos, contribuyen a la adquisición de resistencia del concreto. Sin embargo, la velocidad en la adquisición de resistencia de un concreto que contenga estos aditivos, variará con frecuencia respecto de la de un concreto que emplee exclusivamente cemento Portland como material cementante. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

La resistencia a la tensión, a la flexión y a la torsión se ve afectada de igual manera que la resistencia a la compresión. Debido a la menor velocidad de hidratación cuando se emplean algunos de estos aditivos, la adquisición de resistencia a edades tempranas puede ser menor que la de un concreto comparable sin el aditivo, especialmente si las temperaturas de curado son bajas.

Debido a la lenta reacción puzolánica de algunos aditivos minerales, puede llegar a ser necesario un período de curado húmedo continuo con temperaturas de curado favorables mayor del que normalmente se requiere. El humo de sílice también contribuye a la adquisición de resistencia a edad temprana de los concretos con ceniza volante. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

- **Permeabilidad y absorción**

Uno de los atributos de las mezclas "ceniza volante - cemento" en diques, muros de contención, muros de fundación bajo el nivel freático y tanques, es que el agua no pasa a través de ellas. Obviamente si hay cal libre en la mezcla, como sucede en las mezclas ordinarias, el agua puede disolverla y sacarla a la superficie dejando el concreto permeable. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

Un curado adecuado produce que las cenizas volantes y las escorias de alto horno generalmente reducen la permeabilidad del concreto aun cuando el contenido de cemento sea relativamente bajo; a este respecto, el humo de sílice es especialmente efectivo. La permeabilidad del concreto disminuye conforme aumenta la cantidad de material cementante hidratado y disminuye la relación agua cemento. La absorción de un concreto con ceniza volante casi es la misma de un concreto sin ceniza, aunque algunas cenizas pueden reducir la absorción en un 20 % o más. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

- **Asentamiento, contenido de aire y dosificación de las mezclas**

En el concreto, los asentamientos se ajustan variando las dosificaciones de un aditivo súperplastificante. La dosificación de un súperplastificante puede variar, dependiendo considerablemente de las características del cemento y la ceniza volante usados. Este tipo de concreto también se ha usado con niveles muy bajos de súperplastificantes, e incluso sin asentamiento, para las aplicaciones de concretos compactados con rodillo.

Las inclusiones de escoria molida, ceniza volante, y humo de sílice en concretos sin aire incluido generalmente reducen la cantidad de aire atrapado. La ceniza volante y el humo de sílice normalmente muestran un mayor efecto en esta reducción que la escoria molida. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

- **Curado**

Es importante realizar un curado adecuado para el concreto con alto volumen de ceniza volante. Para asegurar el desarrollo satisfactorio de resistencia inicial, permeabilidad baja, y la resistencia a largo plazo a los medios agresivos, es esencial que el concreto se proteja del secado prematuro durante el curado por un período adecuado de tiempo. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

- **Resistencia a ciclos de congelamiento y deshielo**

El concreto con alto volumen de ceniza volante con inclusores de aire, muestra buena resistencia a los ciclos repetidos de congelamiento y descongelamiento. Incluso después de 1000 ciclos en la prueba ASTM C 666 (Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing), los factores de durabilidad son de más de 90; los concretos con cemento Portland convencional y con inclusores de aire se consideran aceptables si pueden resistir 300 ciclos en la prueba anterior. Como en el concreto convencional, la durabilidad a los ciclos de congelamiento y descongelamiento, en el concreto con alto volumen de ceniza volante depende de la calidad de sus factores de espaciamiento. Se hace énfasis en esto, ya que ninguna dificultad se encontró obteniendo los factores de espaciamiento adecuados en el concreto con alto volumen de ceniza volante. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

- **Menores hinchamientos y contracciones**

Uno de los fenómenos que ocurre a veces y que es muy dañino para las mezclas de concreto es una hinchazón de está producida por la reacción cemento agregado La ceniza volante es muy efectiva en la reducción de estas hinchazones, pero aún se recomienda hacer ensayos de laboratorio de las normas especificadas por La ASTM o cualquiera otras para el control de la reacción "agregado-cemento". Esto es especialmente importante para carreteras pavimentadas con lozas de concreto, las que se quiebran rápidamente cuando se presenta este fenómeno.

Otra ventaja que ofrece la inclusión de Ceniza Volante en las mezclas es que las contracciones de estas se reducen al mínimo Lo cual es muy útil en la colocación de maquinaria. Una mezcla de Ceniza Volante y cemento es mejor que el cemento solamente. Durante la hidratación del cemento de Portland, la cal se emite, alista libremente para lixiviar lejos. (Gil Viancha & Plazas Vianda, 2007)

2.3 Definición De Términos Básicos

- **Dosificación:** implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el hormigón, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o adherencia correctos.
- **Proporcionamiento de aditivos:** Los aditivos son químicos que se agregan al concreto en la etapa de mezclado para modificar algunas de las propiedades de la mezcla, por lo general los aditivos se añaden en un porcentaje de reemplazo del cemento. La dosificación está ligada directamente al tipo de aditivo y dichos rangos están especificados en las hojas técnicas de cada uno de ellos.
- **Cenizas volantes:** Son los residuos sólidos que se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados. Se utilizan como adiciones para hormigón.
- **Concreto de alta resistencia:** Es un tipo de concreto de alto desempeño, que comúnmente tiene una resistencia a la compresión especiada de (400 Kg/cm²) o más.
- **Hormigón:** El hormigón es un material de construcción formado por una mezcla de cemento, arena, agua y grava o piedra machacada. Además, el hormigón puede llevar algún tipo de aditivo o adición para mejorar sus características dependiendo del uso que se le vaya a dar a la mezcla.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Toma de muestras

Considerando el procedimiento de la norma de la Norma Técnica Peruana NTP 400.010 (AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras), se realizó la extracción de los agregados de la cantera Chilete, la cual tuvo consideraciones del tamaño máximo nominal para el agregado grueso, el transporte de las muestras se lo hizo hasta el laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, lugar donde se realizó las características físicas-mecánicas de los agregados, los diseños de mezclas, la preparación, el curado y los ensayos a compresión de los especímenes de concreto.

3.2 Localización

La investigación fue realizada en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz”, en el edificio 1C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la Av. Atahualpa N°1050.



Figura 5. Fotografía satelital de la ubicación del estudio.

Fuente: imágenes Google Earth

Del mismo modo se localizó la cantera de donde se extrajeron los agregados. Esta cantera se encuentra ubicada en la localidad de Chilete, la que pertenece a la provincia de Contumazá en la Región Cajamarca. La cantera de donde se realizó la extracción de agregados, ha sido elegida tomando en cuenta las recomendaciones de trabajos de investigación realizados en la Universidad Nacional de Cajamarca, y cuyas características serán descritas en adelante.

3.3 Metodología

El diseño de la presente investigación fue experimental ya que se manipulo de manera intencional la variable (para nuestro caso el porcentaje de adición de ceniza volante en proporciones de 10%, 12% y 15% por peso de cemento) con el fin de describir de qué modo o qué causa se produce en las características físico –mecánicas de un concreto de alta resistencia de $f'c$ igual a 500 kg/cm².

3.4 Materiales y Equipos

3.4.1 Materiales

Los materiales que se utilizaron para llevar acabo la presente investigación fueron

- **Cemento:** el cemento utilizado es Cemento Pacasmayo Tipo I, según norma técnica ASTM C150 y que cuenta con peso específico 3.12 g/cm³ (Ficha Técnica Pacasmayo (2016))
- **Agregados:** los agregados tanto fino como grueso (arena y piedra de río respectivamente), fueron procedentes de la cantera "Chilete" y cuyas características se detalló en el capítulo IV.
- **Agua potable:** el agua empleado fue de la red pública de servicio de agua en Cajamarca que cumplió con la NTP339.088
- **Ceniza Volante:** FLY ASH TIPO F, aditivo mineral utilizado para el incremento de la impermeabilidad, resistencia química y mecánica y cohesividad del concreto y mortero.

3.4.2 Equipos

Los equipos utilizados son los establecidos por las Normas NTP y ASTM y que cuentan con su respectivo certificado de calibración y son los siguientes:

- Juego de tamices conformados por: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2" y 4".
- Estufa a temperatura constante de 110 ° C ± 5 °C.
- Balanza, con sensibilidad de 0.5 gr. y capacidad no menor de 5 Kg.
- Cesta de malla de alambre, con abertura no mayor de 3 mm.
- Depósito adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua.
- Termómetro con aproximación de 0.5 °C.
- Esferas de acero
- Barra compactadora de acero, circular, recta, de 1/2" de diámetro y 60 cm. de largo, con un extremo redondeado.
- Recipiente cilíndrico y de metal, suficientemente rígido para condiciones duras de trabajo.
- La Máquina de los Ángeles.
- Máquina Universal – Resistencia a Compresión.

3.5 Procedimiento

Para alcanzar a los objetivos planteados, se siguió el siguiente procedimiento o las siguientes actividades:

3.5.1 Cantera de estudio.

Se eligió la cantera “Chilete”, la cual es de origen fluvio – aluvial, en los márgenes del río Jequetepeque donde se extraen, procesan y comercializan agregados para la construcción básicamente agregado grueso (grava de río) y agregado fino (arena).

a. Ubicación.

Se encuentra ubicada al sur de la ciudad de Chilete, en el Km. 94+010 de la carretera Ciudad de Dios – Cajamarca, a 930 m.s.n.m. y ubicada en las siguientes coordenadas.

- Este: 742735 m E
- Norte: 9201021 m S
- Zona: 17M

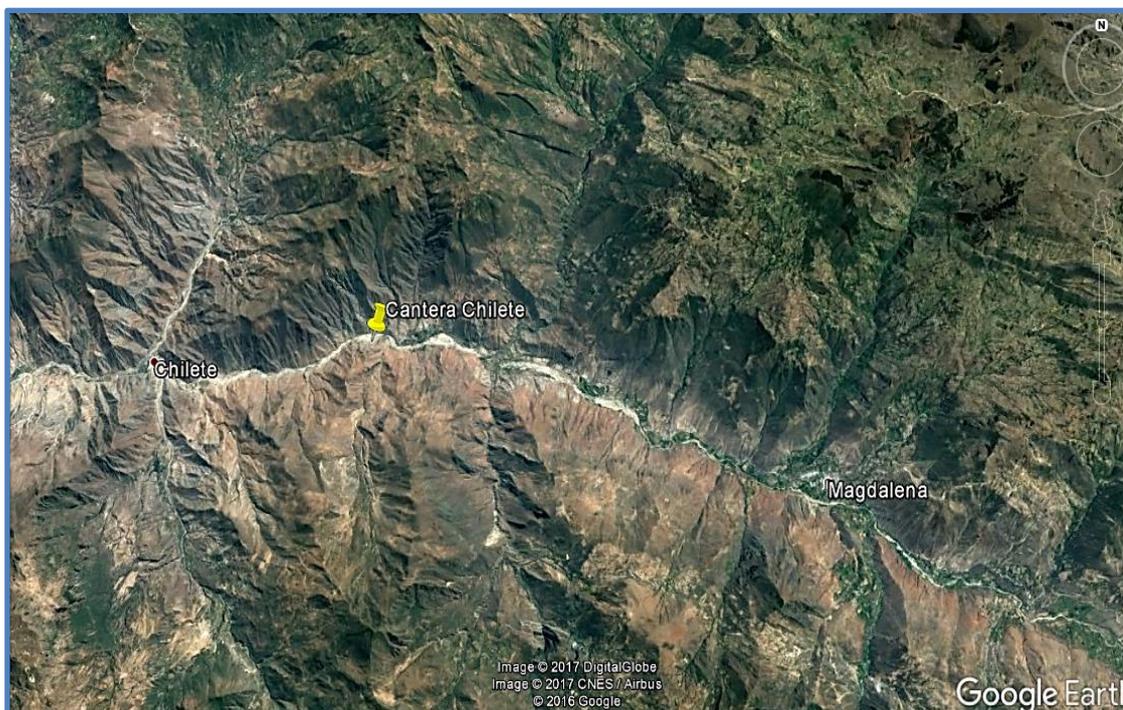


Figura 6. Fotografía satelital de la ubicación de la cantera Chilete.

Fuente: imágenes Google Earth

Los agregados que se encontró en la presente cantera son agregado fino y agregado grueso de perfil redondeado y angular (con tamaño máximo nominal de 1/2", 3/4" y 1")

3.5.2 Determinación de propiedades físico mecánicas de los agregados

Una vez obtenidos los agregados, éstos fueron transportados al Laboratorio de Ensayo de Materiales "Carlos Esparza Díaz" para los ensayos necesarios como se detalla:

a. Peso específico y absorción

Se realizó según los requerimientos de la norma NTP 400.022 y ASTM C 128 para el agregado fino.

b. Peso unitario.

Se realizó según lo indicado en la norma NTP 400.017, ASTM C-29/ C-29M.

c. Contenido de humedad.

Se realizó según lo solicitado por la norma NTP 339.185, ASTM C-535.

d. Análisis granulométrico.

Se realizó de acuerdo a lo requerido por las normas NTP 400.012, ASTM C-136, AASHTO T-27.

e. Material más fino que el tamiz N°200.

Se realizó según de acuerdo con la norma ASTM.C -556 / NTP 339.185

f. Resistencia a la abrasión.

Se realizó según las indicaciones de la norma (NTP 400.019)

3.5.3 Procedimiento de diseño de mezclas.

El diseño de mezcla realizado fue siguiendo el método del módulo de finura de la combinación de agregados y consistió en realizar 4 diseños de mezcla los cuales fueron: mezcla patrón, mezcla con dosificación de 10% de ceniza volante por peso de cemento, mezcla con dosificación de 12% de ceniza volante por peso de cemento y mezcla con dosificación de 15% de ceniza volante por peso de cemento

Las características estructurales del concreto a diseñar son las siguientes:

1° Resistencia a la compresión especificada:

$f'c = 500$ Kg/cm²

2° Resistencia a compresión promedio

Se calculó de acuerdo a la tabla 8: $f'cr = 1.2 \cdot f'c$; por lo que: $f'cr = 1.2 \cdot 500 = 600$ Kg/cm².

Tabla 8. $f'cr$ en función del grado de control de calidad en la obra.

Nivel de control	$f'cr$
Excelente	$1.1 \cdot f'c$
Buena	$1.2 \cdot f'c$
Regular o mala	1.3 a $1.5 \cdot f'c$

Fuente. AM. Neville y J.J. Brooks. Tecnología del concreto.

Además, cabe recalcar que el cemento a utilizar es cemento Portland Pacasmayo Tipo I según norma ASTM C-150, cuyo peso específico es 3.12 gr/cm³ y la ceniza volante FLY ASH TIPO F es un aditivo, cuyo peso específico es 2.2 gr/cm³.

El diseño de mezclas patrón se realizó siguiendo los pasos del método de módulo de finura de la combinación de agregados

3° Selección de tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado será de 3/4", correspondiente al huso granulométrico n° 67 de la norma técnica ASTM C-33 (Standard Specification for Concrete Aggregates)

4° Selección del asentamiento

El asentamiento a considerar será el correspondiente a una mezcla plástica de acuerdo a la tabla 9: 3" – 4".

Tabla 9. Consistencia del concreto fresco

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" a 2"
Plástica	3" a 4"
Húmeda	$\geq 5"$

Fuente. AM. Neville y J.J. Brooks. Tecnología del concreto.

5° Selección de la relación agua material cementante

La relación agua material cementante, teniendo en cuenta el tipo de mezcla a realizar será de 0.38.

Tabla 10. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión requerida

Resistencia a la compresión a los 28 DIAS (kg/cm ²) $f'cr$	Relación agua cemento en peso	
	Cemento sin aire incorporado	Cemento con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	--
450	0.38	--

Fuente: Rivva (2007).

6° Selección del contenido de aire

El contenido de aire considerado es el porcentaje de aire atrapado que proporciona el tamaño máximo nominal el agregado grueso, el que corresponde a 2.0% según la tabla 11.

Tabla 11. Determinación del aire atrapado según el tamaño máximo nominal.

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%

Fuente: Rivva (2007).

7° Selección del contenido de agua

El volumen de agua se considera teniendo en cuenta las características del concreto a elaborar, será de:

Volumen de agua: 210 litros.

8° Cálculo del contenido de cemento

El contenido de cemento se encuentra según la siguiente fórmula:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Agua}}{\text{relación agua material cementante}} = \frac{210}{0.38} = 552.63 \text{ Kg.}$$

9° Cálculo del volumen absoluto de pasta

Tenemos los componentes de la pasta:

Cemento	: 552.63 Kg.
Agua	: 210 litros.
Aire	: 2.0%

Para el volumen absoluto los pesos de los componentes de la pasta, se divide entre sus pesos respectivos pesos específicos y se obtiene lo siguiente:

Cemento	: 0.177126 m ³ .
Agua	: 0.210 m ³ .
Aire	: 0.02 m ³ .

Volumen de pasta = 0.407126 m³.

10° Cálculo del volumen absoluto de los agregados

Volumen de agregados = 1 – volumen de pasta

Volumen de agregados = 0.592874 m³.

11° Determinación de los pesos de los agregados

Para la determinación de los pesos de los agregados determinamos los porcentajes respectivos, los mismos que son calculados a partir de la tabla 12, para el método del módulo de finura de la combinación de agregados y estos son, teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso y la cantidad de cemento a utilizar, para nuestro caso se extrapolara:

Agregado fino: 31.775%

Agregado grueso: 68.225%

Tabla 12. Módulo de finura de la combinación de agregados

Tamaño máximo Nominal del agregado grueso	Módulo de finura de la combinación de los agregados (mc) para los contenidos de cemento en bls/m ³ indicados			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.89
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.38

Fuente: Rivva (2007).

Con los cuales se determinó los volúmenes absolutos de los agregados, los que, al multiplicar por sus respectivos pesos específicos de masa, se obtiene el peso del agregado:

Volumen absoluto del agregado fino: 0.188385m³.

Volumen absoluto del agregado grueso: 0.404488 m³.

Peso del agregado fino: 492.81Kg.

Peso del agregado grueso: 1065.43 Kg.

13° Materiales de diseño por metro cúbico

CEMENTO	552.63	Kg
AGUA DE DISEÑO	210	Lt
AGREGADO FINO SECO	493	Kg
AGREGADO GRUESO SECO	1065	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%

14° Materiales corregidos por metro cúbico

CEMENTO	552.63	Kg
AGUA EFECTIVA	185	Lt
AGREGADO FINO HÚMEDO	521	Kg
AGREGADO GRUESO HÚMEDO	1081	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%

- a) Mezcla con dosificación de 10%:** Este tipo de mezcla, corresponde a aquella que presenta una adición de 10% de ceniza volante por peso de cemento utilizado. El diseño de mezclas se presenta en el anexo 2
- b) Mezcla con dosificación de 12%:** Este tipo de mezcla, corresponde a aquella que presenta una adición de 12% de ceniza volante por peso de cemento utilizado. El diseño de mezclas se presenta en el anexo 2
- c) Mezcla con dosificación de 15%:** Este tipo de mezcla, corresponde a aquella que presenta una adición de 15% de ceniza volante por peso de cemento utilizado. El diseño de mezclas se presenta en el anexo 2

La distribución de los especímenes de concreto para su respectivo análisis y ensayo a la compresión, se realizó como se muestra en la tabla 13:

Tabla 13. Cantidad de especímenes realizados en la investigación.

Cantidad de especímenes para ensayos de resistencia a la compresión				
Tiempo de rotura	7 días	14 días	28 días	total
Mezcla Patrón (dosificación de 0%)	10	10	10	120
Mezcla con dosificación de 10%:	10	10	10	
Mezcla con dosificación de 12%:	10	10	10	
Mezcla con dosificación de 15%:	10	10	10	

3.5.4 El cemento utilizado.

El cemento Tipo I es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. El cemento portland Tipo I se fabrica mediante la molienda conjunta de clínker Tipo I y yeso, que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.

• **Propiedades**

- Mayores resistencias iniciales
- Menores tiempos de fraguado

• **Aplicaciones**

- Obras de concreto y concreto armado en general
- Estructuras que requieran un rápido desencofrado
- Concreto en clima frío
- Productos prefabricados
- Pavimentos y cimentaciones

En el ANEXO 09 se presenta la ficha técnica del cemento portland Tipo I de Cementos Pacasmayo S.A.A.

3.5.5 Agua.

El agua empleada en la elaboración y curado de los especímenes cilíndricos de concreto, fue agua del campus de la universidad nacional de Cajamarca, esta agua es extraída de pozos subterráneos que cumple con los límites máximos y mínimos permisibles para el consumo humano; de tal manera que cumple con los requisitos de calidad para la elaboración y curado del concreto indicado en la norma NTP 339.088.

3.5.6 Peso Unitario del concreto en estado fresco

Este ensayo se realizó mediante lo establecido por la NTP 339.046 en concordancia a la ASTM C 138.

$$\text{Peso Unitario} = (W_c - W_m) / V_m \dots\dots\dots 1$$

En donde:

W_c = Peso del recipiente de medida lleno de hormigón, kg

W_m = Peso del recipiente vacío, kg

V_m = Volumen del recipiente, m³

3.5.7 Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto

Los ensayos a compresión fueron realizados en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, bajo la Norma Técnica ASTM C – 39 (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens), con lo que se pudo determinar la resistencia a compresión alcanzada para cada uno de los tipos de mezcla elaborados. Para la ejecución de este ensayo, se prepararon los especímenes de concreto con los diseños de mezcla elaborados y a la vez fueron curados de acuerdo con lo que estipula la Norma Técnica ASTM C – 31 (Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field).

Las edades de los especímenes que fueron sometido a ensayos de compresión uniaxial, fueron de 7, 14 y 28 (Ver anexo 3 resultado de ensayos a compresión) días para cada uno de los tipos de mezcla elaborados. De los resultados obtenidos se hará una evaluación estadística en donde se determinará la resistencia a la compresión promedio y la desviación estándar, lo que permitirá el cálculo del coeficiente de variación con el que se comparará con lo establecido en el código ACI Committee 214 (tabla 14).

Tabla 14. Estándar de control de hormigón.

Clase de operaciones	Coeficiente de variación (Cv) para los diferentes estándares de control.			
	Excelente	Bueno	Medio	Pobre
Variación total:				
(I) Construcción en general	Inferior a 10,0	10,0 a 15,0	15,0 a 20,0	Sobre 20,0
(II) Control de laboratorio	Inferior a 5,0	5,0 a 7,0	7,0 a 10,0	Sobre 10,0
Variaciones dentro de una misma mezcla:				
(I) Control en obra	Inferior a 4,0	4,0 a 5,0	5,0 a 6,0	Sobre 6,0
(II) Control de laboratorio	Inferior a 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	Sobre 5,0

Fuente: ACI Committee 214

Nota: Estos estándares representan los promedios para cilindros de 28 días calculados a partir de un gran número de ensayos; cabe esperar diferentes valores para otros que sean distintos de los promedios

Adicionalmente a este ensayo se realizó la lectura de cargas y deformaciones totales para posteriormente realizar los gráficos de esfuerzo vs deformación unitaria, cuyos resultados se presentan el anexo 7 diagrama de esfuerzo vs deformación unitaria.

3.5.8 Módulo de elasticidad del concreto.

Este análisis se realizó para los especímenes cilíndricos a edad de 28 días, se procedió con el ensayo a la compresión axial con forme lo estipula la NTP 339.034, anotando su respectiva deformación para cada instante de carga aplicada por la máquina de compresión axial y su cálculo se lo encontró de acuerdo a la siguiente formula

$$\text{Módulo de Elasticidad (kg/cm}^2\text{)} = 15000\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots 2$$

Dónde:

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto, Kg/cm²

3.5.9 Absorción en el concreto

A. Preparación de la muestra

Las muestras de ensayo fueron especímenes cilíndricos de concreto en estado saturado superficialmente seco (sss) de 6"x12". Muestra patrón y muestras con adición de 10%, 12% y 15% de ceniza volante

B. procedimiento de ensayo

La prueba de absorción de llevo a cabo sumergiendo los especímenes de concreto durante 48 horas, luego se las saco hasta el estado saturado superficialmente seco seguidamente se registró su peso y se lo ingreso a la estufa a una temperatura de 105°C. Finalmente se registró su peso

C. Fórmula para el cálculo de la absorción

$$\text{Abs} = \frac{(W_{sss} - W_o)}{W_o} \times 100 \quad \dots\dots\dots 3$$

Dónde:

Abs = Absorción del espécimen del concreto en %

W_{sss} = Peso de la muestra en estado sss

W_o = Peso seco de la muestra

3.5.10 Porosidad en el concreto**A. Preparación de la muestra**

Las muestras de ensayo fueron especímenes cilíndricos de concreto en estado saturado superficialmente seco (sss) de 6"x12". Muestra patrón y muestras con adición de 10%, 12% y 15% de ceniza volante

B. procedimiento del ensayo

Se registró el peso de las muestras de ensayo en estado saturado superficialmente seco (sss) y se calculó su volumen aparente. Luego, se las ingreso a la estufa por un periodo de 24 horas y finalmente se registró el peso seco de las muestras de especímenes cilíndricos de 6"x12"

C. Fórmula para el cálculo de la porosidad

$$\text{Pr} = \frac{(W_{sss} - W_o)}{\gamma * V} \times 100 \quad \dots\dots\dots 4$$

Dónde:

Pr = porosidad del concreto en %

V = Volumen aparente de la muestra de ensayo en m³

γ = peso específico del agua

W_{sss} = Peso de la muestra en estado sss

W_o = Peso seco de la muestra

3.5.11 Resistencia a la tracción en especímenes cilíndricos de concreto.

Este ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.084 acorde a la ASTM C 496.

A. Preparación de la muestra

- Los ensayos a tracción de probetas fueron realizados minutos después de ser retirados de la poza de curado.
- Todos los cilindros de ensayo para una determinada edad de ensayo fueron fracturados dentro el tiempo permisible de tolerancias prescritas en la NTP 339.034.

B. Procedimiento del ensayo

- Dimensiones los especímenes: Se midió cuatro diámetros con el calibrador vernier en las dos por cada cara del espécimen, las mediciones fueron tomadas en forma perpendicular una de la otra, también se midió la altura del espécimen en dos de sus lados con ayuda de una regla metálica.
- Colocación de los especímenes en la máquina compresora: Se colocó el espécimen con de forma horizontal entre los émbolos de carga, alineando el espécimen con el centro del bloque de empuje inferior y el bloque movable superior
- Luego, se verificó que el indicador de carga se encuentre en cero, para poder empezar a aplicar la compresión.
- Aplicación de cargas: Durante el ensayo se ajustó la válvula de inyección de aceite suavemente con el objeto de mantener constante la velocidad de aplicación de la carga. Se aplicó la carga hasta que el espécimen falló y se registró la máxima carga soportada por el espécimen.

C. Fórmula para el cálculo de la tracción en el concreto

$$RT = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots 5$$

Dónde:

RT = resistencia a la tracción o tensión indirecta de un cilindro en Kg/cm²

P = Carga máxima en Kg

L = Longitud del cilindro en (cm)

D = Diámetro del cilindro en (cm)

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación de las propiedades físico - mecánicas de los agregados

En la tabla 15 se detallan las propiedades físico-mecánicas de los agregados de la cantera "Km. 94+10 de la carretera Ciudad de Dios – Cajamarca"

Tabla 15. *Propiedades físico – mecánicas de los agregados*

Propiedad Físico - Mecánica	Agregado Fino	Agregado Grueso
Perfil	--	Redondeado
Tamaño máximo nominal	--	3/4"
Peso específico de masa	2.616 g/cm ³	2.634 g/cm ³
Peso específico saturado superficialmente seco	2.649 g/cm ³	2.664 g/cm ³
Peso específico aparente	2.705 g/cm ³	2.716 g/cm ³
Peso unitario suelto	1655 g/cm ³	1642 g/cm ³
Peso unitario compactado	1768 g/cm ³	1771 g/cm ³
Contenido de humedad (%)	5.718	1.430
Vacíos (%)	--	32.86
Absorción (%)	1.253	1.146
Módulo de finura	2.990	6.720
Abrasión (%)	--	25.58
Porcentaje que pasa malla N° 200	3.75	0.37

Las propiedades físico-mecánicas del agregado fino son: Peso específico aparente = 2.705 gr/cm³; peso específico de masa = 2.616 gr/cm³; peso específico saturado superficie seca = 2.649 gr/cm³; Absorción = 1.253%; Peso unitario seco suelto = 1655 Kg/m³; Peso unitario seco compactado = 1768 Kg/m³; Módulo de finura obtenido del análisis granulométrico = 2.990 y Material más fino que el tamiz N° 200 = 3.75%

Las propiedades físico-mecánicas del agregado grueso son: Perfil = redondeado; tamaño máximo nominal: 3/4"; peso específico aparente = 2.716 gr/cm³; peso específico de masa = 2.634 gr/cm³, peso específico saturado superficie seca = 2.664 gr/cm³; absorción = 1.146%; peso unitario seco suelto = 1642 Kg/m³ ; peso unitario seco compactado = 1771 Kg/m³ ; módulo de finura, obtenido del análisis granulométrico = 6.72; material más fino que el tamiz N° 200 = 0.37% y desgaste a la abrasión = 25.58 %

4.2 Presentación y Discusión de Resultados del Peso Unitario del Concreto en estado Fresco

A continuación, se muestra un consolidado de los resultados obtenidos del peso unitario del concreto en estado fresco:

Tabla 16. *Peso unitario del concreto en estado fresco*

Ensayo	Concreto normal con dosificación del 0% de CV*	Concreto con dosificación del 10% de CV*	Concreto con dosificación del 12% de CV*	Concreto con dosificación del 15% de CV*
1	2298 Kg/m ³	2283 Kg/m ³	2364 Kg/m ³	2327 Kg/m ³
2	2254 Kg/m ³	2359 Kg/m ³	2336 Kg/m ³	2343 Kg/m ³
3	2309 Kg/m ³	2311 Kg/m ³	2335 Kg/m ³	2314 Kg/m ³
Promedio	2287 Kg/m³	2318 Kg/m³	2345 Kg/m³	2328 Kg/m³

CV*. Ceniza volante FLY ASH TIPO F

En la tabla 16 se puede observar los pesos unitarios del concreto obtenidos en su estado fresco. El peso unitario para un concreto normal con dosificación de 0% de ceniza volante es de 2287 kg/m³, para un concreto con dosificación del 10% de ceniza volante es de 2318 kg/m³, para un concreto con dosificación del 12% de ceniza volante es de 2345 kg/m³ y para un concreto con dosificación del 15% de ceniza volante es de 2328 kg/m³

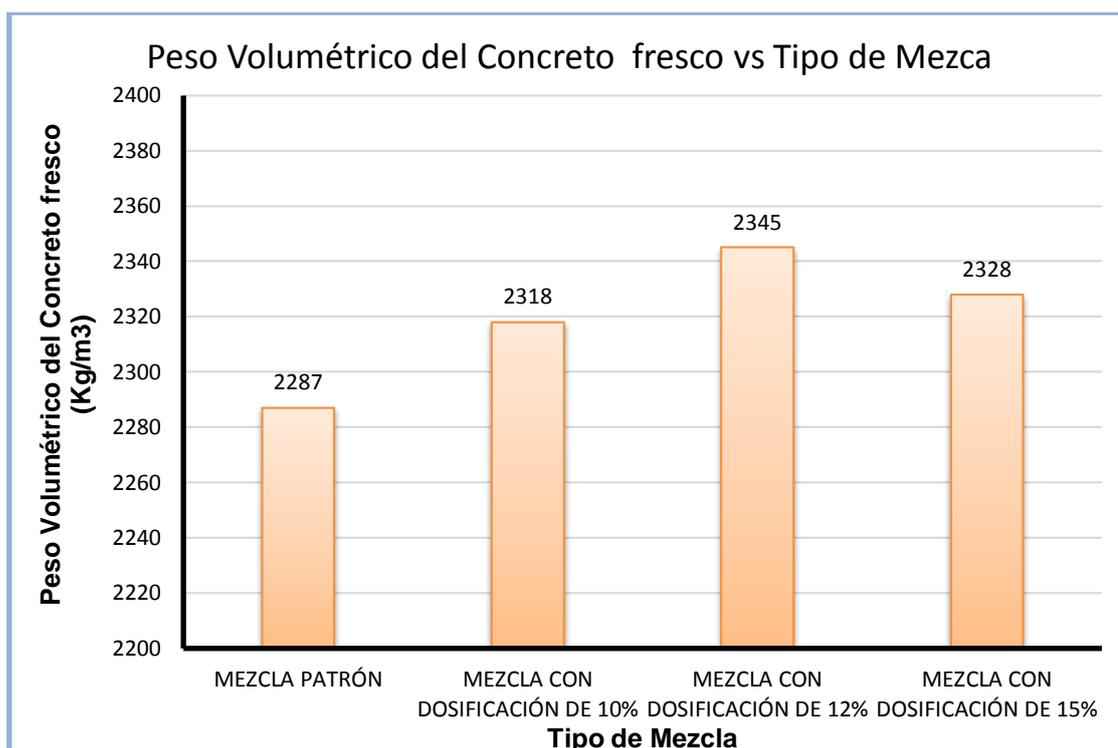


Figura 7. Cuadro de barras de Tipo de Mezcla Vs Peso Volumétrico del concreto fresco

En la figura 7 se muestra los resultados por cada tipo de mezcla del ensayo de peso volumétrico, del cual se puede observar que la mezclas que presentan mayor peso unitario, es aquella que presentan adición de ceniza volante. La razón es que al adicionar este aditivo, estas mezclas son más consistentes y se logra mejor adhesión entre cada partícula componente de la mezclas. Afirmando de esta manera que no existe variaciones considerables en peso unitario del concreto, además se puede clasificar al concreto obtenido en la presente investigación como un "concreto normal", encontrándose entre los valores de 2200 kg/m³ y 2400 kg/m³.

4.3 Presentación y Discusión de Resultados de los Ensayos a Compresión

4.3.1 Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto para la mezcla patrón con 0% de adición de ceniza volante

En la siguiente tabla se presenta la resistencia a compresión obtenida de cada uno de los especímenes elaborados con 0% de adición de ceniza volante

Tabla 17. Resistencia a la compresión obtenida a la edad de 7,14 y 28 días para la mezcla patrón

ENSAYO	Resultados a 7 días		Resultados a 14 días		Resultados a 28 días	
	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño
1	357.38	71.48%	435.36	87.07%	507.00	101.40%
2	351.32	70.26%	429.85	85.97%	520.78	104.16%
3	351.80	70.36%	424.34	84.87%	512.51	102.50%
4	352.70	70.54%	429.92	85.98%	523.54	104.71%
5	352.71	70.54%	432.37	86.47%	509.76	101.95%
6	353.63	70.73%	430.42	86.08%	513.89	102.78%
7	358.21	71.64%	438.47	87.69%	518.03	103.61%
8	353.63	70.73%	434.41	86.88%	502.87	100.57%
9	358.68	71.74%	427.10	85.42%	522.16	104.43%
10	352.26	70.45%	426.84	85.37%	523.54	104.71%
Promedio (kg/cm²)	354.23	70.85%	430.91	86.18%	515.41	103.08%
Desviación estándar (kg/cm²)	2.77	--	4.32	--	7.33	--
Coefficiente de variación (%)	3.68	--	1.00	--	1.42	--

Al analizar el coeficiente de variación de la tabla 17 de los ensayos a compresión axial realizados para una mezcla patrón se obtuvo un valor de 3.68%, este valor obtenido es para la edad de 28 días y está por debajo del 5%. Al comparar con los valores de control del concreto según la tabla 14 se afirma que el control total realizado en laboratorio fue excelente; por tal motivo los resultados obtenidos a compresión axial para la mezcla patrón son excelentes.

Con las medias aritméticas de los especímenes ensayados a edad de 7,14 y 28 días, cuyos resultados están en la tabla 17 se construye la siguiente gráfica para ilustrar la variación de la resistencia a la compresión de la mezcla patrón

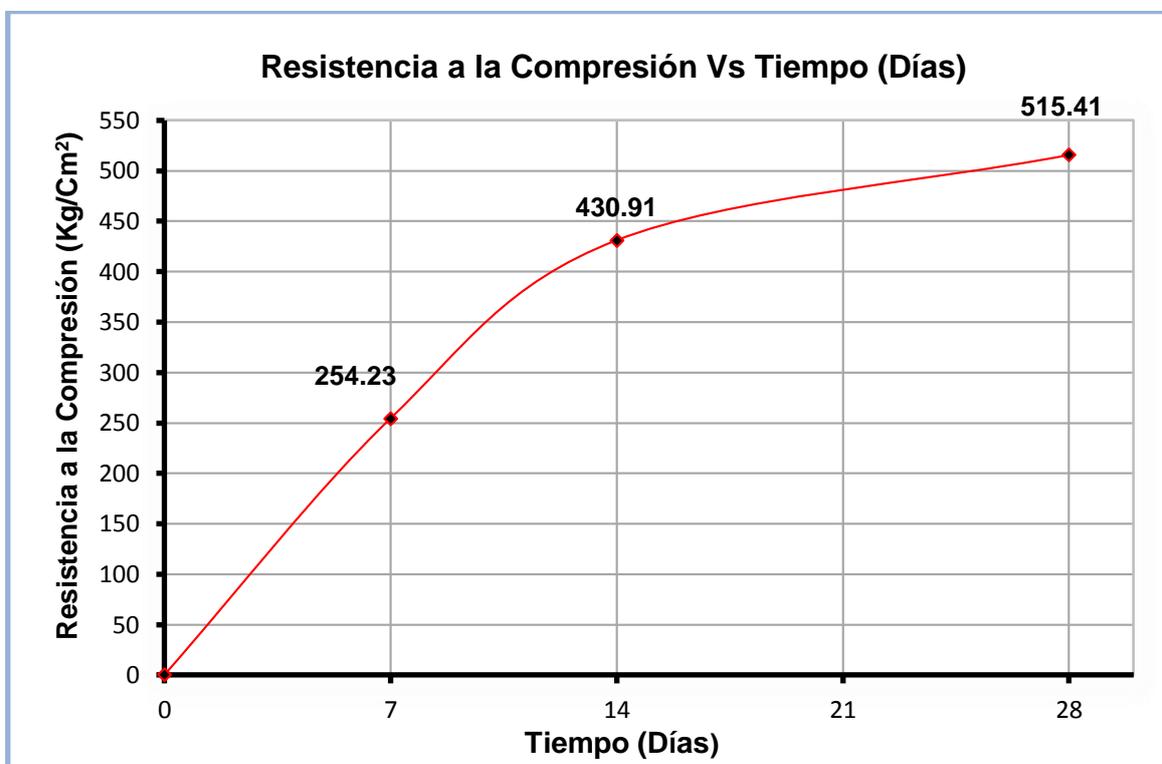


Figura 8. Variación de la resistencia con el tiempo de la mezcla patrón.

Según la gráfica de la figura 8 se analizó que el concreto para un mezcla patrón con adición del 0% de ceniza volante en peso del cemento, alcanzó una resistencia a la compresión axial edad de 7, 14 y 28 días de 254.23 Kg/cm², 430.91 Kg/cm² y 515.41Kg/cm².

De la tabla 17 a la edad de 7 días para un mezcla patrón se obtuvo un valor de 70.85% de la resistencia de diseño especificada dicho porcentaje es superior al 70% de la resistencia de diseño especificada como menciona la norma E.60 inciso 5.8.1. A la edad de 28 se obtuvo un valor de 103.08%, dicho porcentaje es superior al 100% de la resistencia de diseño especificada como menciona la norma E.60.

4.3.2 Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto para la mezcla con 10% de adición de ceniza volante

En la siguiente tabla se presenta la resistencia a compresión obtenida de cada uno de los especímenes elaborados con 10% de adición de ceniza volante

Tabla 18. Resistencia a la compresión obtenida a la edad de 7,14 y 28 días para la mezcla con dosificación de 10% de ceniza volante

ENSAYO	Resultados a 7 días		Resultados a 14 días		Resultados a 28 días	
	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño
1	355.03	71.01%	446.73	89.35%	551.09	110.22%
2	362.97	72.59%	454.88	90.98%	556.60	111.32%
3	356.42	71.28%	446.38	89.28%	562.11	112.42%
4	353.18	70.64%	457.41	91.48%	553.85	110.77%
5	354.56	70.91%	462.92	92.58%	563.43	112.69%
6	355.45	71.09%	460.16	92.03%	567.62	113.52%
7	357.74	71.55%	465.98	93.20%	555.22	111.04%
8	363.72	72.74%	461.82	92.36%	556.60	111.32%
9	365.10	73.02%	446.38	89.28%	563.59	112.72%
10	366.48	73.30%	452.11	90.42%	552.54	110.51%
Promedio (kg/cm²)	359.06	71.81%	455.48	91.10%	558.27	111.65%
Desviación estándar (kg/cm²)	4.96	--	7.34	--	5.54	--
Coefficiente de variación (%)	1.38	--	1.61	--	0.99	--

De la tabla 18 a la edad de 7 días para un mezcla con adición del 10% de ceniza volante en peso del cemento se obtuvo un valor de 71.81% de la resistencia de diseño especificada dicho porcentaje es superior al 70% de la resistencia de diseño especificada como menciona la norma E.60 inciso 5.8.1. A la edad de 28 se obtuvo un valor de 111.65%, dicho porcentaje es superior al 100% de la resistencia de diseño especificada como menciona la norma E.60.

Con las medias aritméticas de los especímenes ensayados a edad de 7,14 y 28 días, cuyos resultados están en la tabla 18 se construye la siguiente gráfica para ilustrar la variación de la resistencia a la compresión de la mezcla con adición del 10% de ceniza volante en peso del cemento

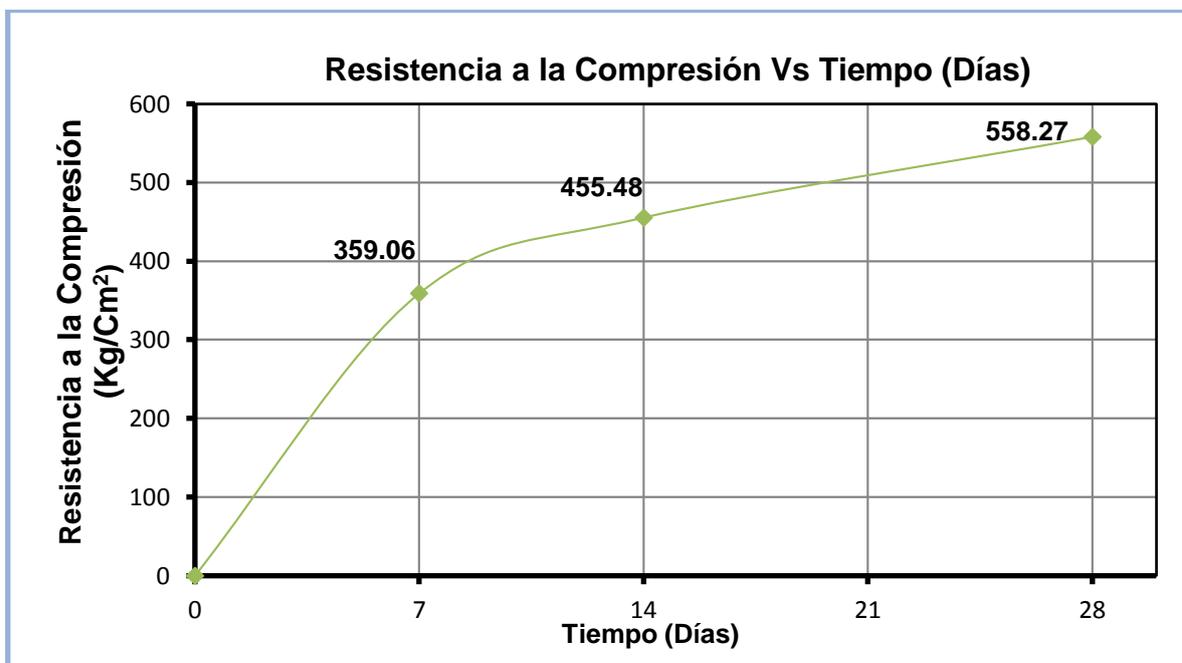


Figura 9. Variación de la resistencia con el tiempo de la mezcla con dosificación del 10%.

Según la gráfica de la figura 9 se analizó que el concreto con adición del 10% de ceniza volante en peso del cemento, alcanzó una resistencia a la compresión axial edad de 7, 14 y 28 días de 359.06 Kg/cm², 455.48 Kg/cm² y 558.27 Kg/cm².

Al analizar el coeficiente de variación de la tabla 18 de los ensayos a compresión axial realizados para una mezcla con adición del 10% de ceniza volante en peso del cemento se obtuvo un valor de 0.99%, este valor obtenido es para la edad de 28 días y está por debajo del 5%. Al comparar con los valores de control del concreto según la tabla 14 se afirma que el control total realizado en laboratorio fue excelente; por tal motivo los resultados obtenidos a compresión axial para la mezcla con adición del 10% de ceniza volante en peso del cemento son excelentes

4.3.3 Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto para la mezcla con 12% de adición de ceniza volante

En la siguiente tabla se presenta la resistencia a compresión obtenida de cada uno de los especímenes elaborados con 12% de adición de ceniza volante:

Tabla 19. Resistencia a la compresión obtenida a la edad de 7,14 y 28 días para la mezcla con dosificación de 12% de ceniza volante

ENSAYO	Resultados a 7 días		Resultados a 14 días		Resultados a 28 días	
	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño
1	385.76	77.15%	484.96	96.99%	610.10	122.02%
2	391.27	78.25%	490.47	98.09%	606.20	121.24%
3	374.74	74.95%	482.62	96.52%	600.69	120.14%
4	388.31	77.66%	480.24	96.05%	613.42	122.68%
5	392.31	78.46%	486.24	97.25%	607.58	121.52%
6	387.14	77.43%	482.62	96.52%	616.41	123.28%
7	388.52	77.70%	479.96	95.99%	617.22	123.44%
8	380.25	76.05%	486.24	97.25%	606.20	121.24%
9	378.87	75.77%	487.90	97.58%	603.07	120.61%
10	388.10	77.62%	473.40	94.68%	603.27	120.65%
Promedio (kg/cm²)	385.53	77.11%	483.46	96.69%	608.42	121.68%
Desviación estándar (kg/cm²)	5.71	--	4.85	--	5.72	--
Coefficiente de variación (%)	1.48	--	1.00	--	0.94	--

De la tabla 19 a la edad de 7 días para un mezcla con adición del 12% de ceniza volante en peso del cemento se obtuvo un valor de 77.11% de la resistencia de diseño especificada dicho porcentaje es superior al 70% de la resistencia de diseño especificada como menciona la norma E.60 inciso 5.8.1. A la edad de 28 se obtuvo un valor de 121.68%, dicho porcentaje es superior al 100% de la resistencia de diseño especificada como menciona la norma E.60.

Con las medias aritméticas de los especímenes ensayados a edad de 7,14 y 28 días, cuyos resultados están en la tabla 19 se construye la siguiente gráfica para ilustrar la variación de la resistencia a la compresión de la mezcla con adición del 12% de ceniza volante en peso del cemento

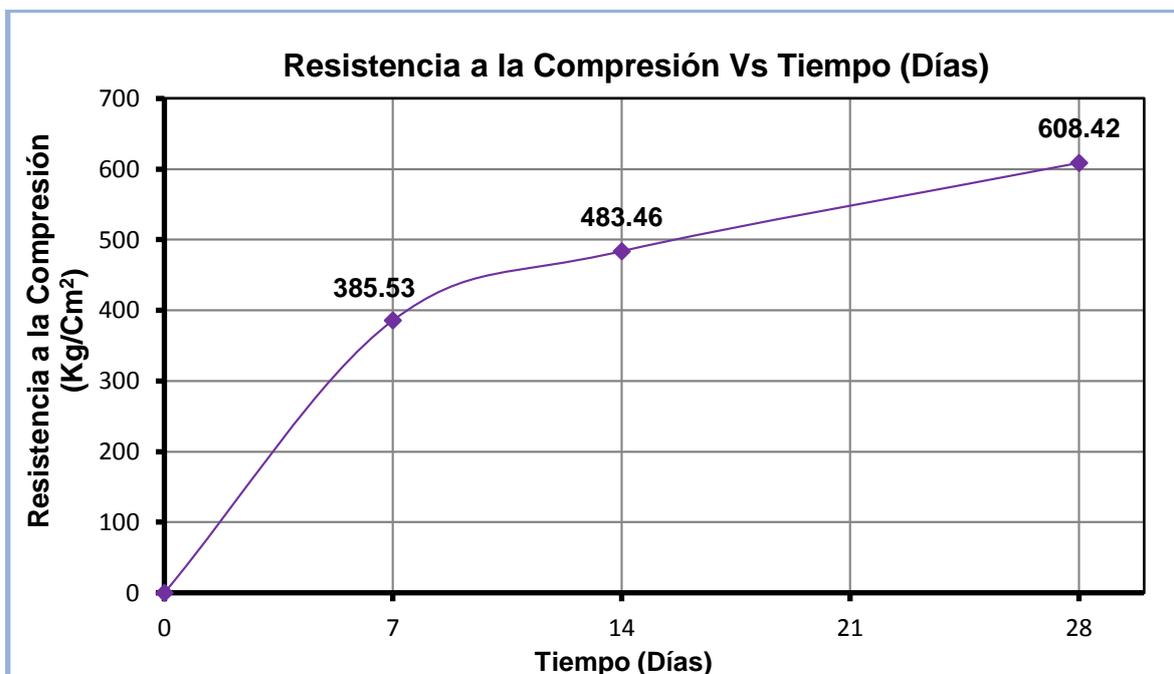


Figura 10. Variación de la resistencia con el tiempo de la mezcla con dosificación del 12%.

Según la gráfica de la figura 10 se analizó que el concreto con adición del 12% de ceniza volante en peso del cemento, alcanzó una resistencia a la compresión axial edad de 7, 14 y 28 días de 385.53 Kg/cm², 483.46 Kg/cm² y 608.42 Kg/cm².

Al analizar el coeficiente de variación de la tabla 19 de los ensayos a compresión axial realizados para una mezcla con adición del 12% de ceniza volante en peso del cemento se obtuvo un valor de 0.94%, este valor obtenido es para la edad de 28 días y está por debajo del 5%. Al comparar con los valores de control del concreto según la tabla 14 se afirma que el control total realizado en laboratorio fue excelente; por tal motivo los resultados obtenidos a compresión axial para la mezcla con adición del 12% de ceniza volante en peso del cemento son excelentes

4.3.4 Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto para la mezcla con 15% de adición de ceniza volante

En la siguiente tabla se presenta la resistencia a compresión obtenida de cada uno de los especímenes elaborados con 15% de adición de ceniza volante

Tabla 20. Resistencia a la compresión obtenida a la edad de 7,14 y 28 días para la mezcla con dosificación de 15% de ceniza volante

	Resultados a 7 días		Resultados a 14 días		Resultados a 28 días	
ENSAYO	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)	% Obtenido del f'c de Diseño
1	368.55	73.71%	467.81	93.56%	578.65	115.73%
2	379.25	75.85%	465.98	93.20%	574.65	114.93%
3	366.12	73.22%	472.69	94.54%	594.40	118.88%
4	369.23	73.85%	458.61	91.72%	584.16	116.83%
5	367.93	73.59%	465.67	93.13%	569.87	113.97%
6	372.57	74.51%	462.76	92.55%	582.78	116.56%
7	374.25	74.85%	468.43	93.69%	576.92	115.38%
8	368.82	73.76%	464.29	92.86%	587.24	117.45%
9	373.76	74.75%	471.18	94.24%	571.13	114.23%
10	377.50	75.50%	465.98	93.20%	584.16	116.83%
Promedio (kg/cm²)	371.80	74.36%	466.34	93.27%	580.39	116.08%
Desviación estándar (kg/cm²)	4.37	--	4.05	--	7.61	--
Coefficiente de variación (%)	1.17	--	0.87	--	1.31	--

De la tabla 20 a la edad de 7 días para un mezcla con adición del 15% de ceniza volante en peso del cemento se obtuvo un valor de 74.36% de la resistencia de diseño especificada dicho porcentaje es superior al 70% de la resistencia de diseño especificada como menciona la norma E.60 inciso 5.8.1. A la edad de 28 se obtuvo un valor de 116.08 %, dicho porcentaje es superior al 100% de la resistencia de diseño especificada como menciona la norma E.60.

Con las medias aritméticas de los especímenes ensayados a edad de 7,14 y 28 días, cuyos resultados están en la tablas 20 se construye la siguiente gráfica para ilustrar la variación de la resistencia a la compresión de la mezcla con adición del 15% de ceniza volante en peso del cemento

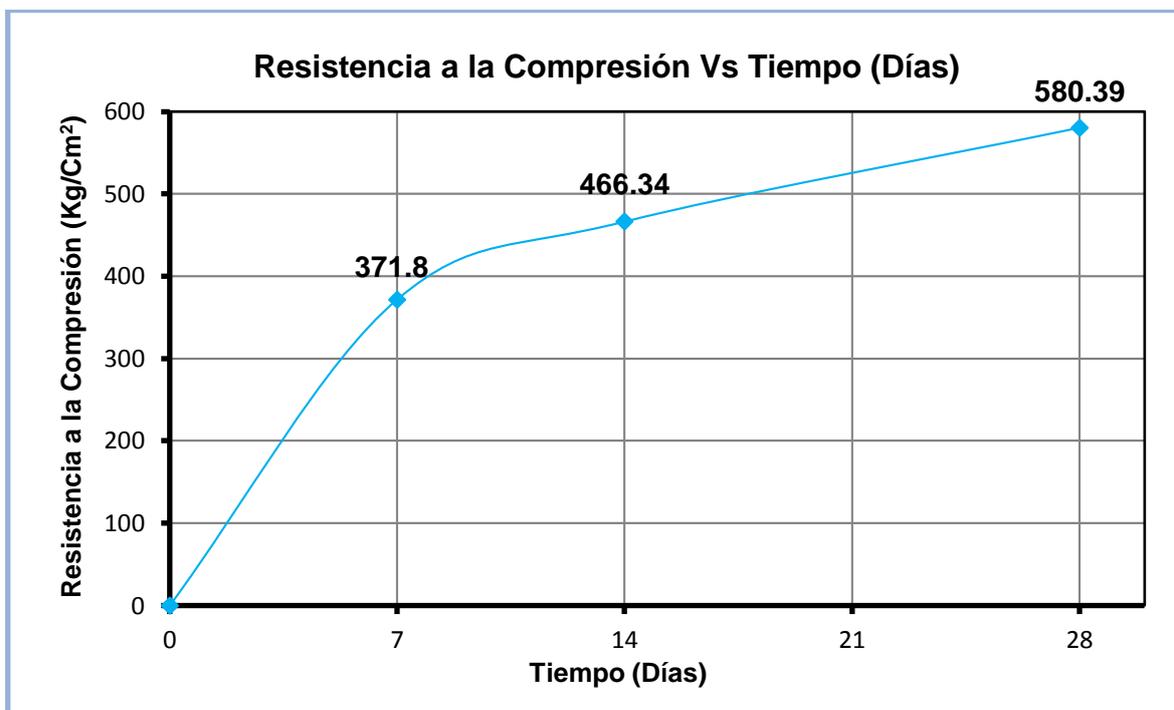


Figura 11. Variación de la resistencia con el tiempo de la mezcla con dosificación del 15%.

Según la gráfica de la figura 11 se analizó que el concreto con adición del 15% de ceniza volante en peso del cemento, alcanzó una resistencia a la compresión axial edad de 7, 14 y 28 días de 371.8 Kg/cm², 466.34 Kg/cm² y 580.39 Kg/cm².

Al analizar el coeficiente de variación de la tabla 20 de los ensayos a compresión axial realizados para una mezcla con adición del 15% de ceniza volante en peso del cemento se obtuvo un valor de 1.31%, este valor obtenido es para la edad de 28 días y está por debajo del 5%. Al comparar con los valores de control del concreto según la tabla 14 se afirma que el control total realizado en laboratorio fue excelente; por tal motivo los resultados obtenidos a compresión axial para la mezcla con adición del 15% de ceniza volante en peso del cemento son excelentes

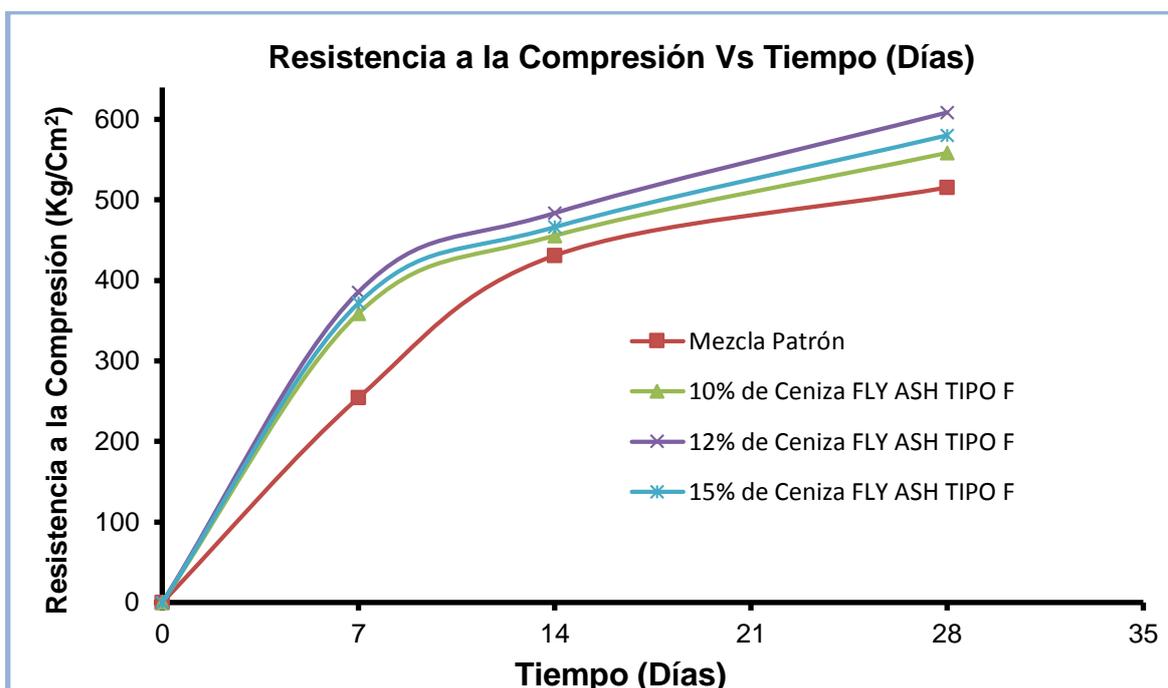


Figura 12. Resistencia a compresión obtenida de cada tipo de mezcla.

En gráfico de la figura 12 se presenta un resumen de los ensayos a compresión para las mezcla: Mezcla patrón, mezcla con 10% de ceniza FLY ASH TIPO F, mezcla con 12% de ceniza FLY ASH TIPO F y mezcla con 15% de ceniza FLY ASH TIPO F.

4.3.5 Resumen, comparación y determinación del porcentaje óptimo de ceniza volante en función a la resistencia de compresión obtenida

A. Resumen de resultados

La tabla 21 muestra el resumen de los resultados de los ensayos a compresión uniaxial realizado a los especímenes de concreto, según la norma ASTM C – 39 (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens), a edades de 7, 14 y 28 días; estos resultados corresponden para cada uno de los tipos de mezcla elaborados, a partir de la cual se puede analizar la influencia que presenta el adicionar ceniza volante a un concreto de alta resistencia ($f'_c = 500$ Kg/cm²) en proporciones de 10%,12% y 15% por peso de cemento.

Tabla 21. Cuadro resumen de resultados de los ensayos a compresión

Tipo de Mezcla	Edad	Resistencia Máxima Alcanzada (Kg/cm ²)	Porcentaje Obtenido (%)
Mezcla Patrón	7 días	354.23	70.85
	14 días	430.91	86.18
	28 días	515.41	103.08
Mezcla con Dosificación de 10%	7 días	359.06	71.81
	14 días	455.48	91.10
	28 días	558.27	111.65
Mezcla con Dosificación de 12%	7 días	385.53	77.11
	14 días	483.46	96.69
	28 días	608.42	121.68
Mezcla con Dosificación de 15%	7 días	371.80	74.36
	14 días	466.34	93.27
	28 días	580.39	116.08

El aumento en la resistencia a la compresión al adicionar ceniza volante es notorio a mayor edad de los especímenes de concreto, presentado una influencia directa sobre ellos, el aumento se presenta debido a la reacción química que existe entre el cemento y la ceniza volante, lo que permite que los poros capilares del concreto disminuyan haciendo que la mezcla sea más densa y por ende presente mejores resultados a la compresión.

B. comparación de resultados

Para comparar los resultados, primeramente, presentamos los gráficos de barras en donde se mostrará las resistencias alcanzadas por cada uno de los tipos de mezcla para las edades de 7, 14 y 28 días, y finalmente se hará un cuadro en donde mediante el cálculo de variación porcentual se determinará el porcentaje de aumento de resistencia a la compresión de las mezclas con dosificaciones de 10%, 12% y 15% de ceniza volante por peso de cemento, con respecto de la mezcla patrón.

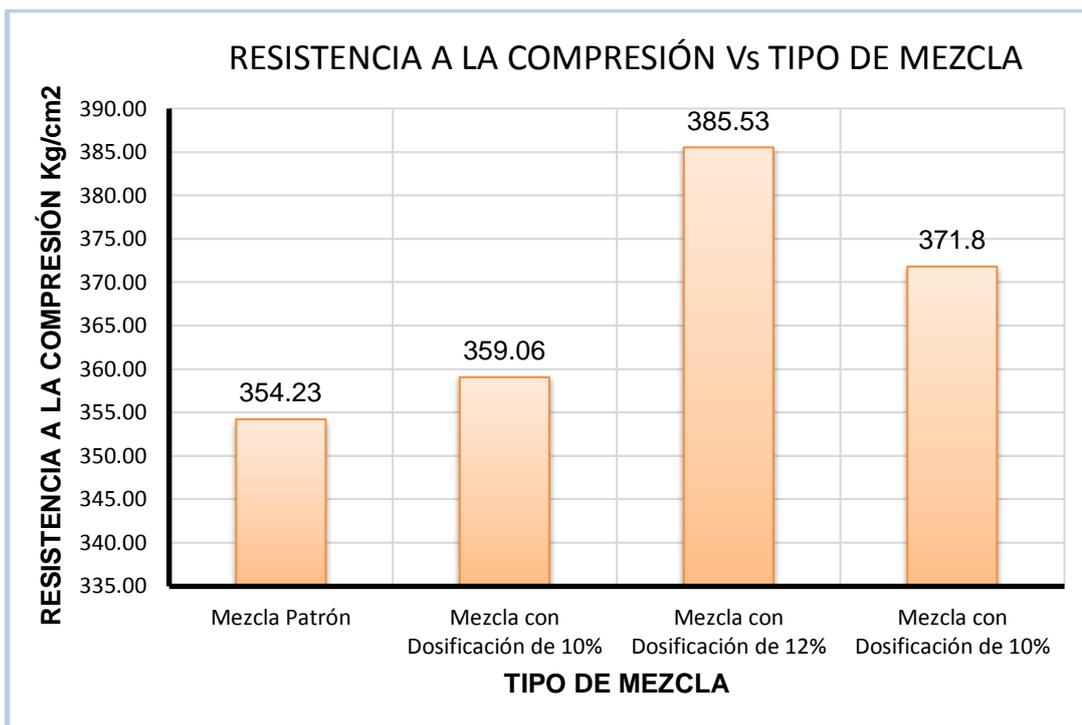


Figura 13. Resultados de los ensayos a compresión para edad de 7 días.

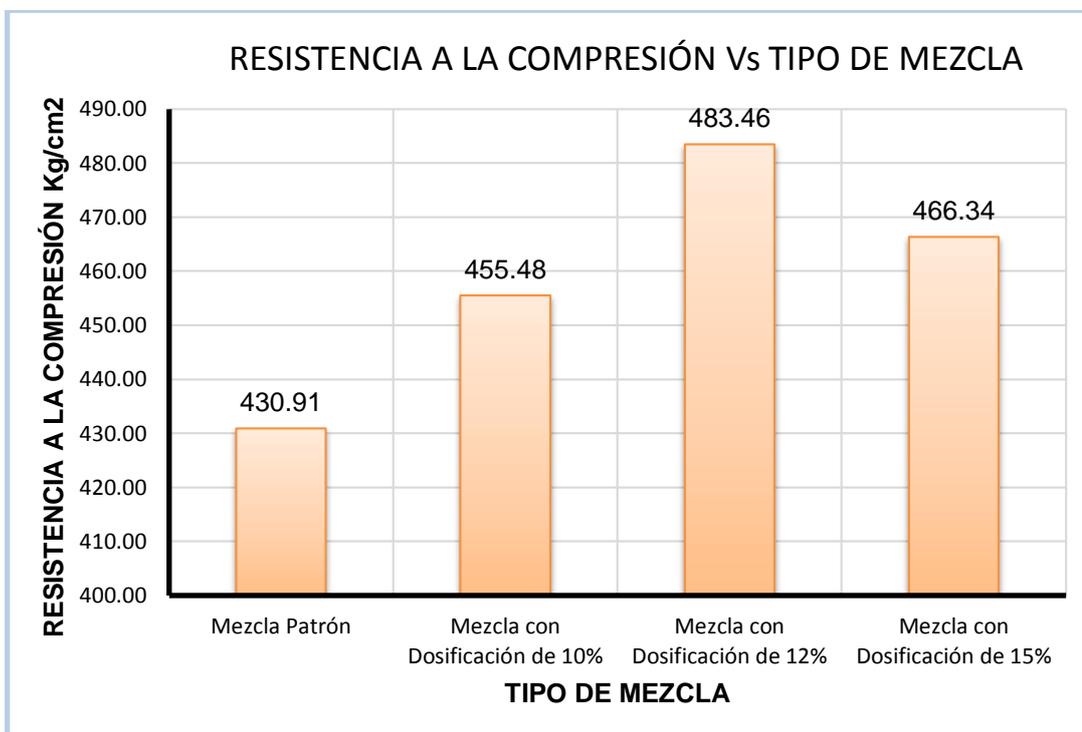


Figura 14. Resultados de los ensayos a compresión para edad de 14 días.

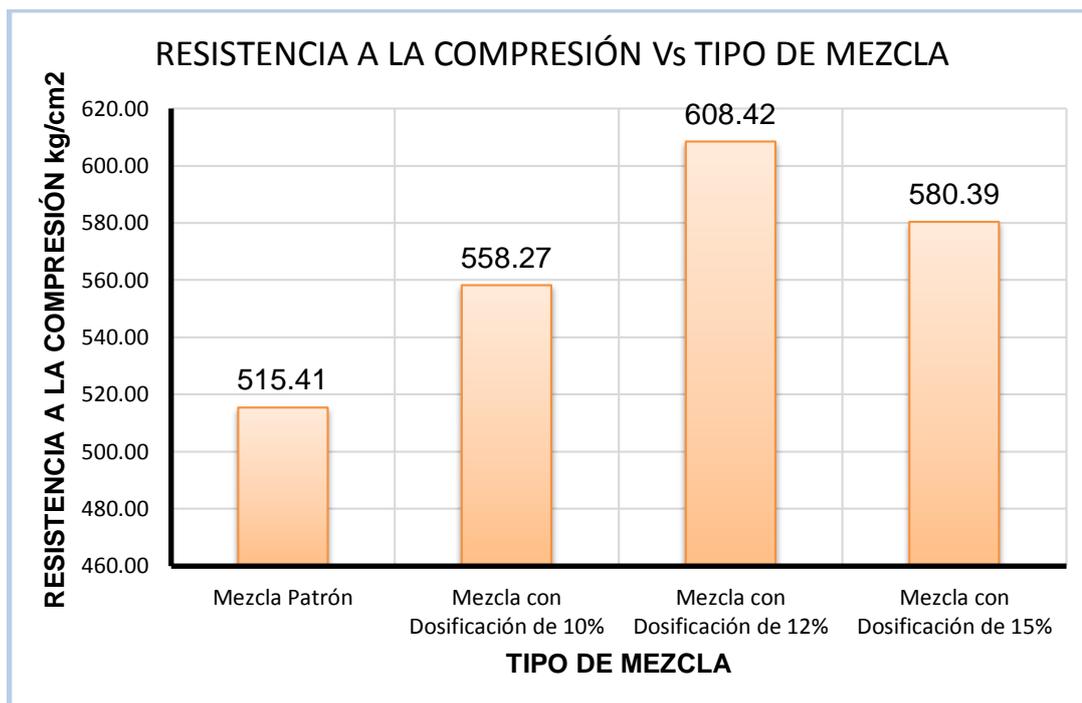


Figura 15. Resultados de los ensayos a compresión para edad de 28 días.

En los gráficos de las figuras 13, 14 y 15 se puede observar que la dosificación que alcanza mayor resistencia a la compresión es la de 12% de ceniza volante por peso de cemento, existiendo un valor máximo con el que se alcanzará la resistencia máxima en el concreto de $f'c = 500$ Kg/cm². Esta dosificación que será la dosificación óptima con la que se obtengan mejores resistencias para este tipo de concreto

Tabla 22. Cuadro de comparación de resultados de las resistencia a compresión VS. Dosificación de ceniza volante

Tipo de mezcla		Mezcla con dosificación de 10%	Mezcla con dosificación de 12%	Mezcla con dosificación de 15%
Aumento de la resistencia a la compresión comparada con la mezcla patrón.	7 días	1.35	8.34	4.95
	14 días	5.71	12.20	8.23
	28 días	8.31	18.04	12.61

En la tabla 22, se muestra la variación porcentual, que es el aumento que permite el adicionar ceniza volante a un concreto de alta resistencia ($f'c = 500$ Kg/cm²), con respecto de la mezcla patrón, que es aquella que no presenta ninguna adición de ceniza volante; a partir de esta tabla se puede observar que se logra un aumento de hasta 8.34% a edad de 7 días, 12.20% a edad de 14 días y 18.04% a edad de 28 días, concluyendo que mejora efectivamente la resistencia a la compresión del concreto con la adición de ceniza volante.

C. Determinación del porcentaje óptimo

Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos a compresión de las mezclas con dosificación de 10%, 12% y 15% de ceniza volante por peso de cemento. Los resultados a compresión a tomar en cuenta para este análisis son aquellos que se obtuvieron para edad de 28 días y fueron los siguientes:

Tabla 23. Resistencia a compresión a los 28 días VS. Dosificación de CV*

% DE DOSIFICACION	0%	10%	12%	15%
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DIAS (Kg/cm²)	515.41	558.27	608.42	580.39

A los 28 días según los datos anteriores se puede observar que la dosificación que alcanza la mayor resistencia a la compresión es la de 12% de ceniza volante por peso de cemento en el concreto de $f'c = 500$ Kg/cm². Esta dosificación es la dosificación óptima o más apropiada con la que se obtengan mejores resistencias para este tipo de concreto

4.4 Análisis de los resultados obtenidos del módulo de elasticidad

En la siguiente tabla se presenta el módulo de elasticidad calculado a partir del esfuerzo máximo del promedio alcanzado por los especímenes de concreto ensayos de compresión uniaxial a edad de 7, 14 y 28 días, para cada tipo de mezcla.

Tabla 24. Resistencia promedio y módulo de elasticidad de cada tipo de mezcla.

Tipo de Mezcla	Resistencia Máx. Promedio			Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)		
	7 Días	14 Días	28 Días	7 Días	14 Días	28 Días
Mezcla Patrón	354.23	430.91	515.41	282315	311376	340540
10% de Ceniza FLY ASH TIPO F	359.06	455.48	558.27	284233	320130	354416
12% de Ceniza FLY ASH TIPO F	385.53	483.46	608.42	294524	329816	369993
15% de Ceniza FLY ASH TIPO F	371.80	466.34	580.39	289232	323924	361369

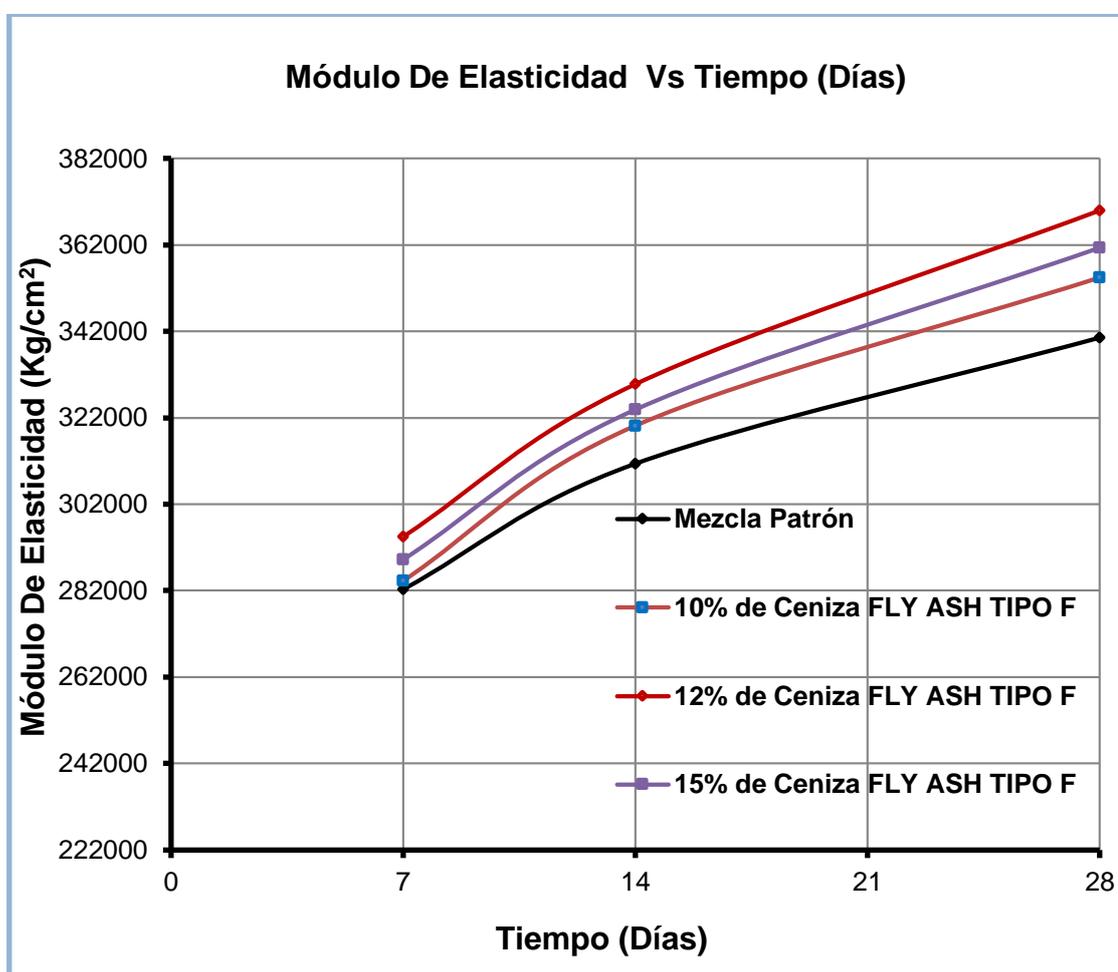


Figura 16. Módulo de elasticidad del concreto de cada tipo de mezcla a diferentes edades.

4.5 Análisis de los resultados obtenidos de la resistencia a tracción del concreto

A continuación, se muestra un consolidado de los resultados obtenidos de la resistencia a tracción

Tabla 25. Resistencia a tracción del concreto a edad de 7 días, con diferentes porcentajes de adición de CV*

Ensayo	Concreto normal con 0% de CV*	Concreto con 10% de CV*	Concreto con 12% de CV*	Concreto con 15% de CV*
1	34.75 Kg/cm ²	34.57 Kg/cm ²	37.48 Kg/cm ²	38.65 Kg/cm ²
2	33.90 Kg/cm ²	37.24 Kg/cm ²	37.11 Kg/cm ²	37.43 Kg/cm ²
3	34.49 Kg/cm ²	36.20 Kg/cm ²	40.34 Kg/cm ²	35.13 Kg/cm ²
4	33.56 Kg/cm ²	36.44 Kg/cm ²	41.47 Kg/cm ²	37.05 Kg/cm ²
Promedio	34.18 Kg/cm²	36.11 Kg/cm²	39.10 Kg/cm²	37.06 Kg/cm²

CV*. Ceniza volante FLY ASH TIPO F

En la tabla 25 se puede observar la resistencia a tracción del concreto obtenidos en su estado endurecido a la edad de 7 días. La resistencia a tracción para un concreto normal con dosificación de 0% de ceniza volante es de 34.18 kg/cm², para un concreto con dosificación del 10% de ceniza volante es de 36.11 kg/cm², para un concreto con dosificación del 12% de ceniza volante es de 39.10 kg/cm² y para un concreto con dosificación del 15% de ceniza volante es de 37.06 kg/cm²

En el gráfico de la figura 17 se muestra los resultados de resistencia a tracción del concreto por cada tipo de mezcla. De la gráfica se puede observar que, la mezcla con adición de ceniza volante en una proporción de 12% en peso del cemento presenta la mayor resistencia a tracción en comparación a los demás porcentajes de adiciones; también se dice que no existen variaciones considerables en la resistencia a tracción del concreto.

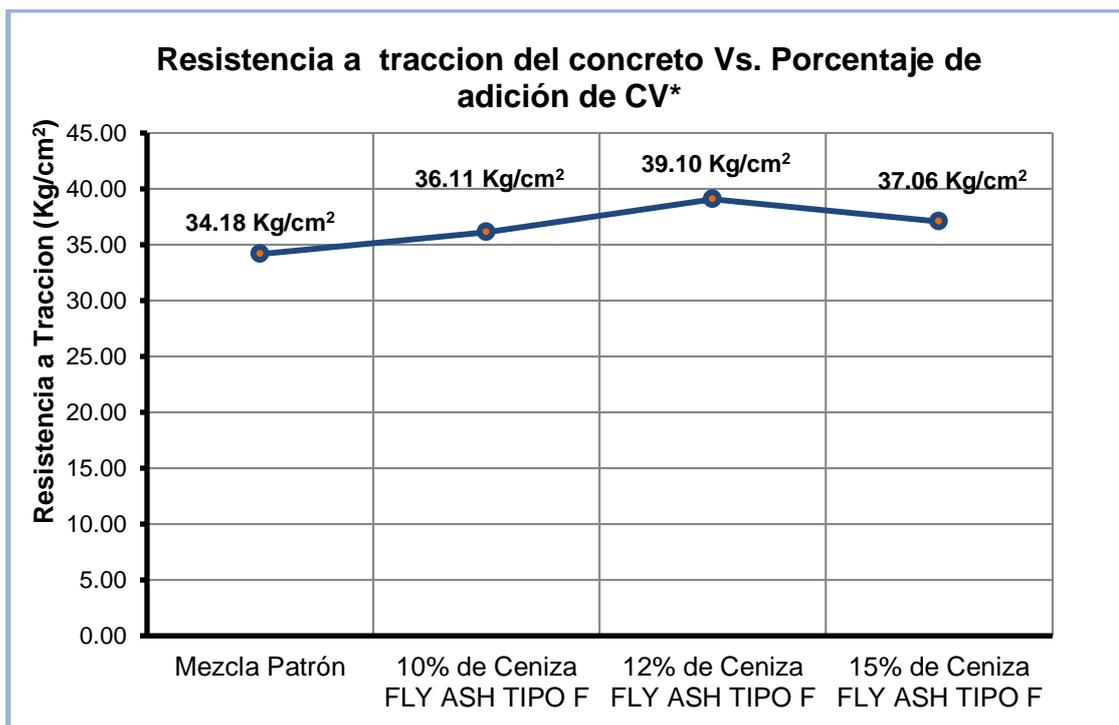


Figura 17. Resistencia a tracción del concreto Vs. Porcentaje de adición de CV*

4.6 Análisis de los resultados obtenidos de la absorción del concreto

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los valores obtenidos de la absorción del concreto

Tabla 26. Absorción del concreto a edad de 7 días, con diferentes porcentajes de adición de CV*

Ensayo	Concreto normal con dosificación del 0% de CV*	Concreto con dosificación del 10% de CV*	Concreto con dosificación del 12% de CV*	Concreto con dosificación del 15% de CV*
1	4.25 %	3.486 %	2.884 %	3.172 %
2	4.671 %	3.102 %	3.337 %	3.400 %
3	3.993 %	3.587 %	3.633 %	3.465 %
Promedio	4.25 %	3.39 %	3.28 %	3.35 %

CV*. Ceniza volante FLY ASH TIPO F

En la tabla 26 se puede observar que la absorción a la edad de 7 días para un concreto normal con dosificación de 0% de ceniza volante es de 4.25 %, para un concreto con dosificación del 10% de ceniza volante es de 3.39 %, para un concreto con dosificación del 12% de ceniza volante es de 3.28 % y para un concreto con dosificación del 15% de ceniza volante es de 3.35 %.

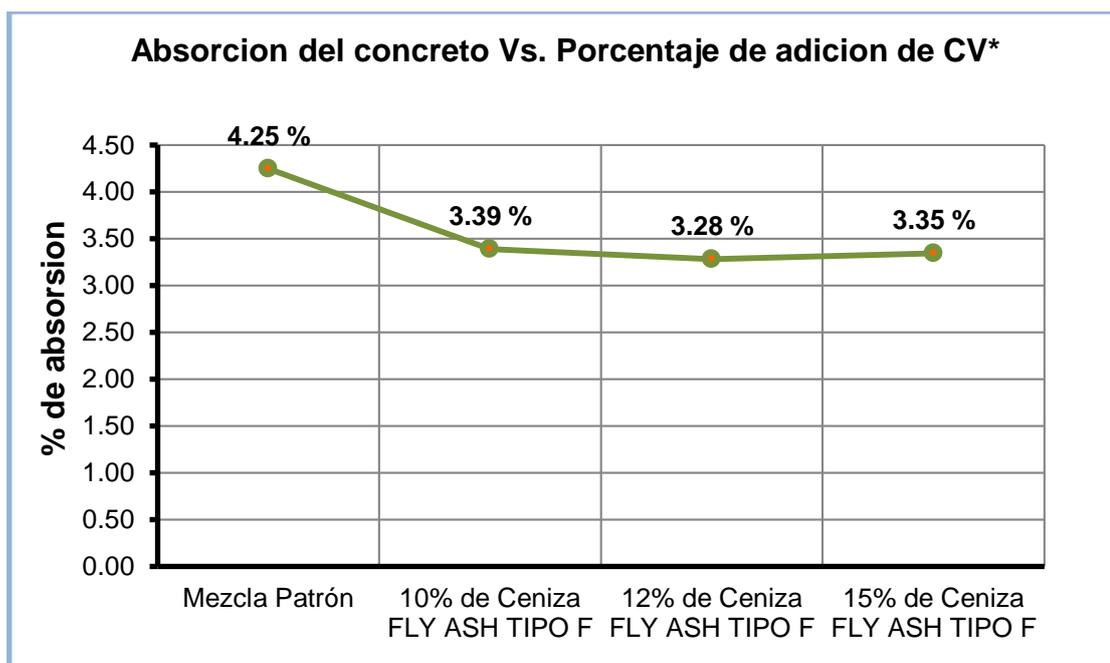


Figura 18. Absorción del concreto Vs. Porcentaje de adición de CV*

En el gráfico de la figura 18 se puede apreciar que el concreto patrón presenta mayor absorción esto se debería a la presencia de mayor cantidad de poros en su estructura en comparación a un concreto con adición de ceniza volante. De la gráfica también se puede observar que las mezclas con adición de ceniza volante presentan menor absorción en comparación a un concreto normal; pero no existen variaciones considerables

4.7 Análisis de los resultados obtenidos de la porosidad en el concreto

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los valores obtenidos de la absorción del concreto

Tabla 27. Porosidad del concreto a edad de 7 días, con diferentes porcentajes de adición de CV*

Ensayo	Concreto normal con 0% de CV*	Concreto con 10% de CV*	Concreto con 12% de CV*	Concreto con 15% de CV*
1	8.716 %	7.71 %	6.43 %	6.87 %
2	10.046 %	6.85 %	7.84 %	7.69 %
3	8.520 %	7.93 %	8.42 %	7.87 %
Promedio	9.09 %	7.50 %	7.56 %	7.48 %

CV*. Ceniza volante FLY ASH TIPO F

En la tabla 27 se puede observar que la porosidad en el concreto a la edad de 7 días para un concreto normal con dosificación de 0% de ceniza volante es de 9.09 %, para un concreto con dosificación del 10% de ceniza volante es de 7.50 %, para un concreto con dosificación del 12% de ceniza volante es de 7.56 % y para un concreto con dosificación del 15% de ceniza volante es de 7.48 %

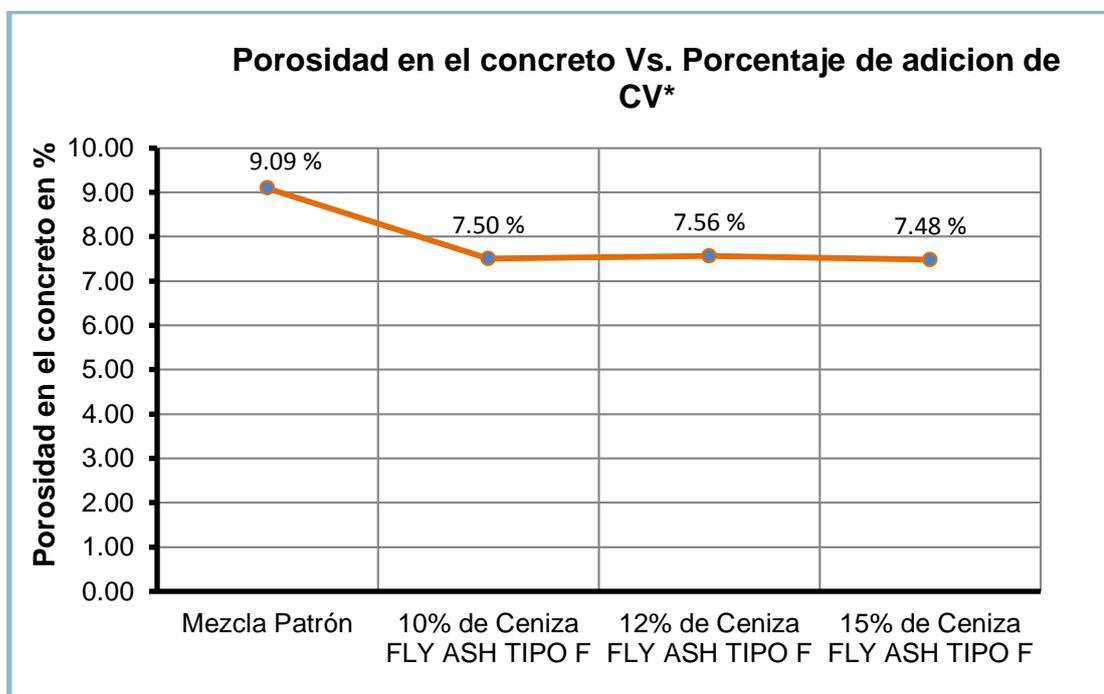


Figura 19. Porosidad en el concreto Vs. Porcentaje de adición de CV*

En el gráfico de la figura 19 se muestra los resultados de la porosidad en el concreto por cada tipo de mezcla. De la gráfica se puede observar que las mezclas con adición de ceniza volante presentan una disminución en la porosidad en comparación a un concreto normal

4.8 Contraste de hipótesis

Se planteó que La adición de ceniza volante mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto de alta resistencia cuyo $f'c$ es igual a 500 Kg/cm² y en especial la resistencia a la compresión aumenta en un 15%. Sin embargo mediante los grupos de estudio o tratamientos y análisis de datos obtenidos se verificó que el concreto con la adición optima de ceniza volante FLY ASH TIPO F en 12% por peso del cemento genera un incremento en la resistencia frente a un concreto normal sin adición alguna. La resistencias a los 28 días para un concreto con adición de ceniza volante FLY ASH TIPO F en proporción del 12% en peso del cemento fue de 608.42 kg/cm², obteniéndose una resistencia del 18.04% mayor al $f'c$ de diseño, verificando de esta manera lo planteado en la hipótesis que dicha adición aumenta la resistencia mecánica en un 15%. También a la edad de 7 días la absorción y porosidad del concreto disminuyen en 0.86% y 1.53%; la resistencia a tracción aumenta en 4.92 Kg/cm² y el módulo de elasticidad a los 28 días aumenta en 8.6% comprobando de esta manera que la adición de ceniza volante FLY ASH TIPO F mejora las propiedades físico - mecánicas en el concreto

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La dosificación con la que se obtuvo mayores resistencias a la compresión en un concreto de alta resistencia con f'_c de diseño igual a 500 Kg/cm² es del 12% de ceniza volante FLY ASH TIPO F por peso de cemento. Esta dosificación es con la que se obtiene mejores resistencias para este tipo de concreto.
- La influencia que presenta el adicionar ceniza volante FLY ASH TIPO F del 12.00 % en peso del cemento al concreto de alta resistencia es de manera directa, alcanzando valores de aumento de la resistencia a la compresión de hasta 8.34% a edad de 7 días, 12.20% a edad de 14 días y 18.04% a edad de 28 días, confirmado de esta manera con la hipótesis planteada para la investigación.
- El concreto de alta resistencia cuyo f'_c de diseño es igual a 500 kg/cm² con 12% de ceniza FLY ASH TIPO F en peso del cemento aumenta su módulo de Elasticidad en 8.6%, esto es producto a que el concreto endurecido presenta mayor resistencia a la compresión con respecto a un sin adición alguna.

- El Concreto de alta resistencia con 12% de ceniza FLY ASH TIPO F en peso del cemento a la edad de 7 días aumenta su resistencia a tracción en 4.92 Kg/cm², en comparación con un concreto normal sin adición de ceniza volante.
- La porosidad en el concreto con dosificación del 12% de ceniza volante FLY ASH TIPO F en peso del cemento y con un curado de 7 días disminuye en 1.53 %.
- La absorción en el concreto con dosificación del 12% de ceniza volante FLY ASH TIPO F en peso del cemento y un curado de 7 días disminuye en 0.86 %.

5.2. Recomendaciones

- Evaluar la durabilidad de un concreto de alta resistencia con adición de ceniza volante FLY ASH TIPO F.
- Evaluar la influencia de ceniza volante FLY ASH TIPO F en porcentajes comprendidos entre el 2% y 8% en peso del cemento, en un concreto de f'_c igual a 210 Kg/cm².

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Alonso Ramírez, J. (1990). Orígenes, tipos y caracterización de las cenizas volantes. Mopu CEDEX. Madrid.
2. Amahjour, F. (2000). Estudio de la reactividad de las puzolanas artificiales: Cenizas volantes y humo de sílice, y su reutilización en ingeniería civil. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
3. Roa parra, A. (2016). Mezclas de concreto hidráulico con aditivos inclusores de aire “cenizas volantes”. Tesis Doctoral. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá
4. Amahjour, F., & Paya, J. (1999). Materiales puzolánicos mixtos a base de ceniza volante de central termoeléctrica de carbón (CV) y humo de sílice (HS): VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos. Aplicaciones para la fabricación de morteros. Actas del III Cong. Nac. Mat. Comp. MATCOMP
5. Asociación de Investigaciones Industrial Electrica (ASINEL). (1982). Las cenizas volantes y sus aplicaciones (Tercera ed.). Madrid.
6. Rivva López, E. 1998. Tecnología del Concreto. Lima-Perú. Hozlo S.CR.L.
7. Rivva López, E. 2000. Naturaleza y materiales del concreto. Lima-Perú. Hozlo S.CR.L.
8. Pasquel Carbajal, Enrique. 1998. Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú. Colegio de Ingenieros del Perú – Consejo Nacional.
9. Neville, A.M. y Brooks, J.J.1998. Tecnología del Concreto. Editorial Trillas. México D.F.

10. Bilodeau, A., & Malhotra, V. (2000, February). High-Volume fly Ash System: Concrete Solution for Sustainable Development. ACI materials journal.
11. CEDEX. (2006). Utilización de cenizas volantes en terraplenes 2005-2008 para la dirección general de calidad y evaluación ambiental del ministerio del medio ambiente.
12. Neville, A. (1996). Properties of concrete. 4. Longman.
13. Master Builders Technologies, 1998.
14. Polanco Rodríguez, Abraham. Manual de Prácticas de Laboratorio de Tecnología del Concreto. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.
15. Corona Zazueta, M. (1997). Concretos dosificados con cemento portland y ceniza volante. Universidad de Sonora. Division de Ciencias e Ingeniería. Sonora, Mexico.
16. Código ACI 318S (2011)
17. El concreto de alta resistencia en la edificación. www.icc.ucv.cl/hormigon/har.doc. (octubre/2003)
18. ASTM C 150. ASTM International. 2012. USA: Especificaciones estándar para cementos portland,
19. ASTM C 31M–08a. ASTM Internacional. 2008. USA: Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra
20. ASTM C 39. ASTM International. 1999. USA: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto

21. Norma Técnica Peruana NTP 339.033. INDECOPI. 2009. 3ra Edición, Lima, Perú: HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo.
22. Norma Técnica Peruana NTP 339.088. INDECOPI. 1982. Lima, Perú: HORMIGON (CONCRETO). Agua para morteros y hormigones de cementos Portland. Requisitos
23. Norma Técnica Peruana NTP 339.185. INDECOPI. 2002. 1ra edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido total de humedad evaporable en agregados por secado.
24. Norma Técnica Peruana NTP 400.018. INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ m (200) por lavado en agregados.
25. Norma Técnica Peruana NTP 400.021. INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para espeso específico y absorción del agregado grueso.
26. Norma Técnica Peruana NTP 400.022. INDECOPI. 2002. 2a. ed., Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.
27. Norma Técnica Peruana NTP 400.037. INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto).
28. Norma técnica peruana NTP 400.043. INDECOPI. 2006. Lima, Perú: AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo.

ANEXOS

ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

A. Análisis Granulométrico Del Agregado Fino. NTP 400.012, / A.S.T.M.C - 136.

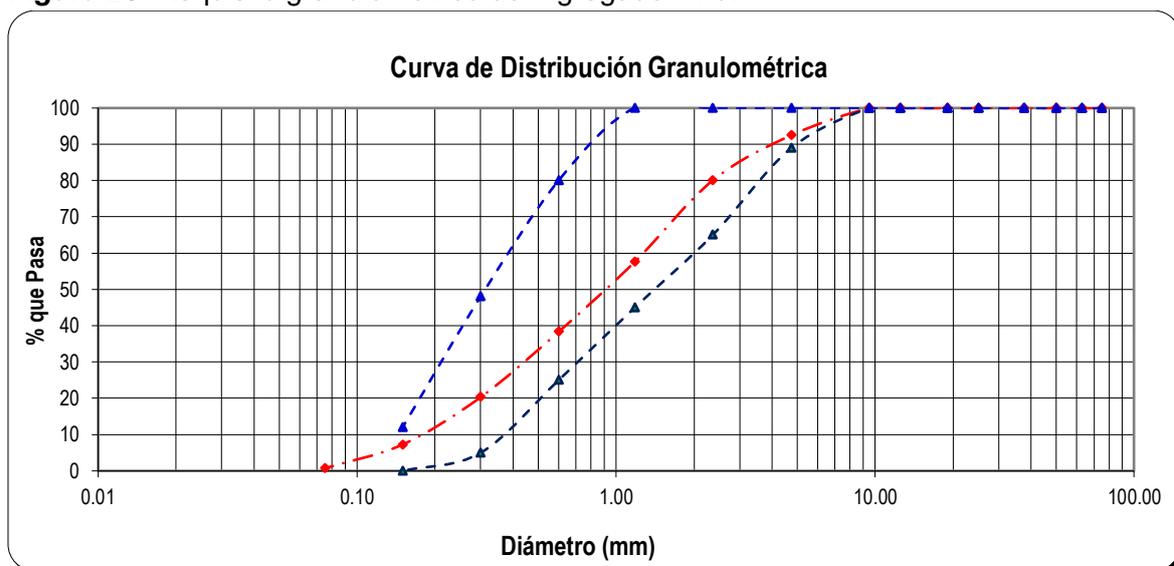
Tabla 28. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 01

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.75 mm	165.00	7.48	7.48	92.52
8	2.36 mm	275.00	12.47	19.95	80.05
16	1.18 mm	495.00	22.45	42.40	57.60
30	0.60 mm	425.00	19.27	61.68	38.32
50	0.30 mm	398.00	18.05	79.73	20.27
100	0.15 mm	288.00	13.06	92.79	7.21
200	0.075 mm	145.00	6.58	99.37	0.63
Cazoleta	--	14.00	0.63	100.00	0.00

Peso de muestra: 2205.00 gramos

Módulo de finura: 3.04

Figura 20. Requisito granulométrico del Agregado Fino.



Fuente: Elaboración propia en base a la NTP 400.037.

$C_c = 6.67$ $C_u = 0.82$

C_c : coeficiente de curvatura, C_u : coeficiente de uniformidad

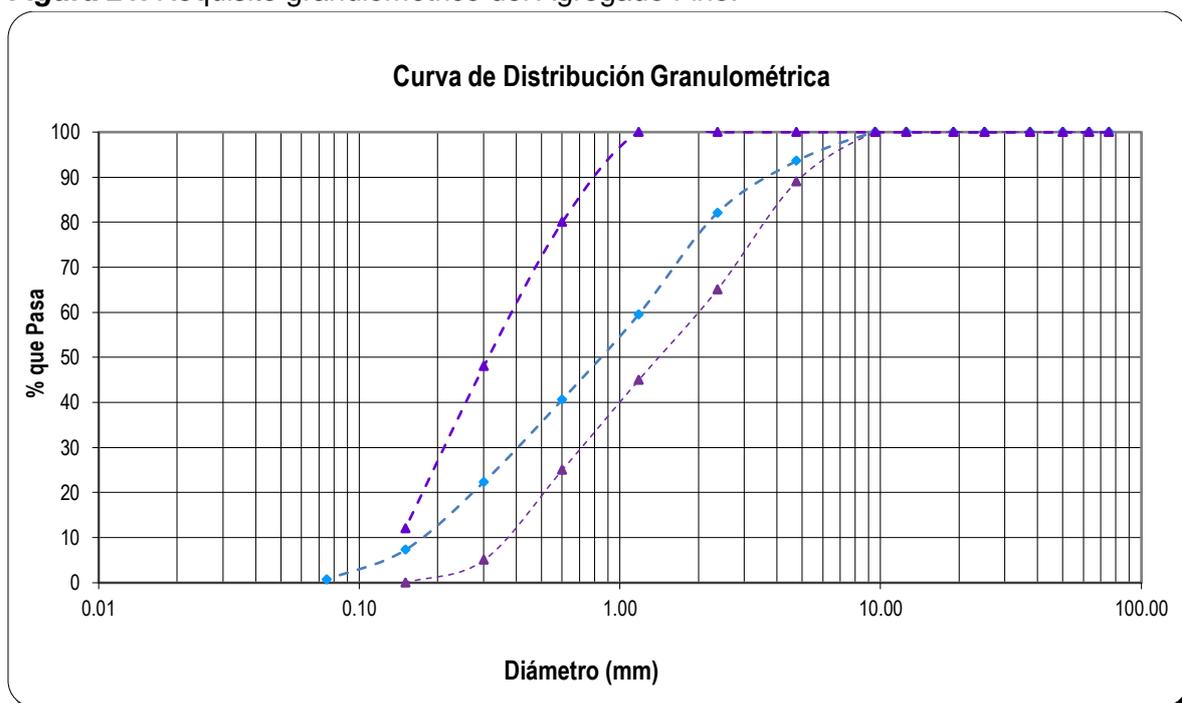
Tabla 29. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 02

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.75 mm	141.00	6.39	6.39	93.61
8	2.36 mm	255.00	11.56	17.96	82.04
16	1.18 mm	496.00	22.49	40.45	59.55
30	0.60 mm	418.00	18.96	59.41	40.59
50	0.30 mm	403.00	18.28	77.69	22.31
100	0.15 mm	332.00	15.06	92.74	7.26
200	0.075 mm	144.00	6.53	99.27	0.73
Cazoleta	--	16.00	0.73	100.00	0.00

Peso de muestra: 2205.00 gramos

Módulo de finura: 2.946

Figura 21. Requisito granulométrico del Agregado Fino.



Fuente: Elaboración propia en base a la NTP 400.037.

$$C_c = 6.56 \quad C_u = 0.75$$

Cc: coeficiente de curvatura, **Cu:** coeficiente de uniformidad

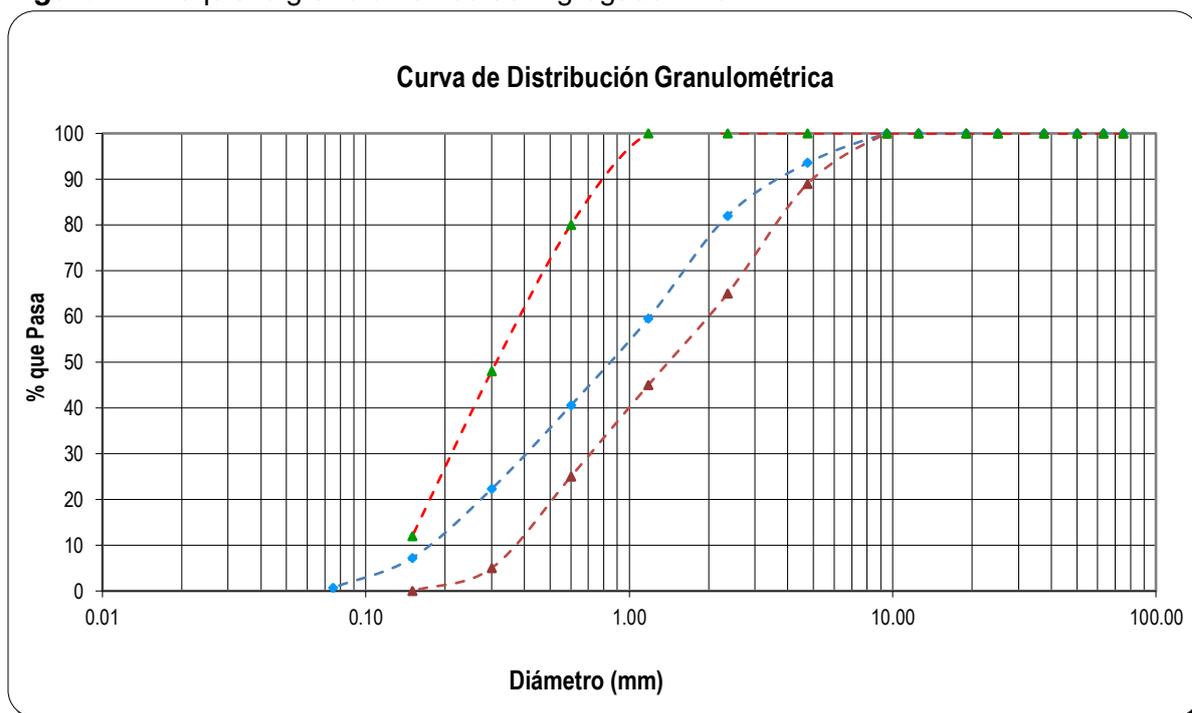
Tabla 30. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 03

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.75 mm	160.00	7.53	7.53	92.47
8	2.36 mm	235.00	11.06	18.59	81.41
16	1.18 mm	458.00	21.55	40.14	59.86
30	0.60 mm	419.00	19.72	59.86	40.14
50	0.30 mm	411.00	19.34	79.20	20.80
100	0.15 mm	285.00	13.41	92.61	7.39
200	0.075 mm	136.00	6.40	99.01	0.99
Cazoleta	--	21.00	0.99	100.00	0.00

Peso de muestra: 2125.00 gramos

Módulo de finura: 2.979

Figura 22. Requisito granulométrico del Agregado Fino.



Fuente: Elaboración propia en base a la NTP 400.037.

$$C_c = 6.94 \quad C_u = 0.84$$

C_c: coeficiente de curvatura, **C_u:** coeficiente de uniformidad

Se observa en los Gráficos de las Figuras 20, 21 y 22 que la curva granulométrica del agregado fino de la cantera "Chilete", cumple con el huso granulométrico "M" de la norma NTP 400.037

Módulo de finura del agregado fino

Módulo de finura

Ensayo N° 01: 3.040

Ensayo N° 02: 2.950

Ensayo N° 03: 2.980

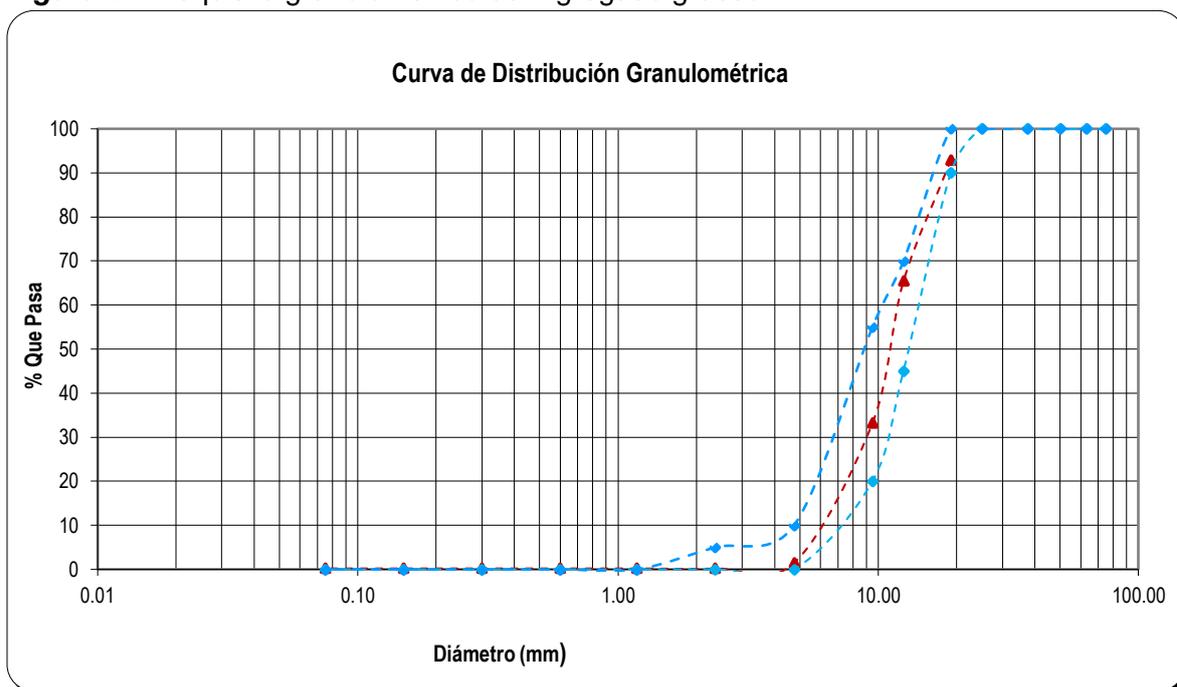
Módulo de finura Promedio: 2.990

B. Análisis Granulométrico Del Agregado grueso. NTP 400.012, NTP 400.037 / A.S.T.M.C -136

Tabla 31. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 01

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.00 mm	508.00	5.53	5.53	94.47
1/2"	12.50 mm	2778.00	30.24	35.76	64.24
3/8"	9.50 mm	2745.00	29.88	65.64	34.36
4	4.75 mm	2748.00	29.91	95.55	4.45
8	2.36 mm	388.00	4.22	99.77	0.23
16	1.18 mm	0.00	0.00	99.77	0.23
30	0.60 mm	0.00	0.00	99.77	0.23
50	0.30 mm	0.00	0.00	99.77	0.23
100	0.15 mm	0.00	0.00	99.77	0.23
200	0.075 mm	0.00	0.00	99.77	0.23
Cazoleta	--	21.00	0.23	100.00	0.00
		Peso de muestra: 9188.00 gramos			
		Módulo de finura: 6.66			

Figura 24. Requisito granulométrico del Agregado grueso.



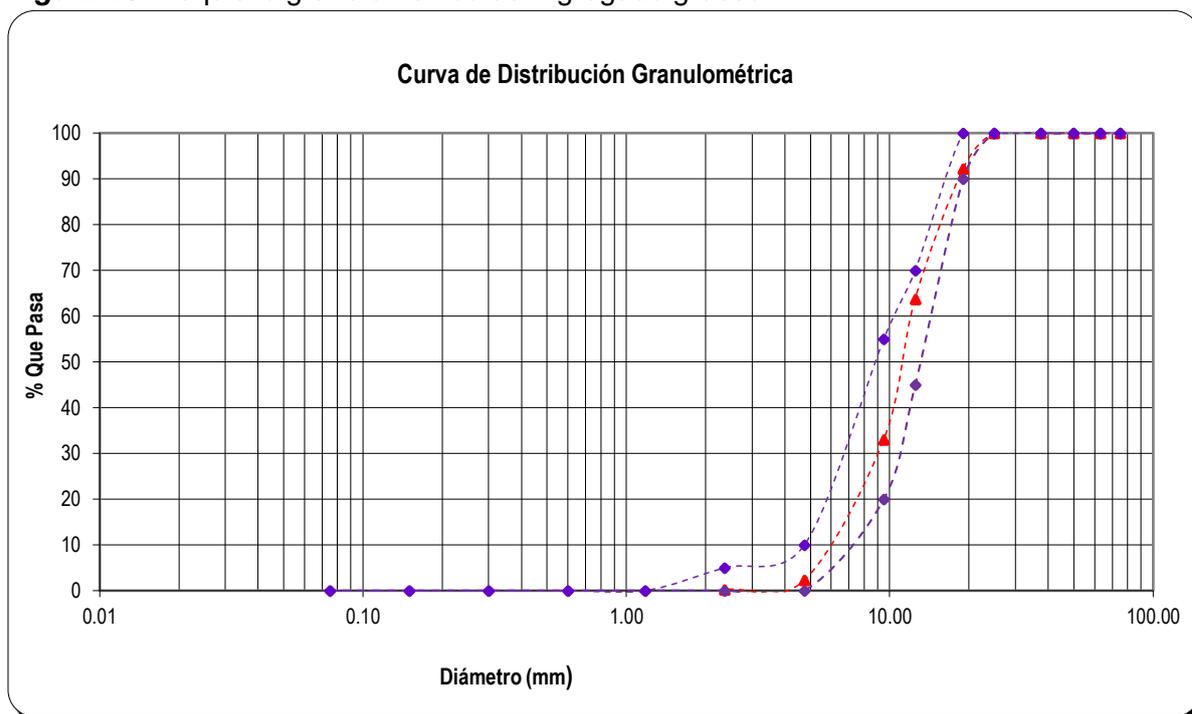
Fuente: Elaboración propia en base a la Norma A.S.T.M. C 33 M -11.

Cc = 2.07 Cu= 1.16

Cc: coeficiente de curvatura, **Cu:** coeficiente de uniformidad

Tabla 33. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 03

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.00 mm	968.00	10.79	10.79	89.21
1/2"	12.50 mm	2478.00	27.61	38.40	61.60
3/8"	9.50 mm	2725.00	30.36	68.76	31.24
4	4.75 mm	2731.00	30.43	99.19	0.81
8	2.36 mm	55.00	0.61	99.80	0.20
16	1.18 mm	0.00	0.00	99.80	0.20
30	0.60 mm	0.00	0.00	99.80	0.20
50	0.30 mm	0.00	0.00	99.80	0.20
100	0.15 mm	0.00	0.00	99.80	0.20
200	0.075 mm	0.00	0.00	99.80	0.20
Cazoleta	--	21.00	0.23	100.00	0.00
		Peso de muestra: 8975.00 gramos			
		Módulo de finura: 6.77			

Figura 25. Requisito granulométrico del Agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia en base a la Norma A.S.T.M. C 33 M -11.

$$C_c = 2.00 \quad C_u = 1.25$$

Cc: coeficiente de curvatura, **Cu:** coeficiente de uniformidad

Se observa en los gráficos de las Figuras 23, 24 y 25 que la curva granulométrica del agregado grueso, cumple con el huso granulométrico "N° 67" de la norma A.S.T.M. C 33 M -11.

Módulo de finura del agregado grueso

Módulo de finura

Ensayo N° 01: 6.66

Ensayo N° 02: 6.71

Ensayo N° 03: 6.78

Promedio: 6.72

C. Peso específico y absorción del agregado Fino. (NTP 400.022, ASTM C-128.)

Tabla 34. Peso específico del agregado fino.

Descripción	M-1	M-2	M-3
Peso de fiola (g)	151.00	151.00	151.00
Peso de la fola +agua hasta menisco (g)	649.34	649.34	649.34
peso de la fiola +agua + muestra (g)	962.20	962.30	962.25
Peso de la muestra superficialmente Seca (g)	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra secada al horno (g)	493.80	493.76	493.88
volumen de agua añadida al frasco (g)	311.20	311.30	311.25
Peso Específico de Masa (g/cm ³)	2.615	2.617	2.617
Peso Específico de Masa sss (g/cm ³)	2.648	2.650	2.649
Peso Específico de Aparente (g/cm ³)	2.704	2.706	2.704
Promedio Peso Específico de Masa (g/cm³) : 2.616			
Promedio Peso Específico de Masa sss (g/cm³): 2.649			
Promedio Peso Específico de Aparente (g/cm³): 2.705			

sss: saturado superficialmente seco

Tabla 35. Absorción del agregado Fino.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra sss (g)	(A)	--	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra secada al horno (g)	(B)	--	493.80	493.76	493.88
Absorción (%)	(C)	$(A-B) * 10^2 / B$	1.256	1.264	1.239
Promedio: 1.253 %					

D. Peso específico y absorción del agregado grueso. NTP 400.021, ASTM C-127.**Tabla 36. Peso específico del agregado grueso.**

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso de muestra sss (g):	(A)	--	3000.0	3000.0	3000.0
Peso de muestra sss + canastilla sumergida (g):	(B)	--	2851.3	2856.5	2853.5
Peso de canastilla sumergida (g):	(C)	--	980.00	980.00	980.00
Peso de Recipiente (g):	(D)	--	529	511	517
Peso de Muestra sss + Recipiente (g):	(E)	--	3529.0	3511.0	3517.0
Peso de Muestra Secada al horno + Recipiente (g):	(F)	--	3494	3477	3484
Peso de la muestra superficialmente Seca (g):	(G)	--	3000.0	3000.0	3000.0
Peso de la muestra secada al horno (g):	(H)	(F - D)	2965.0	2966.0	2967.0
Peso de la muestra sumergida en el agua (g):	(I)	(B - C)	1871.3	1876.5	1873.5
Peso Específico de Masa (g/ cm ³):	--	H / (G - I)	2.627	2.640	2.634
Peso Específico de Masa sss (g/ cm ³):	--	G / (G - I)	2.658	2.670	2.663
Peso Específico de Aparente (g/ cm ³):	--	H / (H - I)	2.711	2.722	2.713
Promedio Peso Específico de Masa (g/ cm³): 2.634					
Promedio Peso Específico de Masa sss (g/ cm³): 2.664					
Promedio Peso Específico de Aparente (g/ cm³): 2.716					

sss: saturado superficialmente seco.

Tabla 37. Absorción del agregado grueso.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso de muestra sss (g)	(A)	--	3000.0	3000.0	3000.0
Peso de muestra secada al horno (g)	(B)	--	2965.0	2966.0	2967.0
Absorción (%)	(C)	(A-B)/B*100	1.180	1.146	1.112
Promedio: 1.146%					

E. Peso unitario seco suelto y compactado, cálculo del factor f y porcentaje de vacíos del agregado fino. NTP 400.017, / ASTM C 29 M: 1991.

Tabla 38. *Peso específico del agua.*

Descripción	Ensayo N° 01
Peso de la fiola en (g)	: 151.10
Peso de la fiola en (g)	: 649.34
Volumen de la fiola (cm ³)	: 500.00
Peso específico (g/cm ³)	: 0.99668
P.e del agua en (Kg/m³)	: 996.68

Tabla 39. *Factor f del agregado fino.*

Descripción	Ensayo N° 01
Peso del Molde (g)	: 3880.00
Peso del Molde +Agua (g)	: 6850.00
Peso Agua (Kg)	: 2.9700
f (1/m³)	: 335.582

Tabla 40. *Peso unitario seco suelto del agregado fino.*

Descripción	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	3880.00	3880.00	3880.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	8812.00	8808.00	8816.00
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	4932.00	4928.00	4936.00
Factor (f)	(D)		335.582	335.582	335.582
PUSS (g/cm ³)	(E)	$D^*(10^6/C)$	1.655	1.654	1.656
PUSS (Kg/m ³)		$C/(10^3/D)$	1655	1654	1656
Promedio: 1655 Kg/m³					

PUSS: peso unitario seco suelto.

Tabla 41. *Peso unitario seco compactado o varillado del agregado fino.*

Descripción	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	3880.00	3880.00	3880.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	9148.00	9151.00	9150.00
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	5268.00	5271.00	5270.00
Factor (f)	(D)		335.582	335.582	335.582
PUSC (g/cm ³)	(E)	$D^*(10^6/C)$	1.768	1.769	1.769
PUSC (Kg/m ³)		$C/(10^3/D)$	1768	1769	1769
Promedio: 1768 Kg/m³					

PUSC: Peso unitario seco compactado.

F. Peso unitario seco suelto, compactado, cálculo del factor f y porcentaje de vacíos del agregado grueso: NTP 400.017, / ASTM C 29 M: 1991.

Tabla 42. Peso específico del agua.

Descripción	Ensayo N° 01
Peso de la fiola en (g)	: 151.10
Peso de la fiola en (g)	: 649.34
Volumen de la fiola (cm ³)	: 500.00
Peso específico (g/cm ³)	: 0.99668
P.e del agua en (Kg/m³)	: 996.68

Tabla 43. Factor f para el agregado grueso.

Descripción	Ensayo N° 01
Peso del Molde (g)	: 4202.00
Peso del Molde + Agua (g)	: 13928.00
Peso Agua (Kg)	: 9.7260
f (1/m³)	: 102.476

Tabla 44. Peso unitario suelto seco del agregado grueso.

Descripción	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	4202.00	4202.00	4202.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	20211.0	20244.0	20232.0
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	16009.0	16042.0	16030.0
Factor (f)	(D)		102.476	102.476	102.476
PUSS (g/cm ³)	(E)	$D \cdot (10^6 / C)$	1.641	1.644	1.643
PUSS (Kg/m ³)		$C / (10^3 / D)$	1641	1644	1643
Promedio: 1642 Kg/m³					

PUSS: peso unitario seco suelto.

Tabla 45. *Peso unitario seco compactado o varillado del agregado grueso.*

Descripción	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	4202.00	4202.00	4202.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	21483.0	21466.0	21492.0
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	17281.0	17264.0	17290.0
Factor (f)	(D)		102.476	102.476	102.476
PUSS (g/cm ³)	(E)	$D \cdot (10^6 / C)$	1.771	1.769	1.772
PUSS (Kg/m ³)		$C / (10^3 / D)$	1771	1769	1772
Promedio: 1771 Kg/m³					

PUSS: peso unitario seco compactado.

Tabla 46. *Vacíos teóricos del agregado grueso en (%).*

Descripción		M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra compactada sss (g)	sss (g)	21686.00	21670.00	21683.00
Peso Unitario Compactado sss (g/cm ³)		24900.00	24891.00	24901.00
Peso Específico de Masa sss (g/cm ³)		3214.00	3221.00	3218.00
Contenido de Vacíos (%)		9758.40	9758.40	9758.40
Promedio de Contenido de Vacíos (%): 33.08				

sss: saturado superficialmente seco

Tabla 47. *Vacíos calculados en laboratorio del agregado grueso en (%).*

Descripción		M-1	M-2	M-3
Peso del Recipiente + muestra compactada sss (g)		17484.00	17468.00	17481.00
Peso del Recipiente + muestra compactada sss + agua (g)		1.792	1.790	1.791
Peso específico de Masa sss (g/cm ³)		2.667	2.669	2.667
Contenido de Vacíos (%)		32.81	32.93	32.82
Promedio de Contenido de Vacíos (%): 32.86				

sss: saturado superficialmente seco.

G. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino y grueso. ASTM.C - 117 / NTP 400.018

Tabla 48. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso Seco de la Muestra Original (g).	(A)	--	500.00	500.00	500.00
Peso Seco de la muestra Lavada o ensayada (g).	(B)	--	481.00	481.60	481.20
Peso del material que pasa el tamiz N°200 (g).	(C)	(A – B)	19.00	18.40	18.80
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200.		(C/A)*100	3.80	3.68	3.76
Promedio: 3.75 %					

Tabla 49. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado grueso

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso Seco de la Muestra Original (g).	(A)	--	3000.0	3000.0	3000.0
Peso Seco de la muestra Lavada o ensayada (g).	(B)	--	2990.0	2988.0	2989.0
Peso del material que pasa el tamiz N°200 (g).	(C)	(A – B)	10.00	12.00	11.00
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200.		(C/A)*100	0.33	0.40	0.37
Promedio: 0.37 %					

H. Contenido de Humedad. NTP 339.185 ASTM C-566.

Tabla 50. Contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g).	(A)	--	3000.0	3000.0	3000.0
Peso del recipiente + muestra húmeda (g).	(B)	--	2990.0	2988.0	2989.0
Peso del recipiente + muestra seca (g).	(C)	--	10.00	12.00	11.00
Contenido de humedad	(D)	$\frac{(B-A)-(C-A)}{(C-A)*100}$	3000.0	3000.0	3000.0
Promedio: 4.698%					

Tabla 51. *Contenido de humedad del agregado grueso.*

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g).	(A)	--	106.00	108.00	115.00
Peso del recipiente + muestra húmeda (g).	(B)	--	3022.00	3255.00	3284.00
Peso del recipiente + muestra seca (g).	(C)	--	2981.00	3211.00	3239.00
Contenido de humedad	(D)	$\frac{(B-A)-(C-A)}{(C-A)*100}$	1.43	1.42	1.44
Promedio: 1.43%					

I. Desgaste a la abrasión. NTP 400.017, NTP 400.0119 / ASTM C -131**Tabla 52.** *Desgaste a la abrasión del agregado grueso.*

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./mim)	N° de Revoluciones	TMN	Peso (g)
B	Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
N° DE ENSAYOS				1°	2°	3°
Peso Inicial de la muestra seca al horno (gr.)				2501	2503	2501
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)				2506	2502	2508
% Desg. = $((P_i - P_f) / P_i) \times 100$				5007	5005	5009
% Desg. Promedio = 25.58						

ANEXO 2: DISEÑOS DE MEZCLA

I. Diseño de Mezcla con dosificación de 10%

1° Selección de tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado será de 3/4", correspondiente al uso granulométrico n° 67 de la norma técnica ASTM C-33 (Standard Specification for Concrete Aggregates)

2° Selección del asentamiento

El asentamiento a considerar será el correspondiente a una mezcla plástica: 3" – 4".

3° Selección de la relación agua material cementante

La relación agua material cementante, teniendo en cuenta el tipo de mezcla a realizar será de 0.38.

4° Selección del contenido de aire

El contenido de aire considerado es el porcentaje de aire atrapado que proporciona el tamaño máximo nominal el agregado grueso, el que corresponde a 2.0%

5° Selección del contenido de agua

El volumen de agua se considera teniendo en cuenta las características del concreto a elaborar, considerando que se adicionará como aditivo ceniza volante, este es de:

Volumen de agua: 185 litros.

6° Cálculo del contenido de cemento

El contenido de cemento se encuentra según la siguiente fórmula:

$$Cemento = \frac{Agua}{relación\ agua\ material\ cementante} = \frac{185}{0.38} = 486.84\ Kg.$$

7° Cálculo del peso de ceniza volante

En este tipo de mezcla se considerará una proporción de 10% de ceniza volante por peso de cemento, por lo que:

$$\text{Ceniza Volante} = 10\%(\text{peso de cemento}) = 0.10 * 486.84$$

$$\text{Peso de Ceniza Volante} = 48.684 \text{ Kg}$$

8° Cálculo del volumen absoluto de pasta

Tenemos los componentes de la pasta:

Cemento : 486.84 Kg.

Ceniza volante : 48.684 Kg.

Agua : 185 litros.

Aire : 2.0%

Para el volumen absoluto los pesos de los componentes de la pasta, se divide entre sus pesos respectivos pesos específicos y se obtienes lo siguiente:

Cemento : 0.156039 m³.

Ceniza volante : 0.022129 m³.

Agua : 0.185 m³.

Aire : 0.02 m³.

Volumen de pasta = 0.383168 m³.

9° Cálculo del volumen absoluto de los agregados

$\text{Volumen de agregados} = 1 - \text{volumen de pasta}$

Volumen de agregados = 0.616832 m³.

10° Determinación de los pesos de los agregados

Para la determinación de los pesos de los agregados determinamos los porcentajes respectivos, los mismos que son calculados a partir de las tabla 12, para el método del módulo de finura de la combinación de agregados y estos son, teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso y la cantidad de cemento a utilizar, en nuestro caso se extrapolara:

Agregado fino: 34.93%

Agregado grueso: 65.07%

Con los cuales se determinó los volúmenes absolutos de los agregados, los que, al multiplicar por sus respectivos pesos específicos de masa, se obtiene el peso del agregado:

Volumen absoluto del agregado fino: 0.215478m³.

Volumen absoluto del agregado grueso: 0.401354 m³.

Peso del agregado fino: 563.69 Kg.

Peso del agregado grueso: 1057.17 Kg.

11° Materiales de diseño por metro cúbico

CEMENTO	486.84	Kg
AGUA DE DISEÑO	185.00	Lt
AGREGADO FINO SECO	563.69	Kg
AGREGADO GRUESO SECO	1057.17	Kg
CENIZA VOLANTE	48.684	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%

12° Materiales corregidos por metro cúbico

CEMENTO	486.84	Kg
AGUA EFECTIVA	156.83	Lt
AGREGADO FINO HÚMEDO	595.92	Kg
AGREGADO GRUESO HÚMEDO	1072.28	Kg
CENIZA VOLANTE	48.684	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%

II. Diseño de Mezcla con dosificación de 12%

1° Selección de tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado será de 3/4", correspondiente al uso granulométrico n° 67 de la norma técnica ASTM C-33 (Standard Specification for Concrete Aggregates)

2° Selección del asentamiento

El asentamiento a considerar será el correspondiente a una mezcla plástica: 3" – 4".

3° Selección de la relación agua material cementante

La relación agua material cementante, teniendo en cuenta el tipo de mezcla a realizar será de 0.38.

4° Selección del contenido de aire

El contenido de aire considerado es el porcentaje de aire atrapado que proporciona el tamaño máximo nominal el agregado grueso, el que corresponde a 2.0%

5° Selección del contenido de agua

El volumen de agua se considera teniendo en cuenta las características del concreto a elaborar, considerando que se adicionará como aditivo ceniza volante, este es de:

Volumen de agua: 185 litros.

6° Cálculo del contenido de cemento

El contenido de cemento se encuentra según la siguiente fórmula:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Agua}}{\text{relación agua material cementante}} = \frac{185}{0.38} = 486.84 \text{ Kg.}$$

7° Cálculo del peso de ceniza volante

En este tipo de mezcla se considerará una proporción de 10% de ceniza volante por peso de cemento, por lo que:

$$\text{Ceniza Volante} = 12\%(\text{peso de cemento}) = 0.12 * 486.84$$

$$\text{Peso de Ceniza Volante} = 58.421 \text{ Kg}$$

8° Cálculo del volumen absoluto de pasta

Tenemos los componentes de la pasta:

Cemento	: 486.84 Kg.
Ceniza volante	: 58.421 Kg.
Agua	: 185 litros.
Aire	: 2.0%

Para el volumen absoluto los pesos de los componentes de la pasta, se divide entre sus pesos respectivos pesos específicos y se obtienen lo siguiente:

Cemento	: 0.156039 m ³ .
Ceniza volante	: 0.026555 m ³ .
Agua	: 0.185 m ³ .
Aire	: 0.02 m ³ .

Volumen de pasta = 0.387594 m³.

9° Cálculo del volumen absoluto de los agregados

Volumen de agregados = 1 – volumen de pasta

Volumen de agregados = 0.612406 m³.

10° Determinación de los pesos de los agregados

Para la determinación de los pesos de los agregados determinamos los porcentajes respectivos, los mismos que son calculados a partir de las tabla 12, para el método del módulo de finura de la combinación de agregados y estos son, teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso y la cantidad de cemento a utilizar, en este caso se extrapolara:

Agregado fino: 34.93%

Agregado grueso: 65.07%

Con los cuales se determinó los volúmenes absolutos de los agregados, los que, al multiplicar por sus respectivos pesos específicos de masa, se obtiene el peso del agregado:

Volumen absoluto del agregado fino: 0.213932 m³.

Volumen absoluto del agregado grueso: 0.398474 m³.

Peso del agregado fino: 559.65 Kg.

Peso del agregado grueso: 1049.58 Kg.

11° Materiales de diseño por metro cúbico

CEMENTO	486.84	Kg
AGUA DE DISEÑO	185.00	Lt
AGREGADO FINO SECO	559.65	Kg
AGREGADO GRUESO SECO	1049.58	Kg
CENIZA VOLANTE	58.421	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%

12° Materiales corregidos por metro cúbico

CEMENTO	486.84	Kg
AGUA EFECTIVA	157.03	Lt
AGREGADO FINO HÚMEDO	591.65	Kg
AGREGADO GRUESO HÚMEDO	1064.59	Kg
CENIZA VOLANTE	58.421	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%

III. Diseño de Mezcla con dosificación de 15%

1° Selección de tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado será de 3/4", correspondiente al uso granulométrico n° 67 de la norma técnica ASTM C-33 (Standard Specification for Concrete Aggregates)

2° Selección del asentamiento

El asentamiento a considerar será el correspondiente a una mezcla plástica: 3" – 4".

3° Selección de la relación agua material cementante

La relación agua material cementante, teniendo en cuenta el tipo de mezcla a realizar será de 0.38.

4° Selección del contenido de aire

El contenido de aire considerado es el porcentaje de aire atrapado que proporciona el tamaño máximo nominal el agregado grueso, el que corresponde a 2.0%

5° Selección del contenido de agua

El volumen de agua se considera teniendo en cuenta las características del concreto a elaborar, considerando que se adicionará como aditivo ceniza volante, este es de:

Volumen de agua: 185 litros.

6° Cálculo del contenido de cemento

El contenido de cemento se encuentra según la siguiente fórmula:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Agua}}{\text{relación agua material cementante}} = \frac{185}{0.38} = 486.84 \text{ Kg.}$$

7° Cálculo del peso de ceniza volante

En este tipo de mezcla se considerará una proporción de 10% de ceniza volante por peso de cemento, por lo que:

$$\text{Ceniza Volante} = 15\%(\text{peso de cemento}) = 0.15 * 486.84$$

$$\text{Peso de Ceniza Volante} = 73.026 \text{ Kg}$$

8° Cálculo del volumen absoluto de pasta

Tenemos los componentes de la pasta:

Cemento : 486.84 Kg.

Ceniza volante : 73.026 Kg.

Agua : 185 litros.

Aire : 2.0%

Para el volumen absoluto los pesos de los componentes de la pasta, se divide entre sus pesos respectivos pesos específicos y se obtienes lo siguiente:

Cemento : 0.156039 m³.

Ceniza volante : 0.033194 m³.

Agua : 0.185 m³.

Aire : 0.02 m³.

Volumen de pasta = 0.394233 m³.

9° Cálculo del volumen absoluto de los agregados

Volumen de agregados = 1 – volumen de pasta

Volumen de agregados = 0.605767 m³.

10° Determinación de los pesos de los agregados

Para la determinación de los pesos de los agregados determinamos los porcentajes respectivos, los mismos que son calculados a partir de la tabla 12, para el método del módulo de finura de la combinación de agregados y estos son, teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso y la cantidad de cemento a utilizar, para este caso se extrapolara:

Agregado fino: 34.93%

Agregado grueso: 65.07%

Con los cuales se determinó los volúmenes absolutos de los agregados, los que, al multiplicar por sus respectivos pesos específicos de masa, se obtiene el peso del agregado:

Volumen absoluto del agregado fino: 0.211612 m³.

Volumen absoluto del agregado grueso: 0.394155 m³.

Peso del agregado fino: 553.58 Kg.

Peso del agregado grueso: 1038.20 Kg.

11° Materiales de diseño por metro cúbico

CEMENTO	486.84	Kg
AGUA DE DISEÑO	185.00	Lt
AGREGADO FINO SECO	553.58	Kg
AGREGADO GRUESO SECO	1038.20	Kg
CENIZA VOLANTE	73.026	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%

12° Materiales corregidos por metro cúbico

CEMENTO	486.84	Kg
AGUA EFECTIVA	157.33	Lt
AGREGADO FINO HÚMEDO	585.23	Kg
AGREGADO GRUESO HÚMEDO	1053.05	Kg
CENIZA VOLANTE	73.026	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%

ANEXO 3: RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN**Tabla 53.** Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 7 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	7	MP - 01	64.00	500	15.10	357.38	71.48%
2	7	MP - 02	63.75	500	15.20	351.32	70.26%
3	7	MP - 03	63.00	500	15.10	351.80	70.36%
4	7	MP - 04	64.00	500	15.20	352.70	70.54%
5	7	MP - 05	63.75	500	15.17	352.71	70.54%
6	7	MP - 06	64.00	500	15.18	353.63	70.73%
7	7	MP - 07	65.00	500	15.20	358.21	71.64%
8	7	MP - 08	64.00	500	15.18	353.63	70.73%
9	7	MP - 09	65.00	500	15.19	358.68	71.74%
10	7	MP - 10	63.25	500	15.12	352.26	70.45%

Tabla 54. Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 14 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	14	MP - 11	79.00	500	15.20	435.36	87.07%
2	14	MP - 12	78.00	500	15.20	429.85	85.97%
3	14	MP - 13	77.00	500	15.20	424.34	84.87%
4	14	MP - 14	77.50	500	15.15	429.92	85.98%
5	14	MP - 15	78.25	500	15.18	432.37	86.47%
6	14	MP - 16	78.00	500	15.19	430.42	86.08%
7	14	MP - 17	79.25	500	15.17	438.47	87.69%
8	14	MP - 18	78.00	500	15.12	434.41	86.88%
9	14	MP - 19	77.50	500	15.20	427.10	85.42%
10	14	MP - 20	77.25	500	15.18	426.84	85.37%

Tabla 55. Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 28 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	28	MP - 21	92.00	500	15.20	435.36	101.40%
2	28	MP - 22	94.50	500	15.20	429.85	104.16%
3	28	MP - 23	93.00	500	15.20	424.34	102.50%
4	28	MP - 24	95.00	500	15.20	429.92	104.71%
5	28	MP - 25	92.50	500	15.20	432.37	101.95%
6	28	MP - 26	93.25	500	15.20	430.42	102.78%
7	28	MP - 27	94.00	500	15.20	438.47	103.61%
8	28	MP - 28	91.25	500	15.20	434.41	100.57%
9	28	MP - 29	94.75	500	15.20	427.10	104.43%
10	28	MP - 30	95.00	500	15.20	426.84	104.71%

Tabla 56. Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 10% de ceniza volante a edad de 7 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	7	CV10 - 01	39750	500	15.15	355.03	71.01%
2	7	CV10 - 02	39500	500	15.10	362.97	72.59%
3	7	CV10 - 03	39000	500	15.15	356.42	71.28%
4	7	CV10 - 04	39500	500	15.16	353.18	70.64%
5	7	CV10 - 05	40000	500	15.16	354.56	70.91%
6	7	CV10 - 06	40500	500	15.20	355.45	71.09%
7	7	CV10 - 07	40250	500	15.21	357.74	71.55%
8	7	CV10 - 08	39750	500	15.20	363.72	72.74%
9	7	CV10 - 09	40000	500	15.20	365.10	73.02%
10	7	CV10 - 10	40250	500	15.20	366.48	73.30%

Tabla 57. Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 10% de ceniza volante a edad de 14 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'_c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	14	CV10 - 11	80.00	500	15.10	446.73	89.35%
2	14	CV10 - 12	82.00	500	15.15	454.88	90.98%
3	14	CV10 - 13	81.00	500	15.20	446.38	89.28%
4	14	CV10 - 14	83.00	500	15.20	457.41	91.48%
5	14	CV10 - 15	84.00	500	15.20	462.92	92.58%
6	14	CV10 - 16	83.50	500	15.20	460.16	92.03%
7	14	CV10 - 17	84.00	500	15.15	465.98	93.20%
8	14	CV10 - 18	83.25	500	15.15	461.82	92.36%
9	14	CV10 - 19	81.00	500	15.20	446.38	89.28%
10	14	CV10 - 20	81.50	500	15.15	452.11	90.42%

Tabla 58. Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 10% de ceniza volante a edad de 28 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'_c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	28	CV10 - 21	100.00	500	15.20	551.09	110.22%
2	28	CV10 - 22	101.00	500	15.20	556.60	111.32%
3	28	CV10 - 23	102.00	500	15.20	562.11	112.42%
4	28	CV10 - 24	100.50	500	15.20	553.85	110.77%
5	28	CV10 - 25	102.24	500	15.20	563.43	112.69%
6	28	CV10 - 26	103.00	500	15.20	567.62	113.52%
7	28	CV10 - 27	100.75	500	15.20	555.22	111.04%
8	28	CV10 - 28	101.00	500	15.20	556.60	111.32%
9	28	CV10 - 29	102.00	500	15.18	563.59	112.72%
10	28	CV10 - 30	100.00	500	15.18	552.54	110.51%

Tabla 59. Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 12% de ceniza volante a edad de 7 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f_c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	7	CV12 - 01	70.00	500	15.20	385.76	77.15%
2	7	CV12 - 02	71.00	500	15.20	391.27	78.25%
3	7	CV12 - 03	68.00	500	15.20	374.74	74.95%
4	7	CV12 - 04	70.00	500	15.15	388.31	77.66%
5	7	CV12 - 05	71.00	500	15.18	392.31	78.46%
6	7	CV12 - 06	70.25	500	15.20	387.14	77.43%
7	7	CV12 - 07	70.50	500	15.20	388.52	77.70%
8	7	CV12 - 08	69.00	500	15.20	380.25	76.05%
9	7	CV12 - 09	68.75	500	15.20	378.87	75.77%
10	7	CV12 - 10	69.50	500	15.10	388.10	77.62%

Tabla 60. Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 12% de ceniza volante a edad de 14 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f_c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	14	CV12 - 11	88.00	500	15.20	484.96	96.99%
2	14	CV12 - 12	89.00	500	15.20	490.47	98.09%
3	14	CV12 - 13	87.00	500	15.15	482.62	96.52%
4	14	CV12 - 14	86.00	500	15.10	480.24	96.05%
5	14	CV12 - 15	88.00	500	15.18	486.24	97.25%
6	14	CV12 - 16	87.00	500	15.15	482.62	96.52%
7	14	CV12 - 17	86.75	500	15.17	479.96	95.99%
8	14	CV12 - 18	88.00	500	15.18	486.24	97.25%
9	14	CV12 - 19	89.00	500	15.24	487.90	97.58%
10	14	CV12 - 20	85.00	500	15.12	473.40	94.68%

Tabla 61. Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 12% de ceniza volante a edad de 28 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'_c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	28	CV12 - 21	111.00	500	15.22	610.10	122.02%
2	28	CV12 - 22	110.00	500	15.20	606.20	121.24%
3	28	CV12 - 23	109.00	500	15.20	600.69	120.14%
4	28	CV12 - 24	111.75	500	15.23	613.42	122.68%
5	28	CV12 - 25	110.25	500	15.20	607.58	121.52%
6	28	CV12 - 26	112.00	500	15.21	616.41	123.28%
7	28	CV12 - 27	112.00	500	15.20	617.22	123.44%
8	28	CV12 - 28	110.00	500	15.20	606.20	121.24%
9	28	CV12 - 29	109.00	500	15.17	603.07	120.61%
10	28	CV12 - 30	108.75	500	15.15	603.27	120.65%

Tabla 62. Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 15% de ceniza volante a edad de 7 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'_c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	7	CV15 - 01	66.00	500	15.10	368.55	73.71%
2	7	CV15 - 02	69.00	500	15.22	379.25	75.85%
3	7	CV15 - 03	66.00	500	15.15	366.12	73.22%
4	7	CV15 - 04	67.00	500	15.20	369.23	73.85%
5	7	CV15 - 05	66.50	500	15.17	367.93	73.59%
6	7	CV15 - 06	67.25	500	15.16	372.57	74.51%
7	7	CV15 - 07	68.00	500	15.21	374.25	74.85%
8	7	CV15 - 08	66.75	500	15.18	368.82	73.76%
9	7	CV15 - 09	68.00	500	15.22	373.76	74.75%
10	7	CV15 - 10	68.50	500	15.20	377.50	75.50%

Tabla 63. Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 15% de ceniza volante a edad de 14 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'_c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	14	CV15 - 11	85.00	500	15.21	467.81	93.56%
2	14	CV15 - 12	84.00	500	15.15	465.98	93.20%
3	14	CV15 - 13	86.00	500	15.22	472.69	94.54%
4	14	CV15 - 14	83.00	500	15.18	458.61	91.72%
5	14	CV15 - 15	84.50	500	15.20	465.67	93.13%
6	14	CV15 - 16	83.75	500	15.18	462.76	92.55%
7	14	CV15 - 17	85.00	500	15.20	468.43	93.69%
8	14	CV15 - 18	84.25	500	15.20	464.29	92.86%
9	14	CV15 - 19	85.50	500	15.20	471.18	94.24%
10	14	CV15 - 20	84.00	500	15.15	465.98	93.20%

Tabla 64. Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 15% de ceniza volante a edad de 28 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'_c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	28	CV15 - 21	105.00	500	15.20	578.65	115.73%
2	28	CV15 - 22	104.00	500	15.18	574.65	114.93%
3	28	CV15 - 23	108.00	500	15.21	594.40	118.88%
4	28	CV15 - 24	106.00	500	15.20	584.16	116.83%
5	28	CV15 - 25	103.00	500	15.17	569.87	113.97%
6	28	CV15 - 26	105.75	500	15.20	582.78	116.56%
7	28	CV15 - 27	104.00	500	15.15	576.92	115.38%
8	28	CV15 - 28	106.00	500	15.16	587.24	117.45%
9	28	CV15 - 29	103.50	500	15.19	571.13	114.23%
10	28	CV15 - 30	106.00	500	15.20	584.16	116.83%

ANEXO 4: ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN**Tabla 65.** Resultados del ensayo a tracción para la muestra patrón con 0% de ceniza volante a edad de 7 días

Fecha de ensayo	Edad (días)	Código	Carga de rotura (KN)	f'c (Kg/cm ²)	Longitud (Cm)	Diámetro (cm)	Resistencia a tracción (Kg/cm ²)
24/08/2018	7	MP-01	245.30	500	30.15	15.20	34.75
24/08/2018	7	MP-02	244.18	500	30.80	15.18	33.90
24/08/2018	7	MP-03	252.15	500	31.20	15.21	34.49
24/08/2018	7	MP-04	243.10	500	31.00	15.17	33.56

Tabla 66. Resultados del ensayo a tracción para la muestra con dosificación de 10 % de ceniza volante a edad de 7 días

Fecha de ensayo	Edad (días)	Código	Carga de rotura (KN)	f'c (Kg/cm ²)	Longitud (Cm)	Diámetro (cm)	Resistencia a tracción (Kg/cm ²)
24/08/2018	7	CV10 - 01	253.31	500	31.40	15.15	34.57
24/08/2018	7	CV10 - 02	274.15	500	31.50	15.17	37.24
24/08/2018	7	CV10 - 03	262.43	500	30.90	15.23	36.20
24/08/2018	7	CV10 - 04	270.10	500	31.70	15.18	36.44

Tabla 67. Resultados del ensayo a tracción para la muestra con dosificación de 12 % de ceniza volante a edad de 7 días

Fecha de ensayo	Edad (días)	Código	Carga de rotura (KN)	f'c (Kg/cm ²)	Longitud (Cm)	Diámetro (cm)	Resistencia a tracción (Kg/cm ²)
24/08/2018	7	CV12 - 01	281.20	500	32.00	15.22	37.48
24/08/2018	7	CV12 - 02	276.30	500	31.80	15.20	37.11
24/08/2018	7	CV12 - 03	301.11	500	31.90	15.19	40.34
24/08/2018	7	CV12 - 04	310.75	500	32.00	15.20	41.47

Tabla 68. Resultados del ensayo a tracción para la muestra con dosificación de 15 % de ceniza volante a edad de 7 días

Fecha de ensayo	Edad (días)	Código	Carga de rotura (KN)	f'c (Kg/cm ²)	Longitud (Cm)	Diámetro (cm)	Resistencia a tracción (Kg/cm ²)
24/08/2018	7	CV15 - 01	281.20	500	32.00	15.22	37.48
24/08/2018	7	CV15 - 02	276.30	500	31.80	15.20	37.11
24/08/2018	7	CV15 - 03	301.11	500	31.90	15.19	40.34
24/08/2018	7	CV15 - 04	310.75	500	32.00	15.20	41.47

ANEXO 5: ENSAYO DE ABSORCIÓN EN EL CONCRETO**Tabla 69.** Resultados del ensayo de absorción para la muestra patrón con 0% de ceniza volante a edad de 7 días

Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
W _{sss} (g)	12500	12550	12450.000
W _o (g)	12010	11990	11972
Abs (%)	4.080	4.671	3.993
Absorción Promedio	4.25 %		

Tabla 70. Resultados del ensayo de absorción para la muestra con 10% de ceniza volante a edad de 7 días

Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
W _{sss} (g)	12350	12330	12360
W _o (g)	11934	11959	11932
Abs (%)	3.486	3.102	3.587
Absorción Promedio	3.39 %		

Tabla 71. Resultados del ensayo de absorción para la muestra con 12 % de ceniza volante a edad de 7 días

Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
W _{sss} (g)	12380	13100	12950
W _o (g)	12033	12677	12496
Abs (%)	2.884	3.337	3.633
Absorción Promedio	3.28 %		

Tabla 72. Resultados del ensayo de absorción para la muestra con 15 % de ceniza volante a edad de 7 días

Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
W _{sss} (g)	12100	12650	12720
W _o (g)	11728	12234	12294
Abs (%)	3.172	3.400	3.465
Absorción Promedio	3.35 %		

ANEXO 6: ENSAYO DE POROSIDAD EN EL CONCRETO**Tabla 73.** Resultados de la porosidad en el concreto para la muestra patrón con 0 % de ceniza volante a edad de 7 días

Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
γ_w (Kg/m ³)	995	995	995
V (m ³)	0.00567	0.00563	0.00566
Wsss (g)	12500	12550	12450
Wo (g)	12010	11990	11972
Abs (%)	8.716	10.046	8.520
Absorción Promedio	9.09 %		

Tabla 74. Resultados de la porosidad en el concreto para la muestra con 10 % de ceniza volante a edad de 7 días

Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
γ_w (Kg/m ³)	995	995	995
V (m ³)	0.00544	0.00546	0.00544
Wsss (g)	12350	12330	12360
Wo (g)	11934	11959	11932
Abs (%)	7.71	6.85	7.93
Absorción Promedio	7.50 %		

Tabla 75. Resultados de la porosidad en el concreto para la muestra con 12 % de ceniza volante a edad de 7 días

Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
γ_w (Kg/m ³)	995	995	995
V (m ³)	0.00544	0.00544	0.00544
Wsss (g)	12380	13100	12950
Wo (g)	12033	12677	12496
Abs (%)	6.43	7.84	8.42
Absorción Promedio	7.56 %		

Tabla 76. Resultados de la porosidad en el concreto para la muestra con 15 % de ceniza volante a edad de 7 días

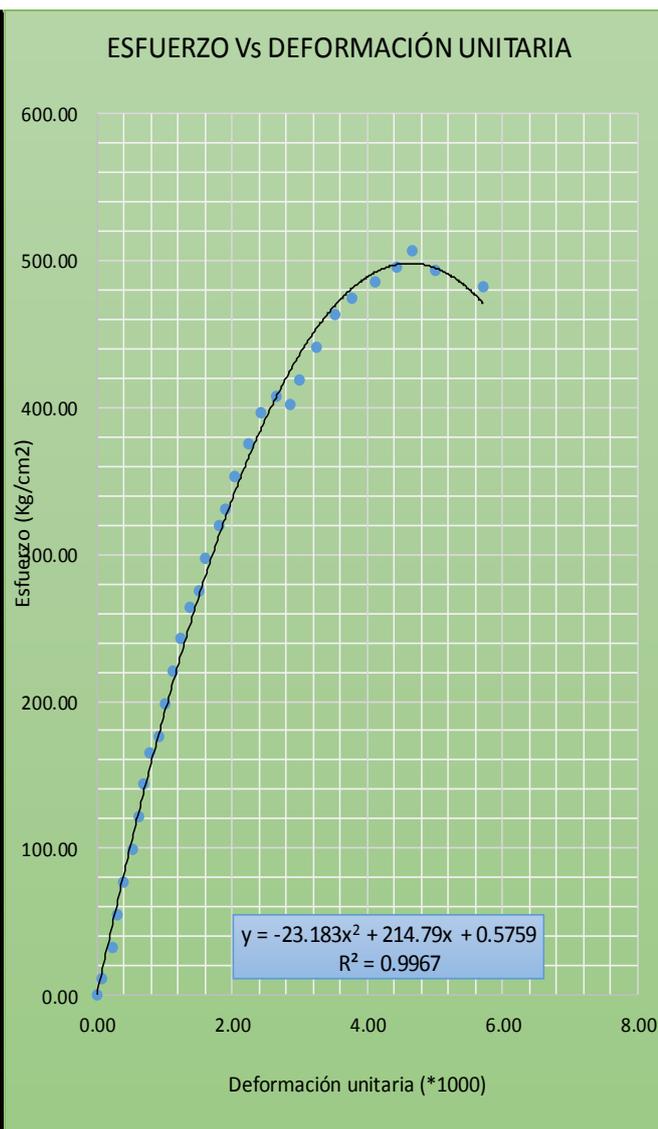
Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
γ_w (Kg/m ³)	995	995	995
V (m ³)	0.00546	0.00546	0.00546
Wsss (g)	12100	12650	12720
Wo (g)	11728	12234	12294
Abs (%)	6.87	7.69	7.87
Absorción Promedio	7.48 %		

ANEXO 7: DIAGRAMAS DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : MP - 21
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.02	0.07	11.02
6.00	0.07	0.23	33.07
10.00	0.09	0.30	55.11
14.00	0.12	0.39	77.15
18.00	0.16	0.53	99.20
22.00	0.19	0.63	121.24
26.00	0.21	0.69	143.28
30.00	0.24	0.79	165.33
32.00	0.28	0.92	176.35
36.00	0.31	1.02	198.39
40.00	0.34	1.12	220.44
44.00	0.38	1.25	242.48
48.00	0.42	1.38	264.52
50.00	0.46	1.51	275.55
54.00	0.49	1.61	297.59
58.00	0.55	1.81	319.63
60.00	0.58	1.91	330.65
64.00	0.62	2.04	352.70
68.00	0.68	2.24	374.74
72.00	0.74	2.43	396.79
74.00	0.81	2.66	407.81
73.00	0.87	2.86	402.30
76.00	0.91	2.99	418.83
80.00	0.99	3.26	440.87
84.00	1.07	3.52	462.92
86.00	1.15	3.78	473.94
88.00	1.25	4.11	484.96
90.00	1.35	4.44	495.98
92.00	1.42	4.67	507.00
89.50	1.52	5.00	493.23
87.50	1.74	5.72	482.20

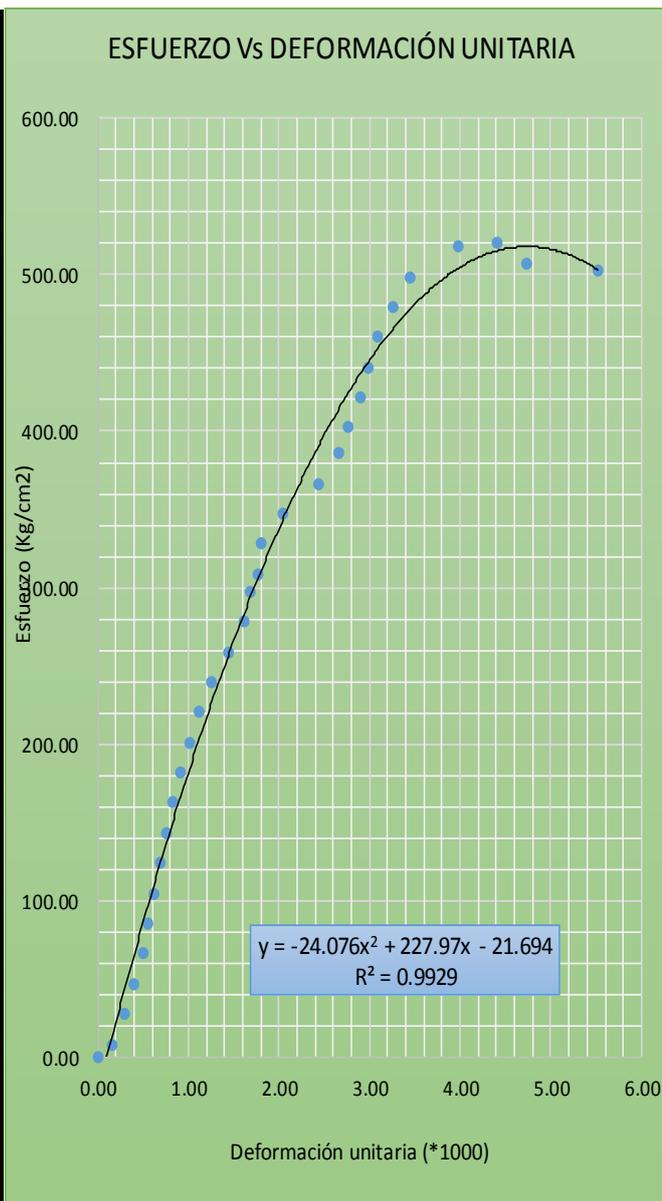


ESFUERZO DE ROTURA = 507.00 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 498.05 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 334756.26 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : MP - 22
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.05	0.16	8.27
5.00	0.09	0.30	27.55
8.50	0.12	0.39	46.84
12.00	0.15	0.49	66.13
15.50	0.17	0.56	85.42
19.00	0.19	0.63	104.71
22.50	0.21	0.69	124.00
26.00	0.23	0.76	143.28
29.50	0.25	0.82	162.57
33.00	0.28	0.92	181.86
36.50	0.31	1.02	201.15
40.00	0.34	1.12	220.44
43.50	0.38	1.25	239.72
47.00	0.44	1.45	259.01
50.50	0.49	1.61	278.30
54.00	0.51	1.68	297.59
56.00	0.54	1.78	308.61
59.50	0.55	1.81	327.90
63.00	0.62	2.04	347.19
66.50	0.74	2.43	366.48
70.00	0.81	2.66	385.76
73.00	0.84	2.76	402.30
76.50	0.88	2.89	421.58
80.00	0.91	2.99	440.87
83.50	0.94	3.09	460.16
87.00	0.99	3.26	479.45
90.50	1.05	3.45	498.74
94.00	1.21	3.98	518.03
94.50	1.34	4.41	520.78
92.00	1.44	4.74	507.00
91.25	1.68	5.53	502.87

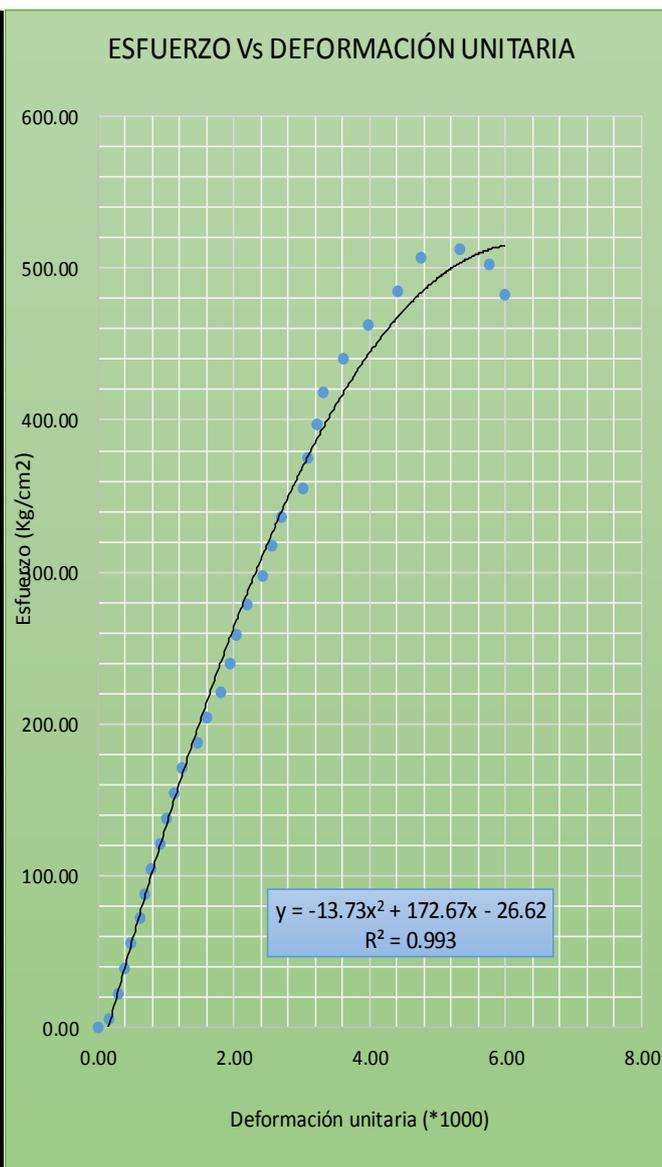


ESFUERZO DE ROTURA = 520.78 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 516.68 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 340957.99 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : MP - 23
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.05	0.16	5.51
4.00	0.09	0.30	22.04
7.00	0.12	0.39	38.58
10.00	0.15	0.49	55.11
13.00	0.19	0.63	71.64
16.00	0.21	0.69	88.17
19.00	0.24	0.79	104.71
22.00	0.28	0.92	121.24
25.00	0.31	1.02	137.77
28.00	0.34	1.12	154.31
31.00	0.38	1.25	170.84
34.00	0.45	1.48	187.37
37.00	0.49	1.61	203.90
40.00	0.55	1.81	220.44
43.50	0.59	1.94	239.72
47.00	0.62	2.04	259.01
50.50	0.67	2.20	278.30
54.00	0.74	2.43	297.59
57.50	0.78	2.57	316.88
61.00	0.82	2.70	336.17
64.50	0.92	3.03	355.45
68.00	0.94	3.09	374.74
72.00	0.98	3.22	396.79
76.00	1.01	3.32	418.83
80.00	1.10	3.62	440.87
84.00	1.21	3.98	462.92
88.00	1.34	4.41	484.96
92.00	1.45	4.77	507.00
93.00	1.62	5.33	512.51
91.25	1.75	5.76	502.87
87.50	1.82	5.99	482.20

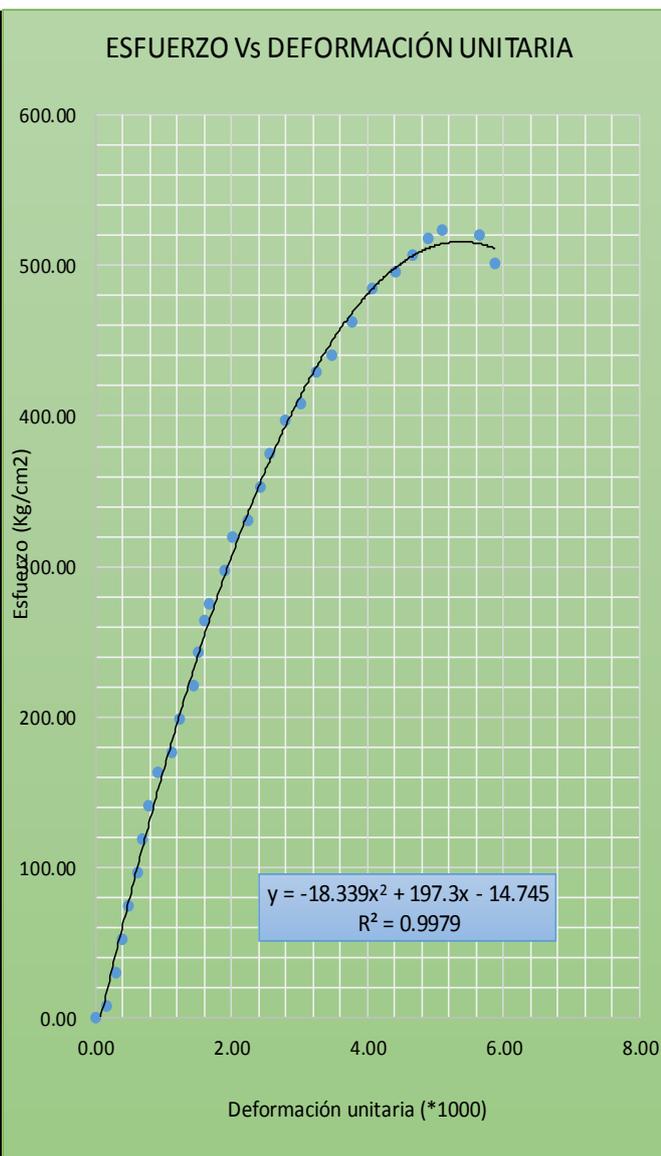


ESFUERZO DE ROTURA = 512.51 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 507.41 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 337885.10 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : MP - 24
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.05	0.16	8.27
5.50	0.09	0.30	30.31
9.50	0.12	0.39	52.35
13.50	0.15	0.49	74.40
17.50	0.19	0.63	96.44
21.50	0.21	0.69	118.48
25.50	0.24	0.79	140.53
29.50	0.28	0.92	162.57
32.00	0.34	1.12	176.35
36.00	0.38	1.25	198.39
40.00	0.44	1.45	220.44
44.00	0.46	1.51	242.48
48.00	0.49	1.61	264.52
50.00	0.51	1.68	275.55
54.00	0.58	1.91	297.59
58.00	0.61	2.01	319.63
60.00	0.68	2.24	330.65
64.00	0.74	2.43	352.70
68.00	0.78	2.57	374.74
72.00	0.85	2.80	396.79
74.00	0.92	3.03	407.81
78.00	0.99	3.26	429.85
80.00	1.06	3.49	440.87
84.00	1.15	3.78	462.92
88.00	1.24	4.08	484.96
90.00	1.34	4.41	495.98
92.00	1.42	4.67	507.00
94.00	1.49	4.90	518.03
95.00	1.55	5.10	523.54
94.50	1.72	5.66	520.78
91.00	1.79	5.89	501.49

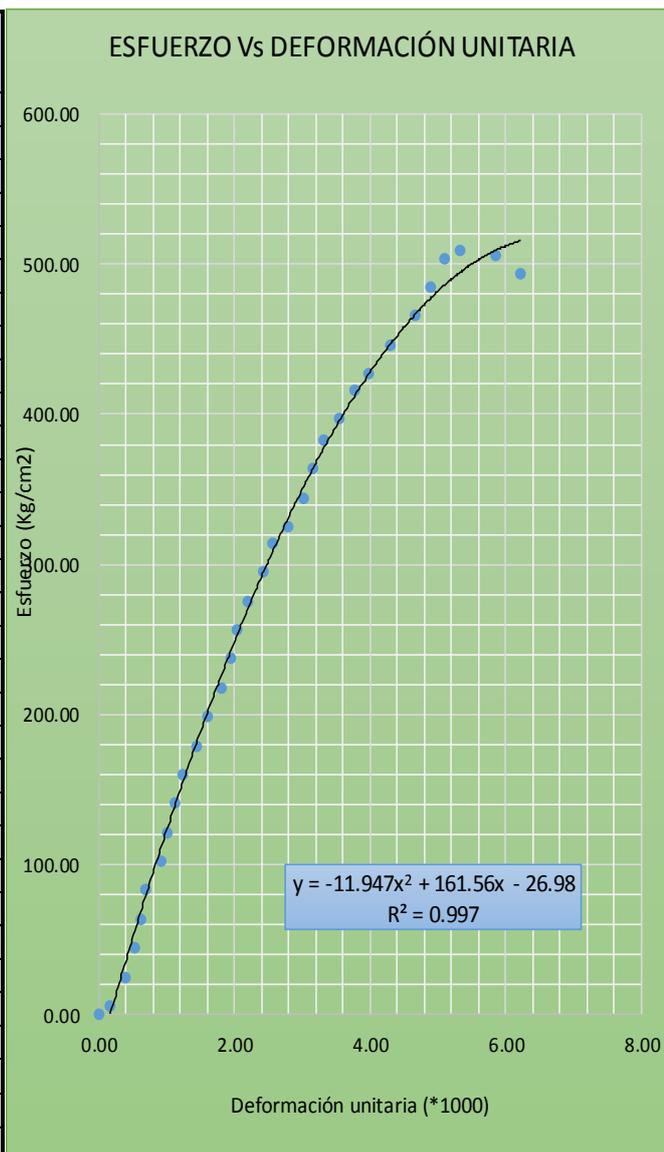


ESFUERZO DE ROTURA = 523.54 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 515.14 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 340451.99 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : MP - 25
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.05	0.16	5.51
4.50	0.12	0.39	24.80
8.00	0.16	0.53	44.09
11.50	0.19	0.63	63.38
15.00	0.21	0.69	82.66
18.50	0.28	0.92	101.95
22.00	0.31	1.02	121.24
25.50	0.34	1.12	140.53
29.00	0.38	1.25	159.82
32.50	0.44	1.45	179.10
36.00	0.49	1.61	198.39
39.50	0.55	1.81	217.68
43.00	0.59	1.94	236.97
46.50	0.62	2.04	256.26
50.00	0.67	2.20	275.55
53.50	0.74	2.43	294.83
57.00	0.78	2.57	314.12
59.00	0.85	2.80	325.14
62.50	0.92	3.03	344.43
66.00	0.96	3.16	363.72
69.50	1.01	3.32	383.01
72.00	1.08	3.55	396.79
75.50	1.15	3.78	416.07
77.50	1.21	3.98	427.10
81.00	1.31	4.31	446.38
84.50	1.42	4.67	465.67
88.00	1.49	4.90	484.96
91.50	1.55	5.10	504.25
92.50	1.62	5.33	509.76
91.75	1.78	5.86	505.63
89.50	1.89	6.22	493.23

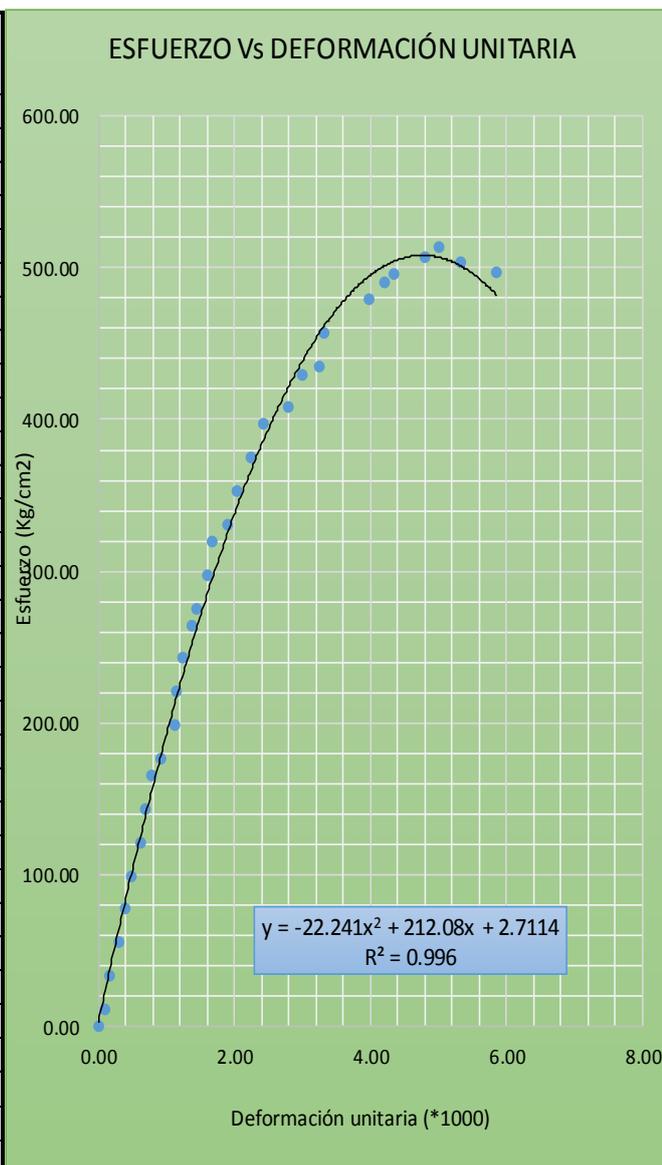


ESFUERZO DE ROTURA = 509.76 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 500.14 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 335458.73 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : MP - 26
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.03	0.10	11.02
6.00	0.05	0.16	33.07
10.00	0.09	0.30	55.11
14.00	0.12	0.39	77.15
18.00	0.15	0.49	99.20
22.00	0.19	0.63	121.24
26.00	0.21	0.69	143.28
30.00	0.24	0.79	165.33
32.00	0.28	0.92	176.35
36.00	0.34	1.12	198.39
40.00	0.35	1.15	220.44
44.00	0.38	1.25	242.48
48.00	0.42	1.38	264.52
50.00	0.44	1.45	275.55
54.00	0.49	1.61	297.59
58.00	0.51	1.68	319.63
60.00	0.58	1.91	330.65
64.00	0.62	2.04	352.70
68.00	0.68	2.24	374.74
72.00	0.74	2.43	396.79
74.00	0.85	2.80	407.81
78.00	0.91	2.99	429.85
79.00	0.99	3.26	435.36
83.00	1.01	3.32	457.41
87.00	1.21	3.98	479.45
89.00	1.28	4.21	490.47
90.00	1.32	4.34	495.98
92.00	1.46	4.80	507.00
93.25	1.52	5.00	513.89
91.50	1.62	5.33	504.25
90.25	1.78	5.86	497.36

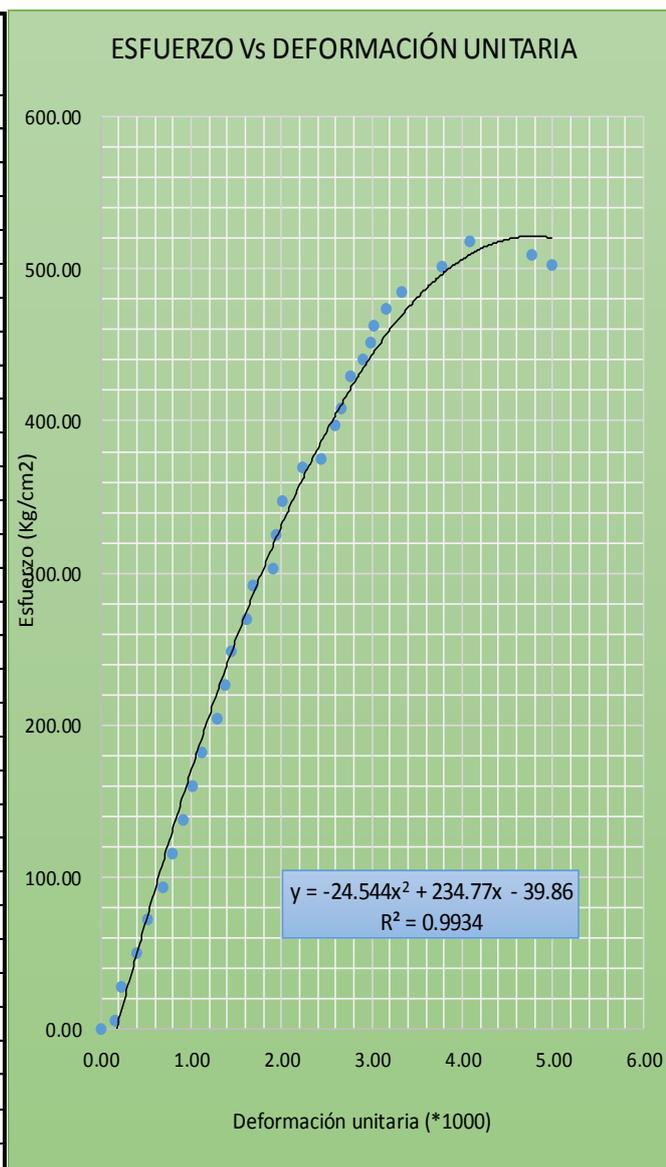


ESFUERZO DE ROTURA = 513.89 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 507.21 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 337821.40 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : MP - 27
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.05	0.16	5.51
5.00	0.07	0.23	27.55
9.00	0.12	0.39	49.60
13.00	0.16	0.53	71.64
17.00	0.21	0.69	93.69
21.00	0.24	0.79	115.73
25.00	0.28	0.92	137.77
29.00	0.31	1.02	159.82
33.00	0.34	1.12	181.86
37.00	0.39	1.28	203.90
41.00	0.42	1.38	225.95
45.00	0.44	1.45	247.99
49.00	0.49	1.61	270.03
53.00	0.51	1.68	292.08
55.00	0.58	1.91	303.10
59.00	0.59	1.94	325.14
63.00	0.61	2.01	347.19
67.00	0.68	2.24	369.23
68.00	0.74	2.43	374.74
72.00	0.79	2.60	396.79
74.00	0.81	2.66	407.81
78.00	0.84	2.76	429.85
80.00	0.88	2.89	440.87
82.00	0.91	2.99	451.89
84.00	0.92	3.03	462.92
86.00	0.96	3.16	473.94
88.00	1.01	3.32	484.96
91.00	1.15	3.78	501.49
94.00	1.24	4.08	518.03
92.50	1.45	4.77	509.76
91.25	1.52	5.00	502.87

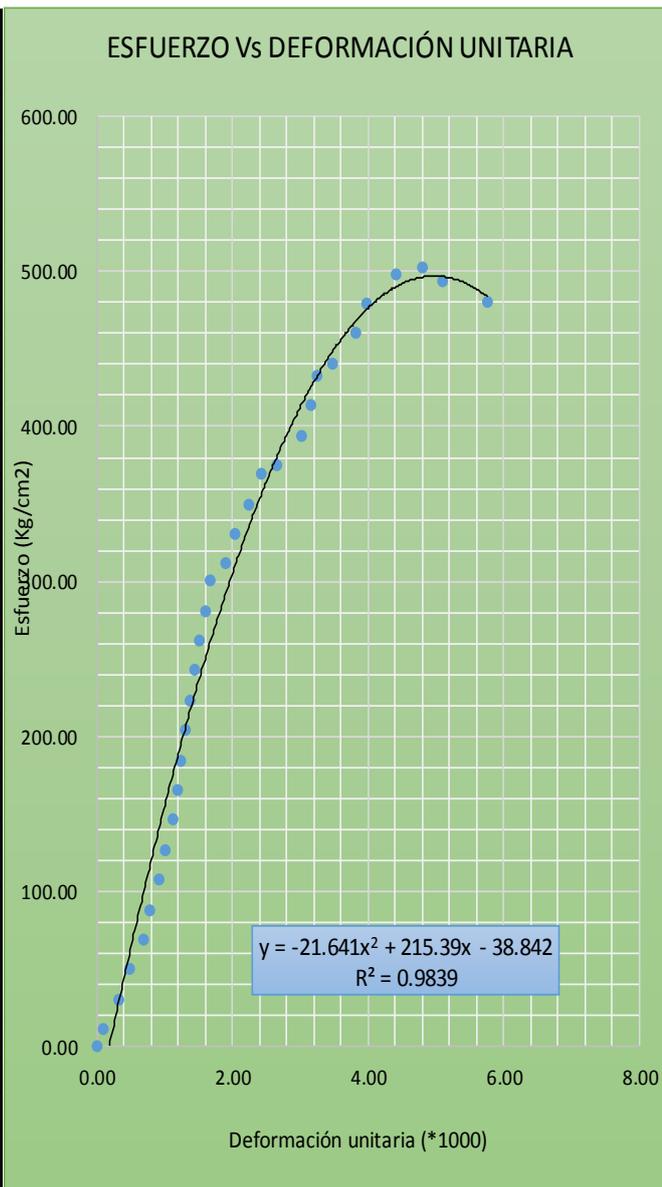


ESFUERZO DE ROTURA = 518.03 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 514.63 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 340283.50 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : MP - 28
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.03	0.10	11.02
5.50	0.10	0.33	30.31
9.00	0.15	0.49	49.60
12.50	0.21	0.69	68.89
16.00	0.24	0.79	88.17
19.50	0.28	0.92	107.46
23.00	0.31	1.02	126.75
26.50	0.34	1.12	146.04
30.00	0.36	1.18	165.33
33.50	0.38	1.25	184.62
37.00	0.40	1.32	203.90
40.50	0.42	1.38	223.19
44.00	0.44	1.45	242.48
47.50	0.46	1.51	261.77
51.00	0.49	1.61	281.06
54.50	0.51	1.68	300.34
56.50	0.58	1.91	311.37
60.00	0.62	2.04	330.65
63.50	0.68	2.24	349.94
67.00	0.74	2.43	369.23
68.00	0.81	2.66	374.74
71.50	0.92	3.03	394.03
75.00	0.96	3.16	413.32
78.50	0.99	3.26	432.61
80.00	1.06	3.49	440.87
83.50	1.16	3.82	460.16
87.00	1.21	3.98	479.45
90.50	1.34	4.41	498.74
91.25	1.46	4.80	502.87
89.50	1.55	5.10	493.23
87.25	1.75	5.76	480.83

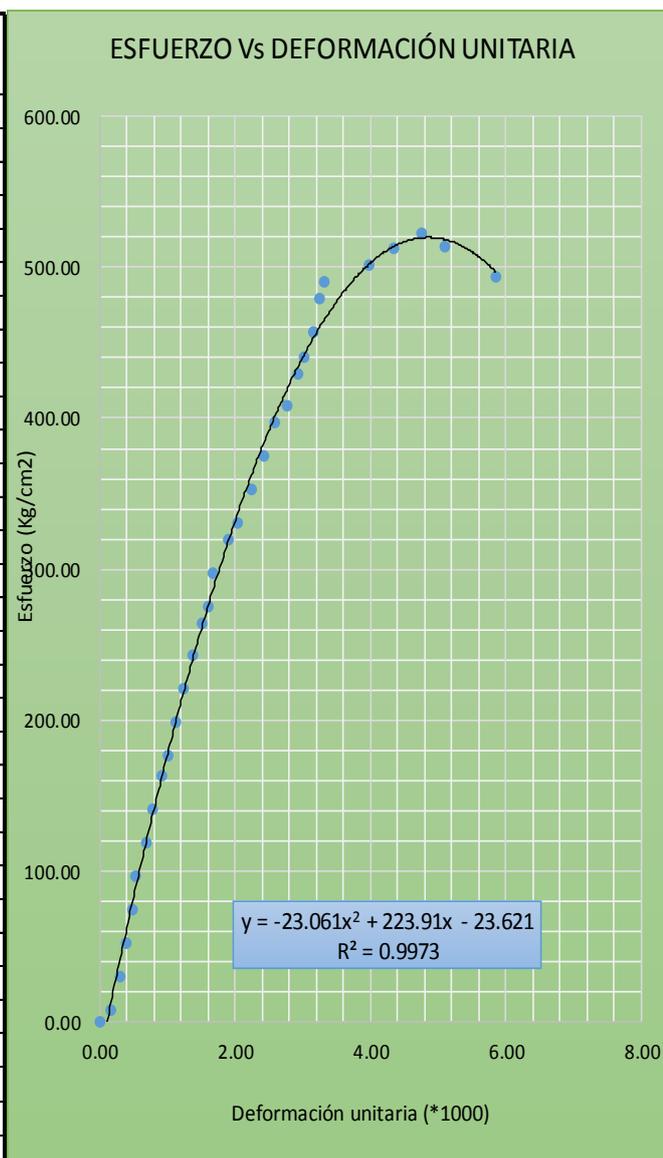


ESFUERZO DE ROTURA = 502.87 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 497.09 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 334433.70 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : MP - 29
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.05	0.16	8.27
5.50	0.09	0.30	30.31
9.50	0.12	0.39	52.35
13.50	0.15	0.49	74.40
17.50	0.16	0.53	96.44
21.50	0.21	0.69	118.48
25.50	0.24	0.79	140.53
29.50	0.28	0.92	162.57
32.00	0.31	1.02	176.35
36.00	0.34	1.12	198.39
40.00	0.38	1.25	220.44
44.00	0.42	1.38	242.48
48.00	0.46	1.51	264.52
50.00	0.49	1.61	275.55
54.00	0.51	1.68	297.59
58.00	0.58	1.91	319.63
60.00	0.62	2.04	330.65
64.00	0.68	2.24	352.70
68.00	0.74	2.43	374.74
72.00	0.79	2.60	396.79
74.00	0.84	2.76	407.81
78.00	0.89	2.93	429.85
80.00	0.92	3.03	440.87
83.00	0.96	3.16	457.41
87.00	0.99	3.26	479.45
89.00	1.01	3.32	490.47
91.00	1.21	3.98	501.49
93.00	1.32	4.34	512.51
94.75	1.45	4.77	522.16
93.25	1.55	5.10	513.89
89.50	1.78	5.86	493.23

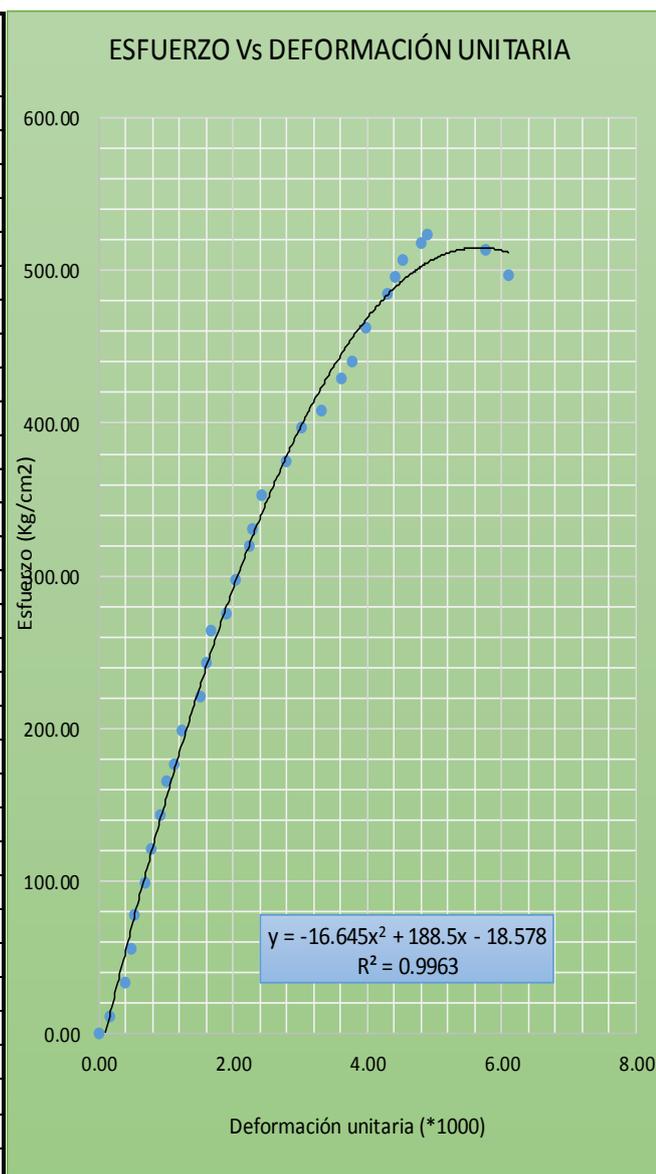


ESFUERZO DE ROTURA = 522.16 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 519.88 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 342013.10 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : MP - 30
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.05	0.16	11.02
6.00	0.12	0.39	33.07
10.00	0.15	0.49	55.11
14.00	0.16	0.53	77.15
18.00	0.21	0.69	99.20
22.00	0.24	0.79	121.24
26.00	0.28	0.92	143.28
30.00	0.31	1.02	165.33
32.00	0.34	1.12	176.35
36.00	0.38	1.25	198.39
40.00	0.46	1.51	220.44
44.00	0.49	1.61	242.48
48.00	0.51	1.68	264.52
50.00	0.58	1.91	275.55
54.00	0.62	2.04	297.59
58.00	0.68	2.24	319.63
60.00	0.70	2.30	330.65
64.00	0.74	2.43	352.70
68.00	0.85	2.80	374.74
72.00	0.92	3.03	396.79
74.00	1.01	3.32	407.81
78.00	1.10	3.62	429.85
80.00	1.15	3.78	440.87
84.00	1.21	3.98	462.92
88.00	1.31	4.31	484.96
90.00	1.34	4.41	495.98
92.00	1.38	4.54	507.00
94.00	1.46	4.80	518.03
95.00	1.49	4.90	523.54
93.25	1.75	5.76	513.89
90.25	1.86	6.12	497.36

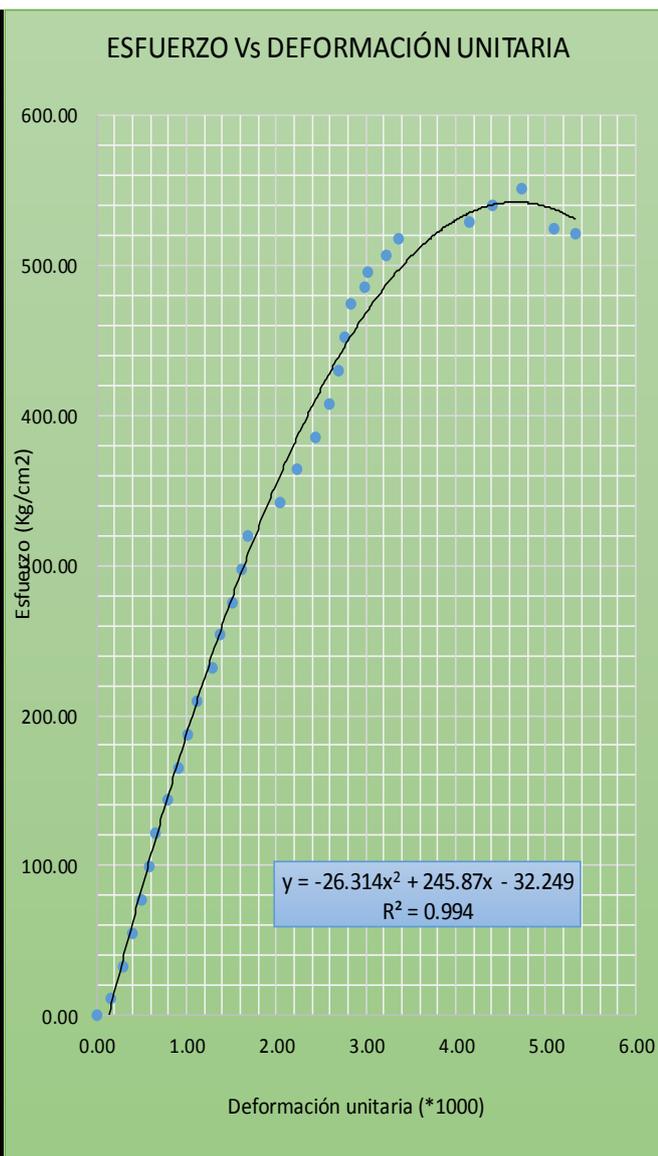


ESFUERZO DE ROTURA = 523.54 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 507.89 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 338045.71 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV10 - 21
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.05	0.16	11.02
6.00	0.09	0.30	33.07
10.00	0.12	0.39	55.11
14.00	0.15	0.49	77.15
18.00	0.18	0.59	99.20
22.00	0.20	0.66	121.24
26.00	0.24	0.79	143.28
30.00	0.28	0.92	165.33
34.00	0.31	1.02	187.37
38.00	0.34	1.12	209.41
42.00	0.39	1.28	231.46
46.00	0.42	1.38	253.50
50.00	0.46	1.51	275.55
54.00	0.49	1.61	297.59
58.00	0.51	1.68	319.63
62.00	0.62	2.04	341.68
66.00	0.68	2.24	363.72
70.00	0.74	2.43	385.76
74.00	0.79	2.60	407.81
78.00	0.82	2.70	429.85
82.00	0.84	2.76	451.89
86.00	0.86	2.83	473.94
88.00	0.91	2.99	484.96
90.00	0.92	3.03	495.98
92.00	0.98	3.22	507.00
94.00	1.02	3.36	518.03
96.00	1.26	4.14	529.05
98.00	1.34	4.41	540.07
100.00	1.44	4.74	551.09
95.25	1.55	5.10	524.91
94.50	1.62	5.33	520.78

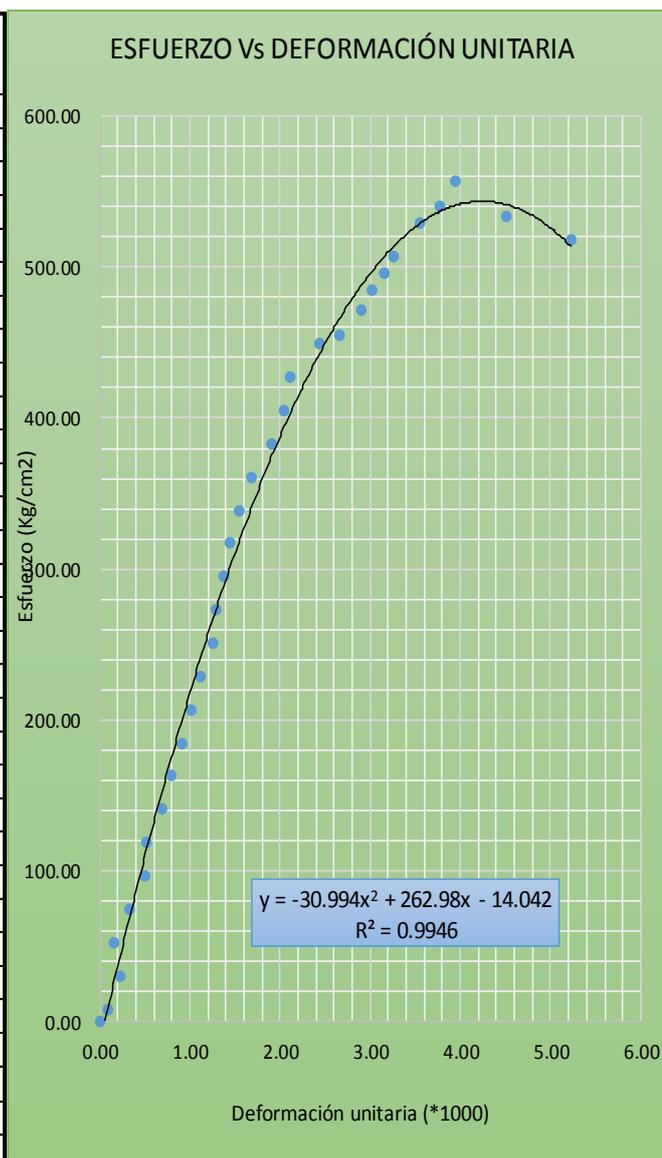


ESFUERZO DE ROTURA = 551.09 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 541.05 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 348908.35 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV10 - 22
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.03	0.10	8.27
5.50	0.07	0.23	30.31
9.50	0.05	0.16	52.35
13.50	0.10	0.33	74.40
17.50	0.15	0.49	96.44
21.50	0.16	0.53	118.48
25.50	0.21	0.69	140.53
29.50	0.24	0.79	162.57
33.50	0.28	0.92	184.62
37.50	0.31	1.02	206.66
41.50	0.34	1.12	228.70
45.50	0.38	1.25	250.75
49.50	0.39	1.28	272.79
53.50	0.42	1.38	294.83
57.50	0.44	1.45	316.88
61.50	0.47	1.55	338.92
65.50	0.51	1.68	360.96
69.50	0.58	1.91	383.01
73.50	0.62	2.04	405.05
77.50	0.64	2.11	427.10
81.50	0.74	2.43	449.14
82.50	0.81	2.66	454.65
85.50	0.88	2.89	471.18
88.00	0.92	3.03	484.96
90.00	0.96	3.16	495.98
92.00	0.99	3.26	507.00
96.00	1.08	3.55	529.05
98.00	1.15	3.78	540.07
101.00	1.20	3.95	556.60
96.75	1.37	4.51	533.18
94.00	1.59	5.23	518.03

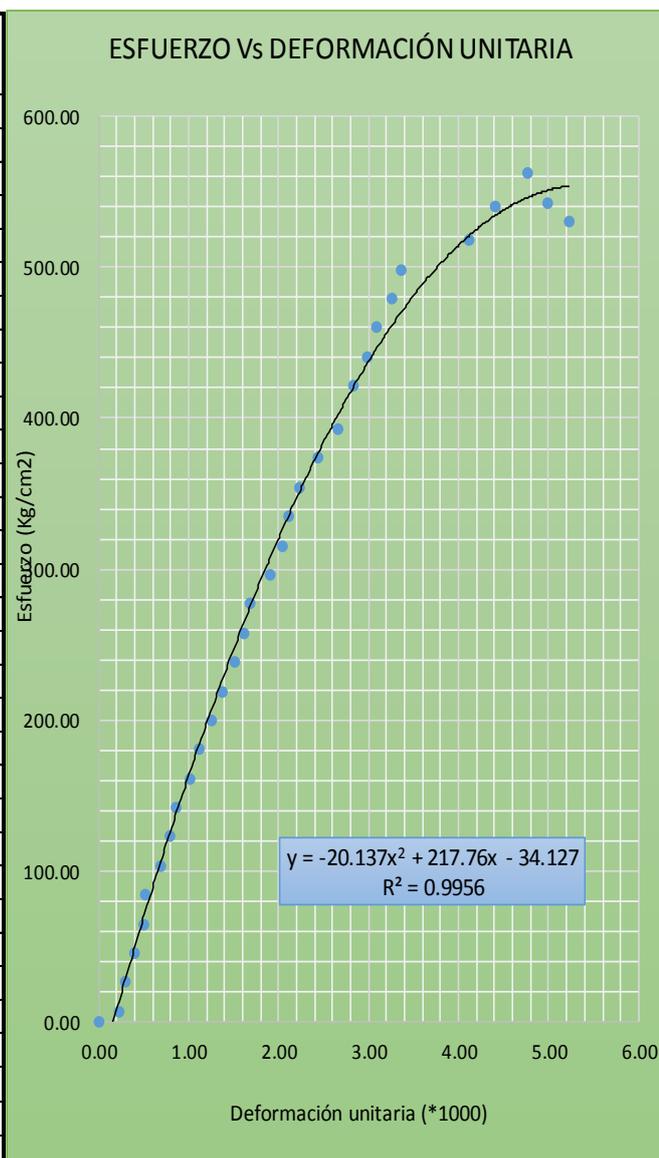


ESFUERZO DE ROTURA = 556.60 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 541.99 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 349210.36 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV10 - 23
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.07	0.23	6.89
4.75	0.09	0.30	26.18
8.25	0.12	0.39	45.46
11.75	0.15	0.49	64.75
15.25	0.16	0.53	84.04
18.75	0.21	0.69	103.33
22.25	0.24	0.79	122.62
25.75	0.26	0.86	141.91
29.25	0.31	1.02	161.19
32.75	0.34	1.12	180.48
36.25	0.38	1.25	199.77
39.75	0.42	1.38	219.06
43.25	0.46	1.51	238.35
46.75	0.49	1.61	257.63
50.25	0.51	1.68	276.92
53.75	0.58	1.91	296.21
57.25	0.62	2.04	315.50
60.75	0.64	2.11	334.79
64.25	0.68	2.24	354.08
67.75	0.74	2.43	373.36
71.25	0.81	2.66	392.65
76.50	0.86	2.83	421.58
80.00	0.91	2.99	440.87
83.50	0.94	3.09	460.16
87.00	0.99	3.26	479.45
90.50	1.02	3.36	498.74
94.00	1.25	4.11	518.03
98.00	1.34	4.41	540.07
102.00	1.45	4.77	562.11
98.50	1.52	5.00	542.82
96.25	1.59	5.23	530.42

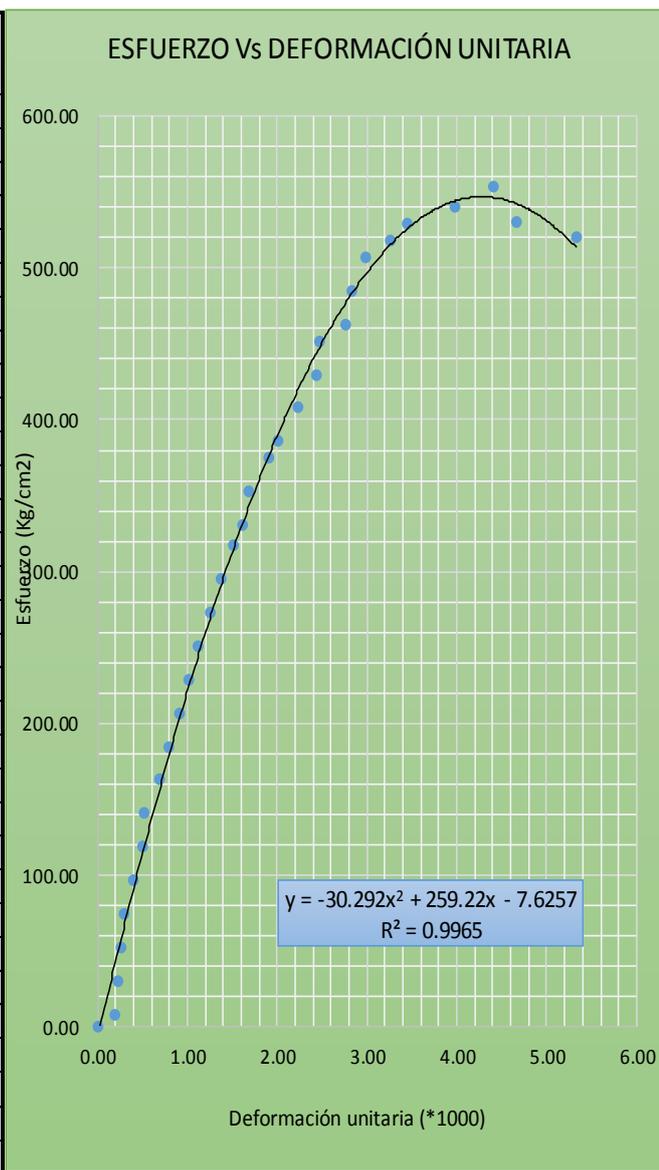


ESFUERZO DE ROTURA = 562.11 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 549.98 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 351774.42 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV10 - 24
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.06	0.20	8.27
5.50	0.07	0.23	30.31
9.50	0.08	0.26	52.35
13.50	0.09	0.30	74.40
17.50	0.12	0.39	96.44
21.50	0.15	0.49	118.48
25.50	0.16	0.53	140.53
29.50	0.21	0.69	162.57
33.50	0.24	0.79	184.62
37.50	0.28	0.92	206.66
41.50	0.31	1.02	228.70
45.50	0.34	1.12	250.75
49.50	0.38	1.25	272.79
53.50	0.42	1.38	294.83
57.50	0.46	1.51	316.88
60.00	0.49	1.61	330.65
64.00	0.51	1.68	352.70
68.00	0.58	1.91	374.74
70.00	0.61	2.01	385.76
74.00	0.68	2.24	407.81
78.00	0.74	2.43	429.85
82.00	0.75	2.47	451.89
84.00	0.84	2.76	462.92
88.00	0.86	2.83	484.96
92.00	0.91	2.99	507.00
94.00	0.99	3.26	518.03
96.00	1.05	3.45	529.05
98.00	1.21	3.98	540.07
100.50	1.34	4.41	553.85
96.25	1.42	4.67	530.42
94.50	1.62	5.33	520.78

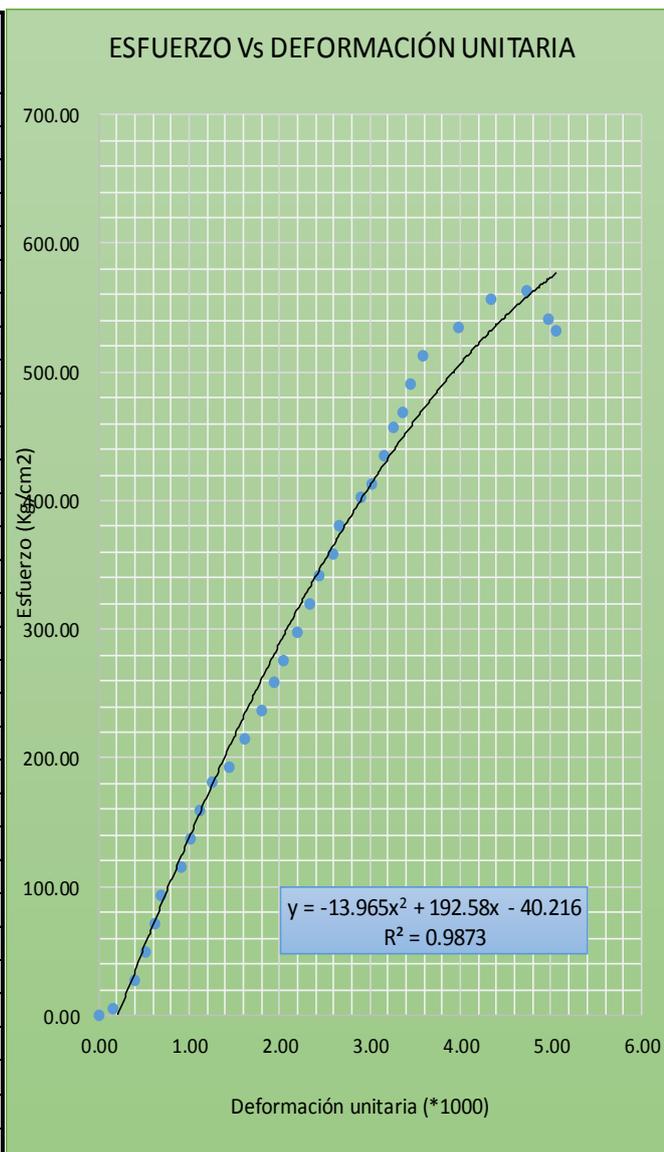


ESFUERZO DE ROTURA = 553.85 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 546.17 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 350554.78 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV10 - 25
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.05	0.16	5.51
5.00	0.12	0.39	27.55
9.00	0.16	0.53	49.60
13.00	0.19	0.63	71.64
17.00	0.21	0.69	93.69
21.00	0.28	0.92	115.73
25.00	0.31	1.02	137.77
29.00	0.34	1.12	159.82
33.00	0.38	1.25	181.86
35.00	0.44	1.45	192.88
39.00	0.49	1.61	214.93
43.00	0.55	1.81	236.97
47.00	0.59	1.94	259.01
50.00	0.62	2.04	275.55
54.00	0.67	2.20	297.59
58.00	0.71	2.34	319.63
62.00	0.74	2.43	341.68
65.00	0.79	2.60	358.21
69.00	0.81	2.66	380.25
73.00	0.88	2.89	402.30
75.00	0.92	3.03	413.32
79.00	0.96	3.16	435.36
83.00	0.99	3.26	457.41
85.00	1.02	3.36	468.43
89.00	1.05	3.45	490.47
93.00	1.09	3.59	512.51
97.00	1.21	3.98	534.56
101.00	1.32	4.34	556.60
102.24	1.44	4.74	563.43
98.25	1.51	4.97	541.45
96.50	1.54	5.07	531.80

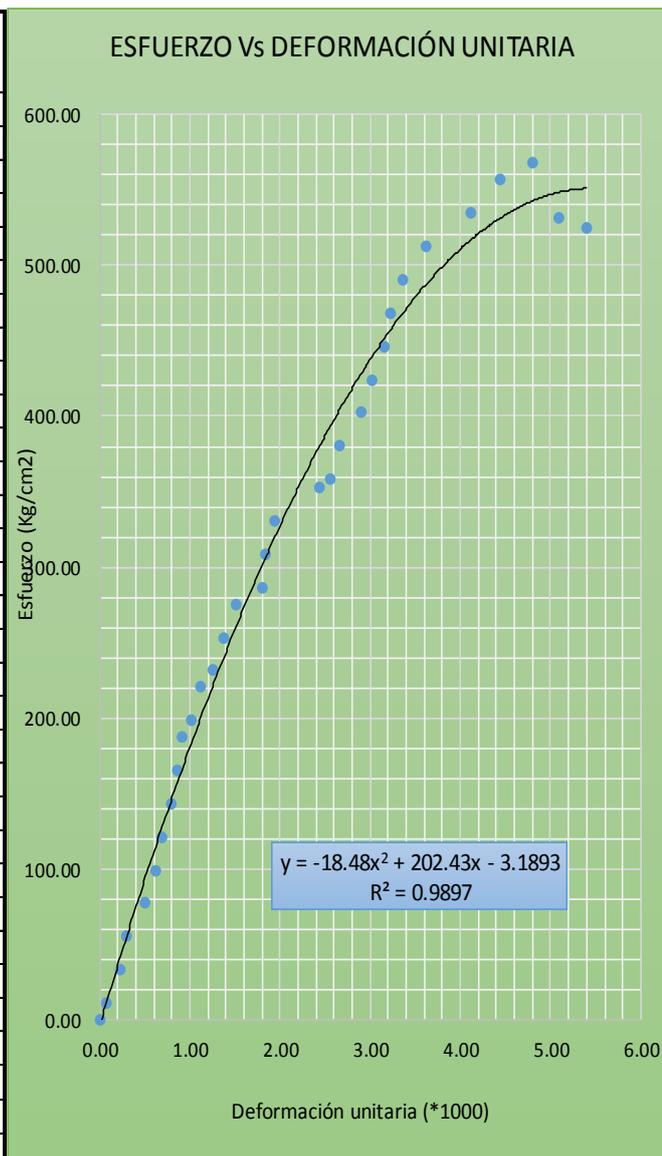


ESFUERZO DE ROTURA = 563.43 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 570.82 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 358377.44 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV10 - 26
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.02	0.07	11.02
6.00	0.07	0.23	33.07
10.00	0.09	0.30	55.11
14.00	0.15	0.49	77.15
18.00	0.19	0.63	99.20
22.00	0.21	0.69	121.24
26.00	0.24	0.79	143.28
30.00	0.26	0.86	165.33
34.00	0.28	0.92	187.37
36.00	0.31	1.02	198.39
40.00	0.34	1.12	220.44
42.00	0.38	1.25	231.46
46.00	0.42	1.38	253.50
50.00	0.46	1.51	275.55
52.00	0.55	1.81	286.57
56.00	0.56	1.84	308.61
60.00	0.59	1.94	330.65
64.00	0.74	2.43	352.70
65.00	0.78	2.57	358.21
69.00	0.81	2.66	380.25
73.00	0.88	2.89	402.30
77.00	0.92	3.03	424.34
81.00	0.96	3.16	446.38
85.00	0.98	3.22	468.43
89.00	1.02	3.36	490.47
93.00	1.10	3.62	512.51
97.00	1.25	4.11	534.56
101.00	1.35	4.44	556.60
103.00	1.46	4.80	567.62
96.50	1.55	5.10	531.80
95.25	1.64	5.39	524.91

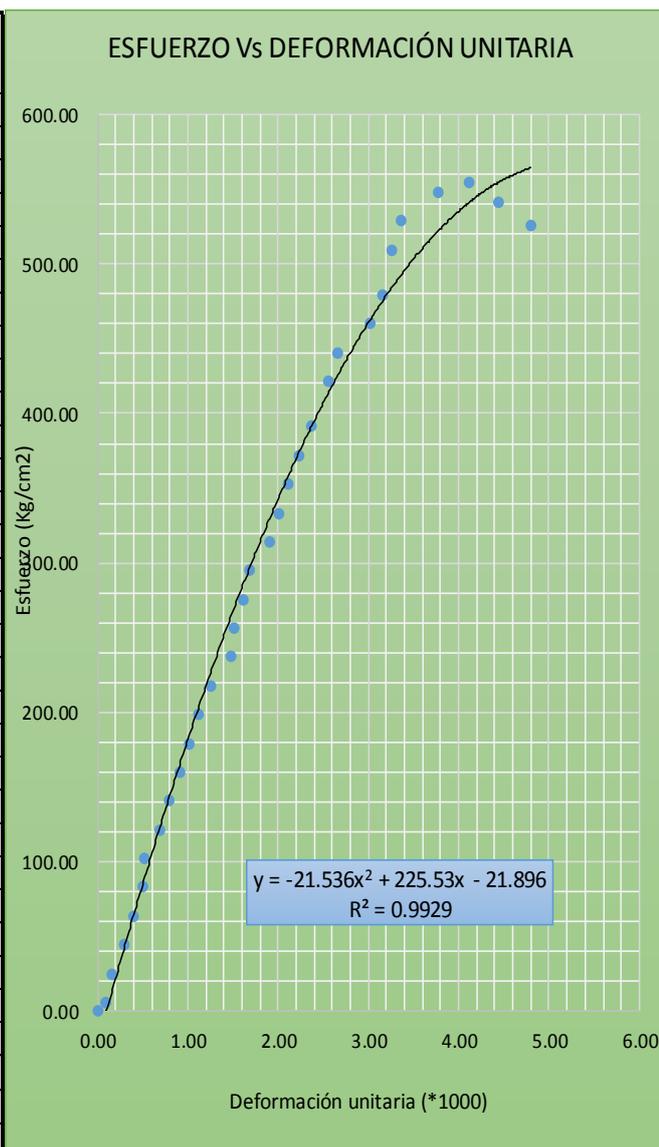


ESFUERZO DE ROTURA = 567.62 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 543.15 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 349583.64 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV10 - 27
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

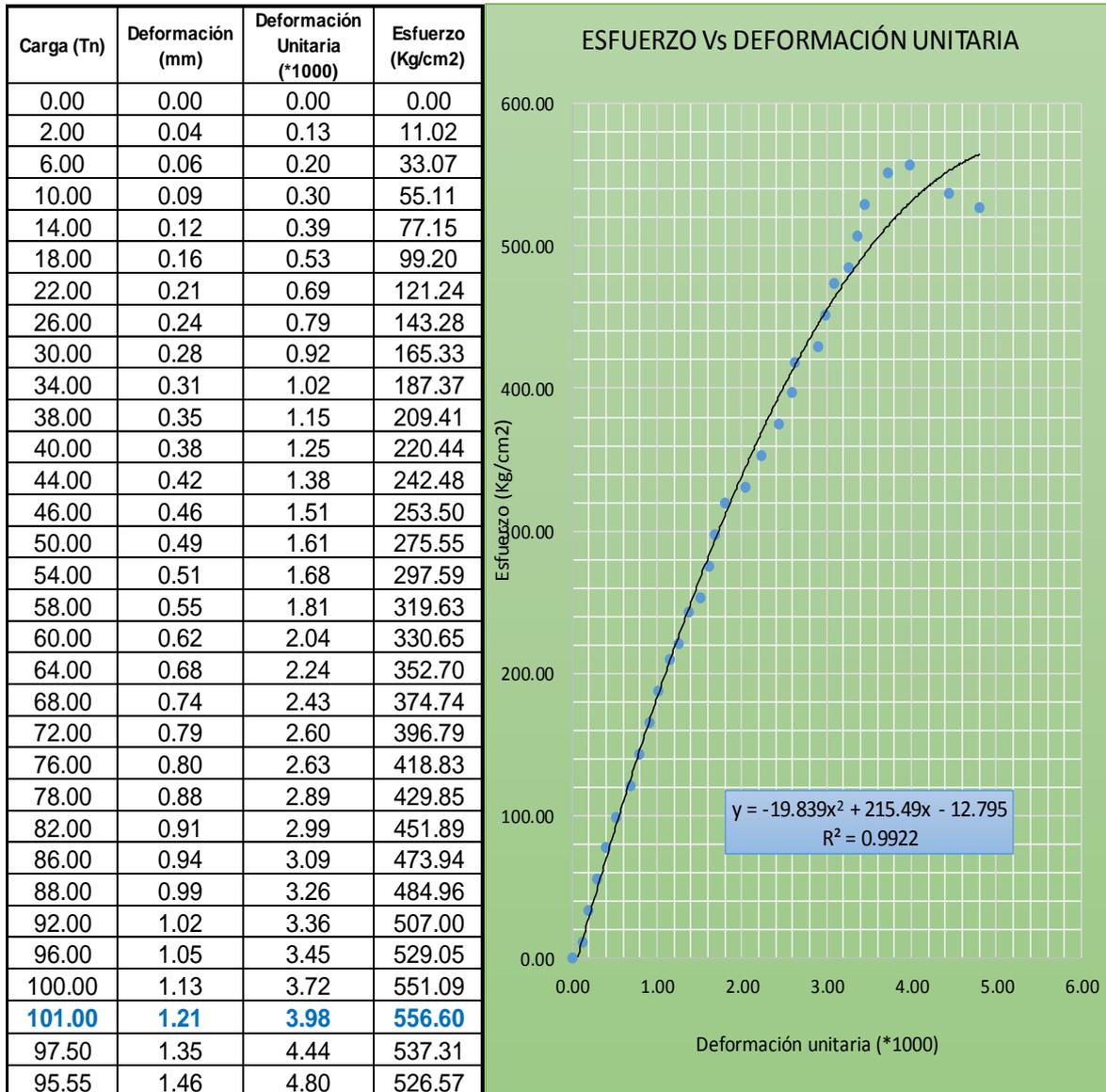
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.03	0.10	5.51
4.50	0.05	0.16	24.80
8.00	0.09	0.30	44.09
11.50	0.12	0.39	63.38
15.00	0.15	0.49	82.66
18.50	0.16	0.53	101.95
22.00	0.21	0.69	121.24
25.50	0.24	0.79	140.53
29.00	0.28	0.92	159.82
32.50	0.31	1.02	179.10
36.00	0.34	1.12	198.39
39.50	0.38	1.25	217.68
43.00	0.45	1.48	236.97
46.50	0.46	1.51	256.26
50.00	0.49	1.61	275.55
53.50	0.51	1.68	294.83
57.00	0.58	1.91	314.12
60.50	0.61	2.01	333.41
64.00	0.64	2.11	352.70
67.50	0.68	2.24	371.99
71.00	0.72	2.37	391.27
76.50	0.78	2.57	421.58
80.00	0.81	2.66	440.87
83.50	0.92	3.03	460.16
87.00	0.96	3.16	479.45
92.50	0.99	3.26	509.76
96.00	1.02	3.36	529.05
99.50	1.15	3.78	548.34
100.75	1.25	4.11	555.22
98.25	1.35	4.44	541.45
95.50	1.46	4.80	526.29



ESFUERZO DE ROTURA = 555.22 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 545.87 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 350458.65 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV10 - 28
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

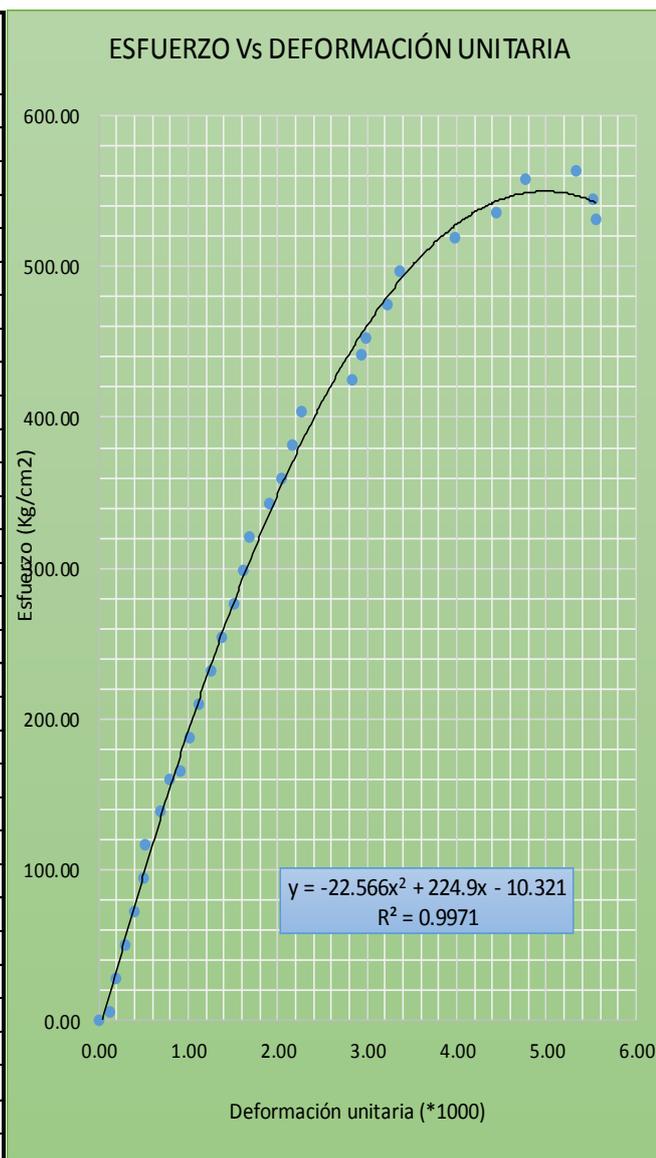


ESFUERZO DE ROTURA = 556.60 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 533.98 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 346619.65 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV10 - 29
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.18
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.04	0.13	5.53
5.00	0.06	0.20	27.63
9.00	0.09	0.30	49.73
13.00	0.12	0.39	71.83
17.00	0.15	0.49	93.93
21.00	0.16	0.53	116.03
25.00	0.21	0.69	138.14
29.00	0.24	0.79	160.24
30.00	0.28	0.92	165.76
34.00	0.31	1.02	187.86
38.00	0.34	1.12	209.97
42.00	0.38	1.25	232.07
46.00	0.42	1.38	254.17
50.00	0.46	1.51	276.27
54.00	0.49	1.61	298.37
58.00	0.51	1.68	320.48
62.00	0.58	1.91	342.58
65.00	0.62	2.04	359.15
69.00	0.66	2.17	381.26
73.00	0.69	2.27	403.36
77.00	0.86	2.83	425.46
80.00	0.89	2.93	442.03
82.00	0.91	2.99	453.09
86.00	0.98	3.22	475.19
90.00	1.02	3.36	497.29
94.00	1.21	3.98	519.39
97.00	1.35	4.44	535.97
101.00	1.45	4.77	558.07
102.00	1.62	5.33	563.59
98.50	1.68	5.53	544.26
96.25	1.69	5.56	531.82

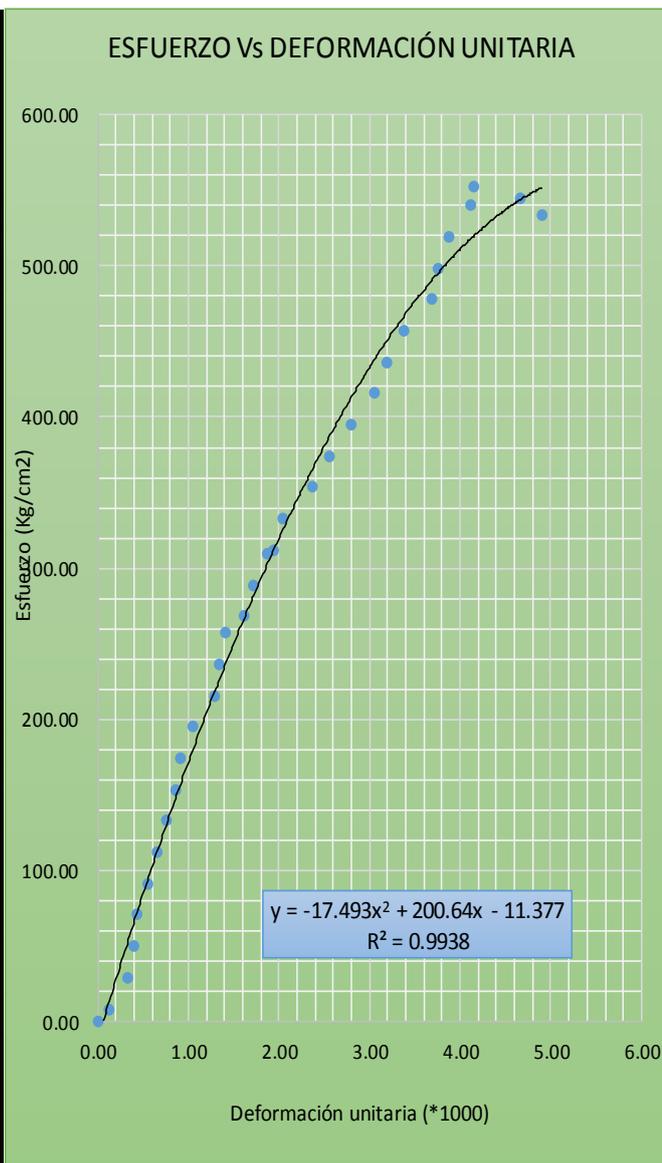


ESFUERZO DE ROTURA = 563.59 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 546.57 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 350682.46 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV10 - 30
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.18
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.04	0.13	8.29
5.25	0.10	0.33	29.01
9.00	0.12	0.39	49.73
12.75	0.13	0.43	70.45
16.50	0.17	0.56	91.17
20.25	0.20	0.66	111.89
24.00	0.23	0.76	132.61
27.75	0.26	0.86	153.33
31.50	0.28	0.92	174.05
35.25	0.32	1.05	194.77
39.00	0.39	1.28	215.49
42.75	0.41	1.35	236.21
46.50	0.43	1.41	256.93
48.50	0.49	1.61	267.98
52.25	0.52	1.71	288.70
56.00	0.57	1.88	309.42
56.50	0.59	1.94	312.19
60.25	0.62	2.04	332.91
64.00	0.72	2.37	353.63
67.75	0.78	2.57	374.35
71.50	0.85	2.80	395.07
75.25	0.93	3.06	415.79
79.00	0.97	3.19	436.51
82.75	1.03	3.39	457.23
86.50	1.12	3.68	477.95
90.25	1.14	3.75	498.67
94.00	1.18	3.88	519.39
97.75	1.25	4.11	540.11
100.00	1.26	4.14	552.54
98.50	1.42	4.67	544.26
96.50	1.49	4.90	533.20

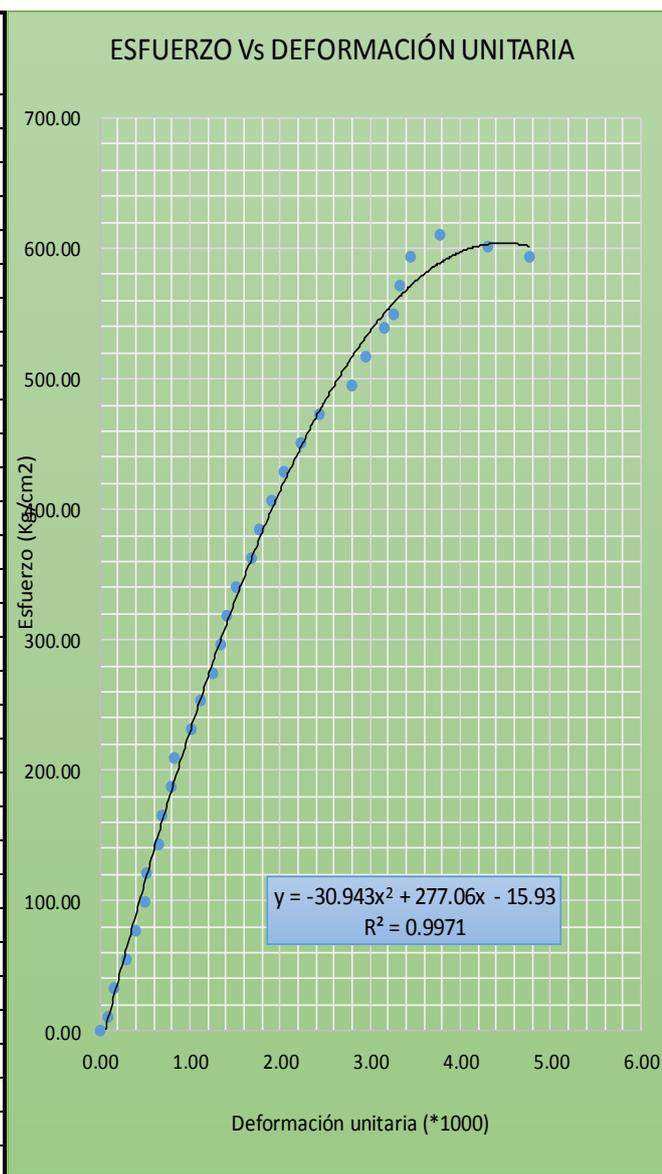


ESFUERZO DE ROTURA = 552.54 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 522.83 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 342981.15 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV12 - 21
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.22
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.03	0.10	10.99
6.00	0.05	0.16	32.98
10.00	0.09	0.30	54.96
14.00	0.12	0.39	76.95
18.00	0.15	0.49	98.94
22.00	0.16	0.53	120.92
26.00	0.20	0.66	142.91
30.00	0.21	0.69	164.89
34.00	0.24	0.79	186.88
38.00	0.25	0.82	208.86
42.00	0.31	1.02	230.85
46.00	0.34	1.12	252.84
50.00	0.38	1.25	274.82
54.00	0.41	1.35	296.81
58.00	0.43	1.41	318.79
62.00	0.46	1.51	340.78
66.00	0.51	1.68	362.76
70.00	0.54	1.78	384.75
74.00	0.58	1.91	406.74
78.00	0.62	2.04	428.72
82.00	0.68	2.24	450.71
86.00	0.74	2.43	472.69
90.00	0.85	2.80	494.68
94.00	0.90	2.96	516.66
98.00	0.96	3.16	538.65
100.00	0.99	3.26	549.64
104.00	1.01	3.32	571.63
108.00	1.05	3.45	593.61
111.00	1.15	3.78	610.10
109.50	1.31	4.31	601.86
108.00	1.45	4.77	593.61

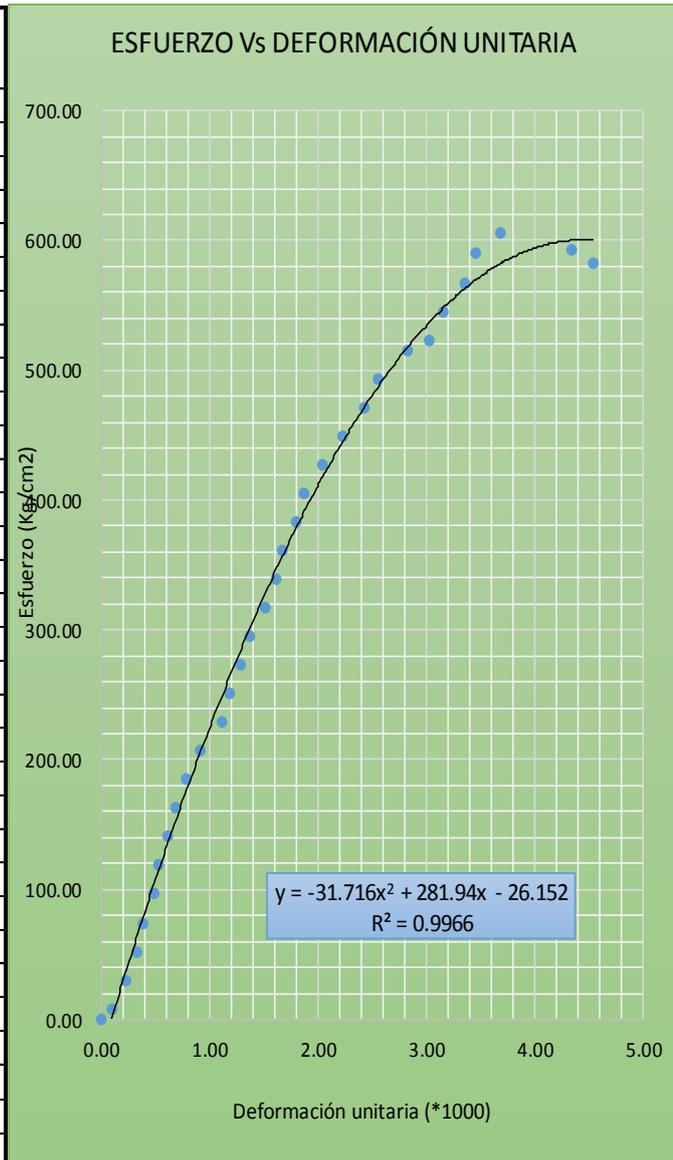


ESFUERZO DE ROTURA = 610.10 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 591.74 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 364884.81 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV12 - 22
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.03	0.10	8.27
5.50	0.07	0.23	30.31
9.50	0.10	0.33	52.35
13.50	0.12	0.39	74.40
17.50	0.15	0.49	96.44
21.50	0.16	0.53	118.48
25.50	0.19	0.63	140.53
29.50	0.21	0.69	162.57
33.50	0.24	0.79	184.62
37.50	0.28	0.92	206.66
41.50	0.34	1.12	228.70
45.50	0.36	1.18	250.75
49.50	0.39	1.28	272.79
53.50	0.42	1.38	294.83
57.50	0.46	1.51	316.88
61.50	0.49	1.61	338.92
65.50	0.51	1.68	360.96
69.50	0.55	1.81	383.01
73.50	0.57	1.88	405.05
77.50	0.62	2.04	427.10
81.50	0.68	2.24	449.14
85.50	0.74	2.43	471.18
89.50	0.78	2.57	493.23
93.50	0.86	2.83	515.27
95.00	0.92	3.03	523.54
99.00	0.96	3.16	545.58
103.00	1.02	3.36	567.62
107.00	1.05	3.45	589.67
110.00	1.12	3.68	606.20
107.50	1.32	4.34	592.42
105.75	1.38	4.54	582.78

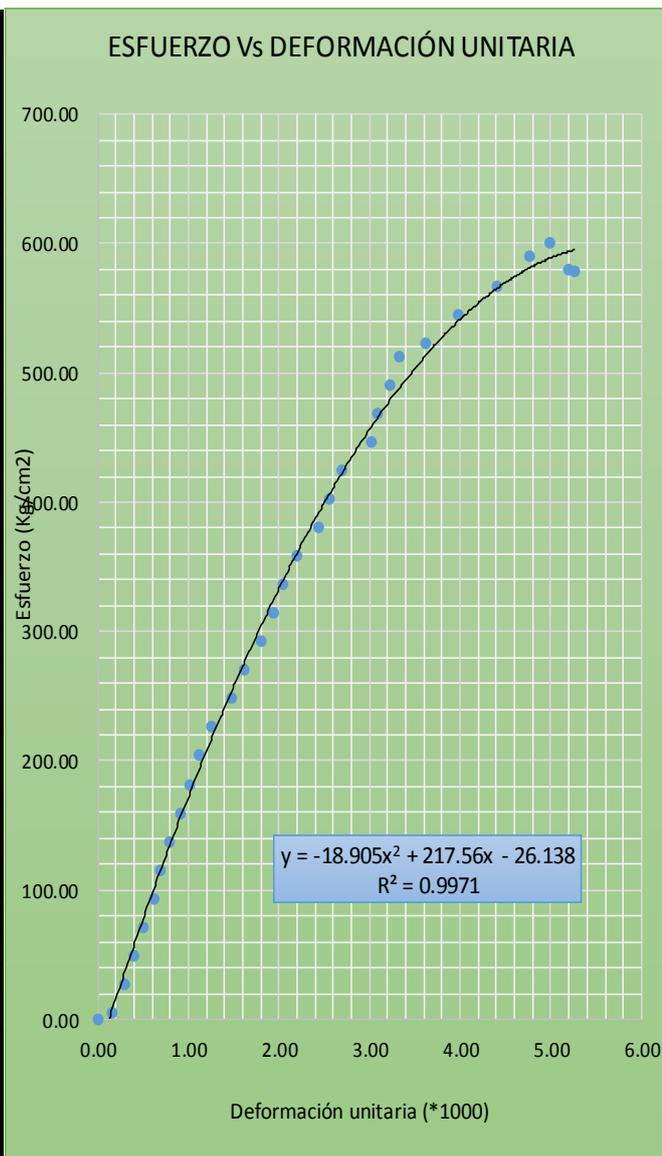


ESFUERZO DE ROTURA = 606.20 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 586.32 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 363211.92 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV12 - 23
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.05	0.16	5.51
5.00	0.09	0.30	27.55
9.00	0.12	0.39	49.60
13.00	0.15	0.49	71.64
17.00	0.19	0.63	93.69
21.00	0.21	0.69	115.73
25.00	0.24	0.79	137.77
29.00	0.28	0.92	159.82
33.00	0.31	1.02	181.86
37.00	0.34	1.12	203.90
41.00	0.38	1.25	225.95
45.00	0.45	1.48	247.99
49.00	0.49	1.61	270.03
53.00	0.55	1.81	292.08
57.00	0.59	1.94	314.12
61.00	0.62	2.04	336.17
65.00	0.67	2.20	358.21
69.00	0.74	2.43	380.25
73.00	0.78	2.57	402.30
77.00	0.82	2.70	424.34
81.00	0.92	3.03	446.38
85.00	0.94	3.09	468.43
89.00	0.98	3.22	490.47
93.00	1.01	3.32	512.51
95.00	1.10	3.62	523.54
99.00	1.21	3.98	545.58
103.00	1.34	4.41	567.62
107.00	1.45	4.77	589.67
109.00	1.52	5.00	600.69
105.25	1.58	5.20	580.02
105.00	1.60	5.26	578.65

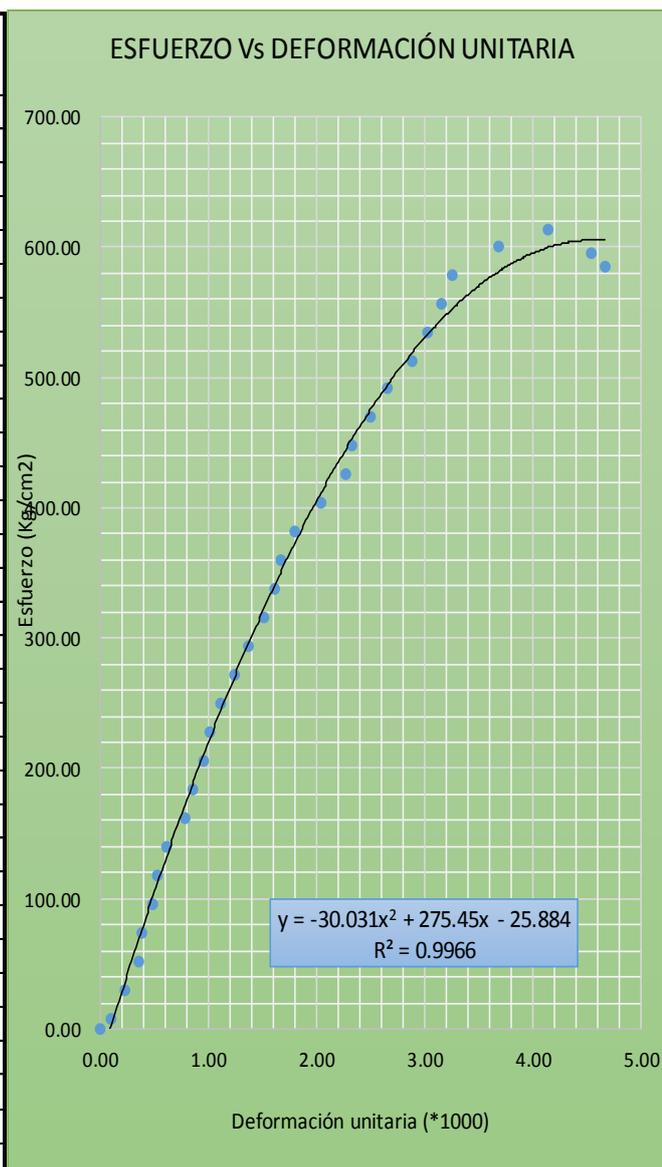


ESFUERZO DE ROTURA = 600.69 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 592.22 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 365033.57 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV12 - 24
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.23
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.03	0.10	8.23
5.50	0.07	0.23	30.19
9.50	0.11	0.36	52.15
13.50	0.12	0.39	74.10
17.50	0.15	0.49	96.06
21.50	0.16	0.53	118.02
25.50	0.19	0.63	139.98
29.50	0.24	0.79	161.93
33.50	0.26	0.86	183.89
37.50	0.29	0.95	205.85
41.50	0.31	1.02	227.80
45.50	0.34	1.12	249.76
49.50	0.38	1.25	271.72
53.50	0.42	1.38	293.67
57.50	0.46	1.51	315.63
61.50	0.49	1.61	337.59
65.50	0.51	1.68	359.54
69.50	0.55	1.81	381.50
73.50	0.62	2.04	403.46
77.50	0.69	2.27	425.41
81.50	0.71	2.34	447.37
85.50	0.76	2.50	469.33
89.50	0.81	2.66	491.28
93.50	0.88	2.89	513.24
97.50	0.92	3.03	535.20
101.50	0.96	3.16	557.16
105.50	0.99	3.26	579.11
109.50	1.12	3.68	601.07
111.75	1.26	4.14	613.42
108.50	1.38	4.54	595.58
106.50	1.42	4.67	584.60

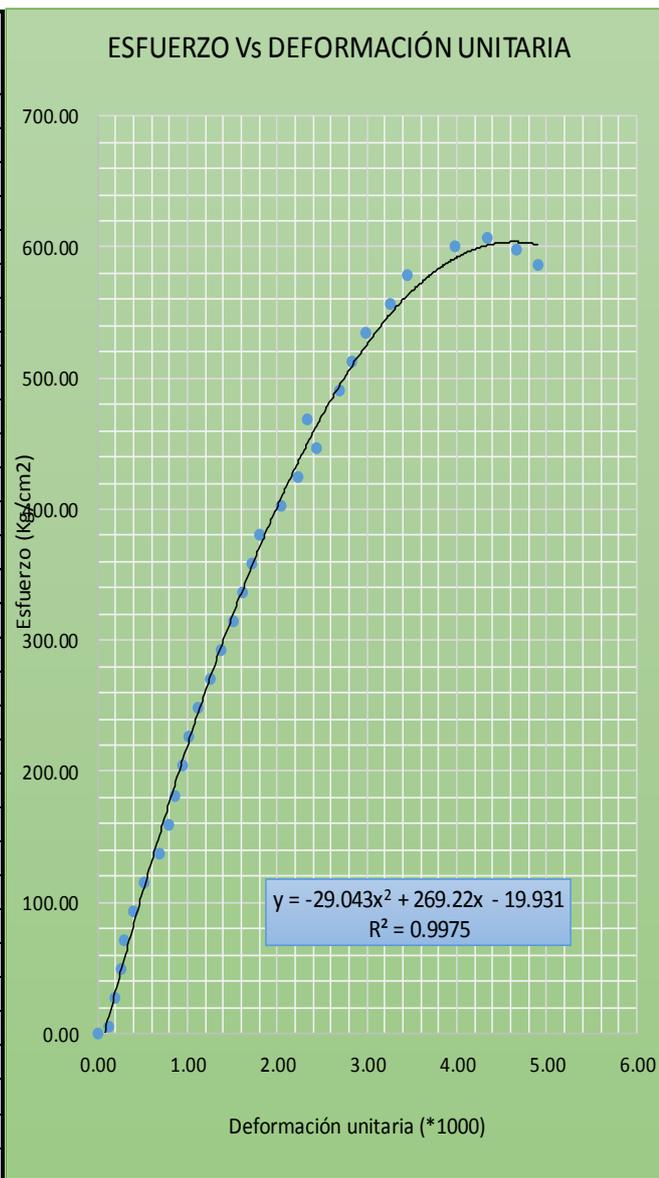


ESFUERZO DE ROTURA = 613.42 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 602.13 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 368075.75 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV12 - 25
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.04	0.13	5.51
5.00	0.06	0.20	27.55
9.00	0.08	0.26	49.60
13.00	0.09	0.30	71.64
17.00	0.12	0.39	93.69
21.00	0.16	0.53	115.73
25.00	0.21	0.69	137.77
29.00	0.24	0.79	159.82
33.00	0.26	0.86	181.86
37.00	0.29	0.95	203.90
41.00	0.31	1.02	225.95
45.00	0.34	1.12	247.99
49.00	0.38	1.25	270.03
53.00	0.42	1.38	292.08
57.00	0.46	1.51	314.12
61.00	0.49	1.61	336.17
65.00	0.52	1.71	358.21
69.00	0.55	1.81	380.25
73.00	0.62	2.04	402.30
77.00	0.68	2.24	424.34
81.00	0.74	2.43	446.38
85.00	0.71	2.34	468.43
89.00	0.82	2.70	490.47
93.00	0.86	2.83	512.51
97.00	0.91	2.99	534.56
101.00	0.99	3.26	556.60
105.00	1.05	3.45	578.65
109.00	1.21	3.98	600.69
110.25	1.32	4.34	607.58
108.50	1.42	4.67	597.93
106.50	1.49	4.90	586.91

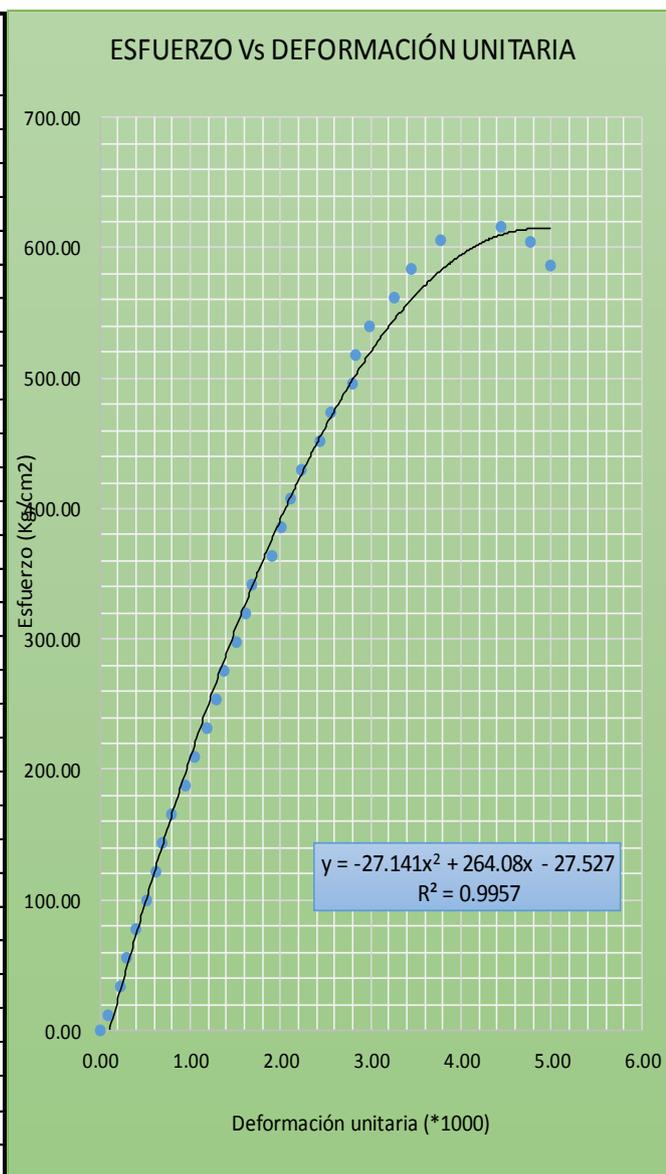


ESFUERZO DE ROTURA = 607.58 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 602.58 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 368214.02 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV12 - 26
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.21
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.03	0.10	11.01
6.00	0.07	0.23	33.02
10.00	0.09	0.30	55.04
14.00	0.12	0.39	77.05
18.00	0.16	0.53	99.07
22.00	0.19	0.63	121.08
26.00	0.21	0.69	143.10
30.00	0.24	0.79	165.11
34.00	0.29	0.95	187.12
38.00	0.32	1.05	209.14
42.00	0.36	1.18	231.15
46.00	0.39	1.28	253.17
50.00	0.42	1.38	275.18
54.00	0.46	1.51	297.20
58.00	0.49	1.61	319.21
62.00	0.51	1.68	341.23
66.00	0.58	1.91	363.24
70.00	0.61	2.01	385.26
74.00	0.64	2.11	407.27
78.00	0.68	2.24	429.29
82.00	0.74	2.43	451.30
86.00	0.78	2.57	473.31
90.00	0.85	2.80	495.33
94.00	0.86	2.83	517.34
98.00	0.91	2.99	539.36
102.00	0.99	3.26	561.37
106.00	1.05	3.45	583.39
110.00	1.15	3.78	605.40
112.00	1.35	4.44	616.41
109.75	1.45	4.77	604.03
106.50	1.52	5.00	586.14

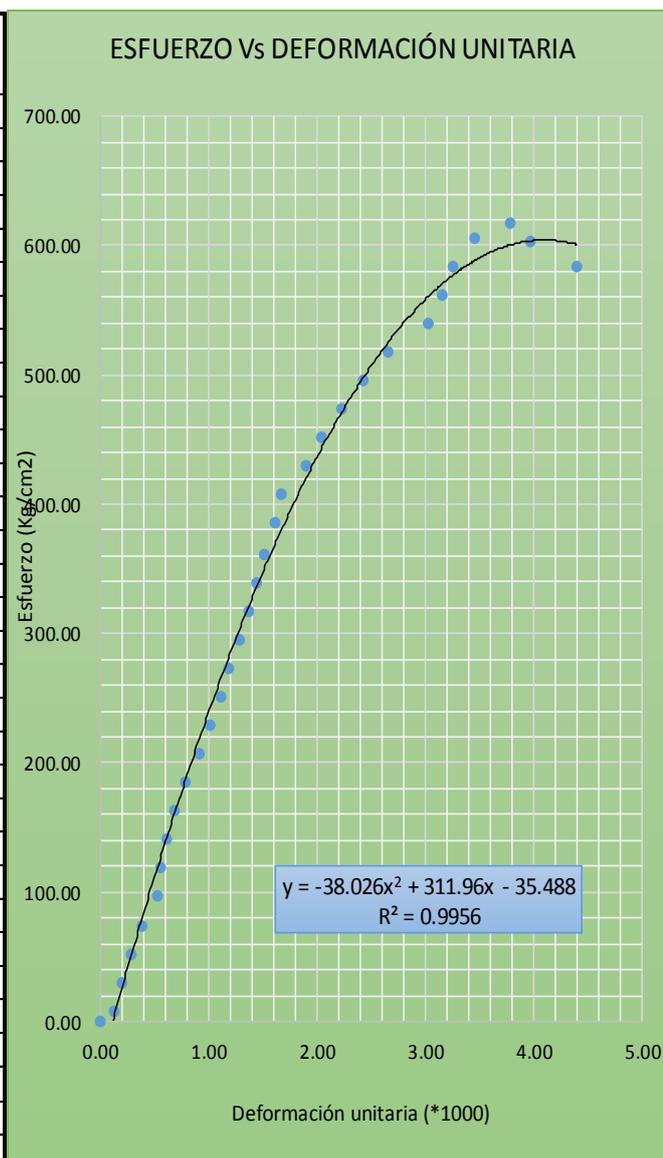


ESFUERZO DE ROTURA = 616.41 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 612.08 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 371105.13 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV12 - 27
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.04	0.13	8.27
5.50	0.06	0.20	30.31
9.50	0.09	0.30	52.35
13.50	0.12	0.39	74.40
17.50	0.16	0.53	96.44
21.50	0.17	0.56	118.48
25.50	0.19	0.63	140.53
29.50	0.21	0.69	162.57
33.50	0.24	0.79	184.62
37.50	0.28	0.92	206.66
41.50	0.31	1.02	228.70
45.50	0.34	1.12	250.75
49.50	0.36	1.18	272.79
53.50	0.39	1.28	294.83
57.50	0.42	1.38	316.88
61.50	0.44	1.45	338.92
65.50	0.46	1.51	360.96
70.00	0.49	1.61	385.76
74.00	0.51	1.68	407.81
78.00	0.58	1.91	429.85
82.00	0.62	2.04	451.89
86.00	0.68	2.24	473.94
90.00	0.74	2.43	495.98
94.00	0.81	2.66	518.03
98.00	0.92	3.03	540.07
102.00	0.96	3.16	562.11
106.00	0.99	3.26	584.16
110.00	1.05	3.45	606.20
112.00	1.15	3.78	617.22
109.50	1.21	3.98	603.44
106.00	1.34	4.41	584.16

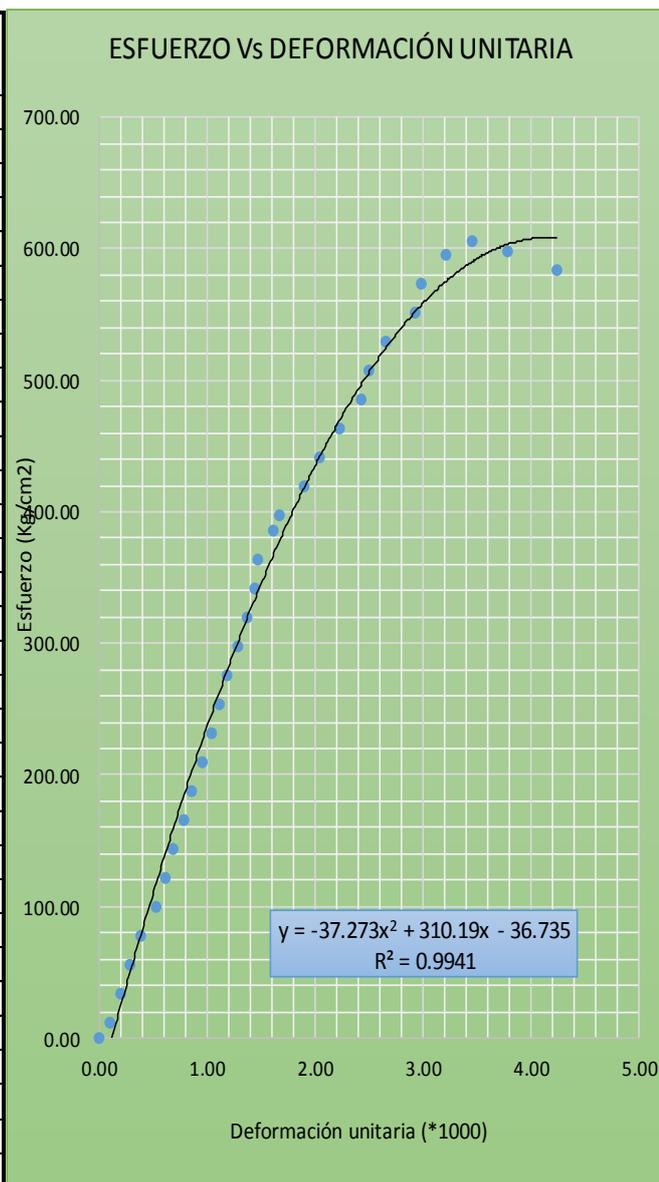


ESFUERZO DE ROTURA = 617.22 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 602.75 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 368265.72 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV12 - 28
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.03	0.10	11.02
6.00	0.06	0.20	33.07
10.00	0.09	0.30	55.11
14.00	0.12	0.39	77.15
18.00	0.16	0.53	99.20
22.00	0.19	0.63	121.24
26.00	0.21	0.69	143.28
30.00	0.24	0.79	165.33
34.00	0.26	0.86	187.37
38.00	0.29	0.95	209.41
42.00	0.32	1.05	231.46
46.00	0.34	1.12	253.50
50.00	0.36	1.18	275.55
54.00	0.39	1.28	297.59
58.00	0.42	1.38	319.63
62.00	0.44	1.45	341.68
66.00	0.45	1.48	363.72
70.00	0.49	1.61	385.76
72.00	0.51	1.68	396.79
76.00	0.58	1.91	418.83
80.00	0.62	2.04	440.87
84.00	0.68	2.24	462.92
88.00	0.74	2.43	484.96
92.00	0.76	2.50	507.00
96.00	0.81	2.66	529.05
100.00	0.89	2.93	551.09
104.00	0.91	2.99	573.13
108.00	0.98	3.22	595.18
110.00	1.05	3.45	606.20
108.50	1.15	3.78	597.93
106.00	1.29	4.24	584.16

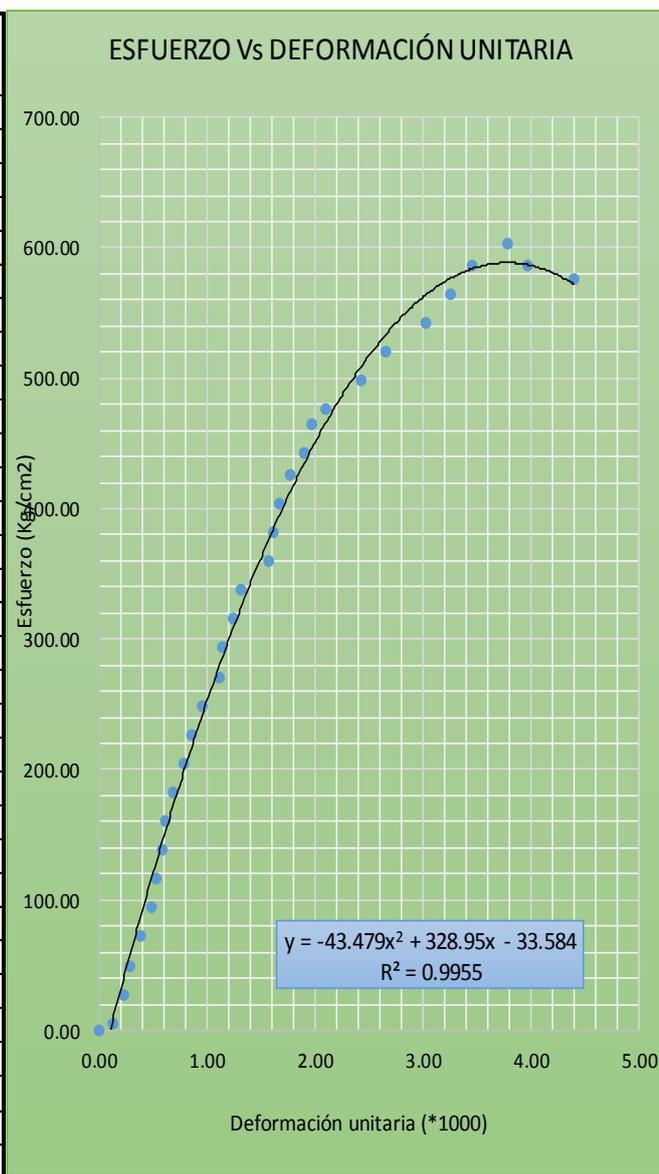


ESFUERZO DE ROTURA = 606.20 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 595.78 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 366130.03 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV12 - 29
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.17
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.04	0.13	5.53
5.00	0.07	0.23	27.66
9.00	0.09	0.30	49.79
13.00	0.12	0.39	71.93
17.00	0.15	0.49	94.06
21.00	0.16	0.53	116.19
25.00	0.18	0.59	138.32
29.00	0.19	0.63	160.45
33.00	0.21	0.69	182.58
37.00	0.24	0.79	204.71
41.00	0.26	0.86	226.84
45.00	0.29	0.95	248.97
49.00	0.34	1.12	271.10
53.00	0.35	1.15	293.23
57.00	0.38	1.25	315.37
61.00	0.40	1.32	337.50
65.00	0.48	1.58	359.63
69.00	0.49	1.61	381.76
73.00	0.51	1.68	403.89
77.00	0.54	1.78	426.02
80.00	0.58	1.91	442.62
84.00	0.60	1.97	464.75
86.00	0.64	2.11	475.81
90.00	0.74	2.43	497.95
94.00	0.81	2.66	520.08
98.00	0.92	3.03	542.21
102.00	0.99	3.26	564.34
106.00	1.05	3.45	586.47
109.00	1.15	3.78	603.07
106.00	1.21	3.98	586.47
104.00	1.34	4.41	575.40

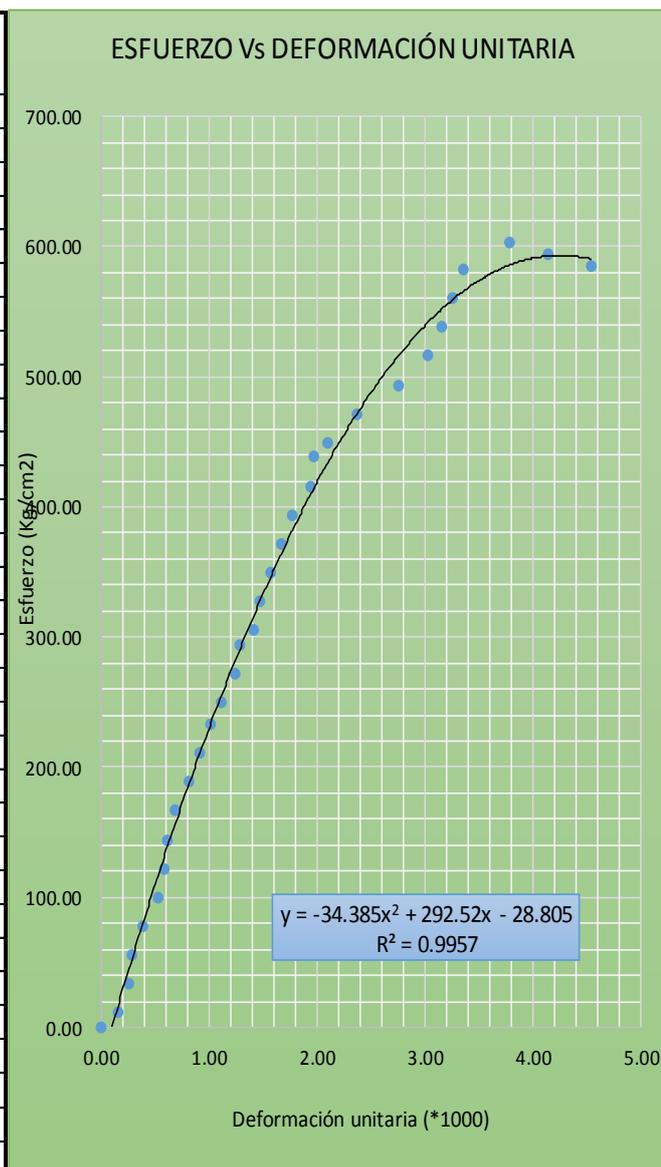


ESFUERZO DE ROTURA = 603.07 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 588.14 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 363772.69 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV12 - 30
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.15
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.05	0.16	11.09
6.00	0.08	0.26	33.28
10.00	0.09	0.30	55.47
14.00	0.12	0.39	77.66
18.00	0.16	0.53	99.85
22.00	0.18	0.59	122.04
26.00	0.19	0.63	144.23
30.00	0.21	0.69	166.42
34.00	0.25	0.82	188.61
38.00	0.28	0.92	210.80
42.00	0.31	1.02	232.99
45.00	0.34	1.12	249.63
49.00	0.38	1.25	271.82
53.00	0.39	1.28	294.01
55.00	0.43	1.41	305.10
59.00	0.45	1.48	327.29
63.00	0.48	1.58	349.48
67.00	0.51	1.68	371.67
71.00	0.54	1.78	393.86
75.00	0.59	1.94	416.05
79.00	0.60	1.97	438.24
81.00	0.64	2.11	449.33
85.00	0.72	2.37	471.52
89.00	0.84	2.76	493.71
93.00	0.92	3.03	515.90
97.00	0.96	3.16	538.09
101.00	0.99	3.26	560.28
105.00	1.02	3.36	582.47
108.75	1.15	3.78	603.27
107.00	1.26	4.14	593.57
105.50	1.38	4.54	585.24

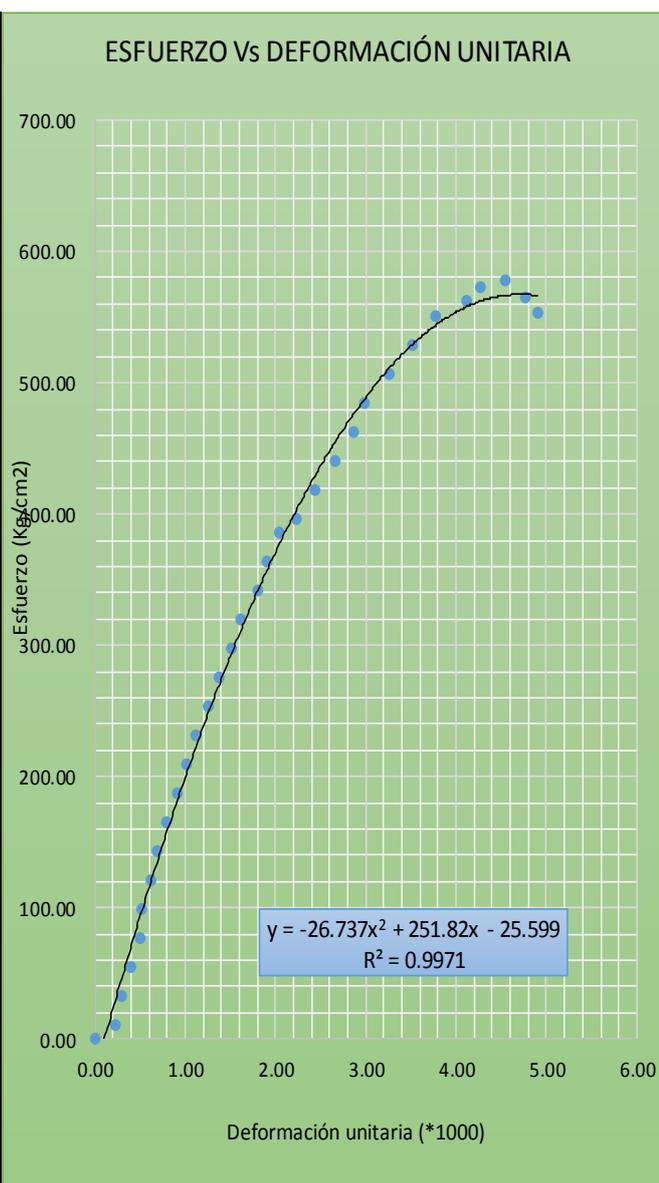


ESFUERZO DE ROTURA = 603.27 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 588.59 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 363913.70 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV15 - 21
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.07	0.23	11.02
6.00	0.09	0.30	33.07
10.00	0.12	0.39	55.11
14.00	0.15	0.49	77.15
18.00	0.16	0.53	99.20
22.00	0.19	0.63	121.24
26.00	0.21	0.69	143.28
30.00	0.24	0.79	165.33
34.00	0.28	0.92	187.37
38.00	0.31	1.02	209.41
42.00	0.34	1.12	231.46
46.00	0.38	1.25	253.50
50.00	0.42	1.38	275.55
54.00	0.46	1.51	297.59
58.00	0.49	1.61	319.63
62.00	0.55	1.81	341.68
66.00	0.58	1.91	363.72
70.00	0.62	2.04	385.76
72.00	0.68	2.24	396.79
76.00	0.74	2.43	418.83
80.00	0.81	2.66	440.87
84.00	0.87	2.86	462.92
88.00	0.91	2.99	484.96
92.00	0.99	3.26	507.00
96.00	1.07	3.52	529.05
100.00	1.15	3.78	551.09
102.00	1.25	4.11	562.11
104.00	1.30	4.28	573.13
105.00	1.38	4.54	578.65
102.50	1.45	4.77	564.87
100.50	1.49	4.90	553.85

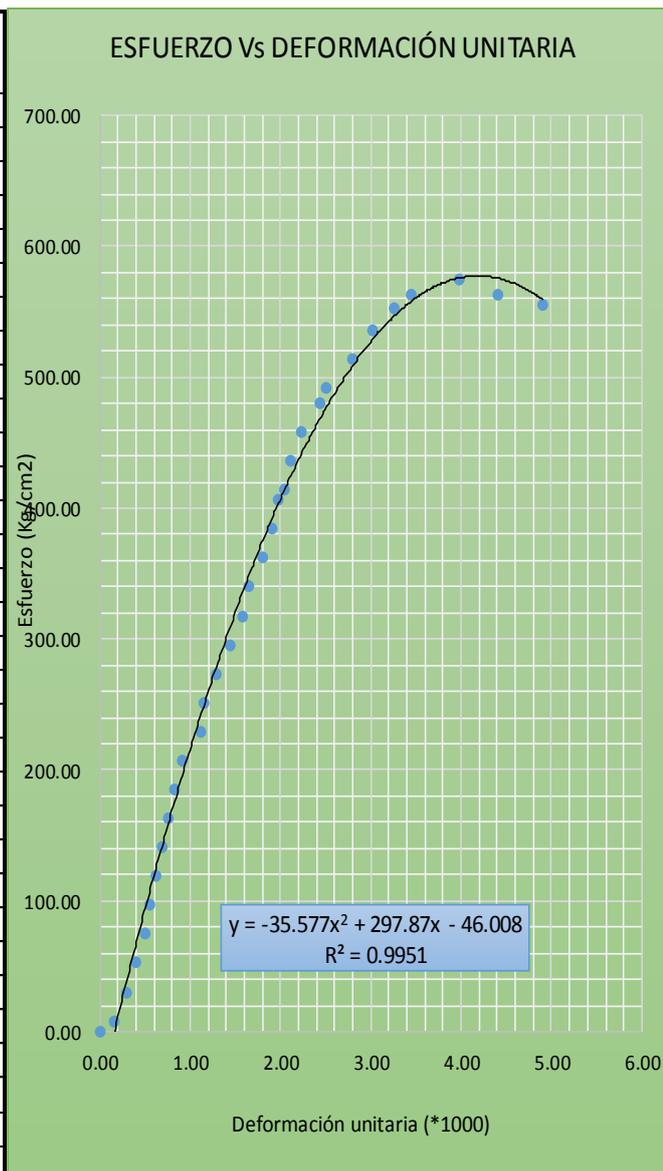


ESFUERZO DE ROTURA = 578.65 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 567.22 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 357244.79 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV15 - 22
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.18
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.05	0.16	8.29
5.50	0.09	0.30	30.39
9.50	0.12	0.39	52.49
13.50	0.15	0.49	74.59
17.50	0.17	0.56	96.70
21.50	0.19	0.63	118.80
25.50	0.21	0.69	140.90
29.50	0.23	0.76	163.00
33.50	0.25	0.82	185.10
37.50	0.28	0.92	207.20
41.50	0.34	1.12	229.31
45.50	0.35	1.15	251.41
49.50	0.39	1.28	273.51
53.50	0.44	1.45	295.61
57.50	0.48	1.58	317.71
61.50	0.50	1.64	339.81
65.50	0.55	1.81	361.92
69.50	0.58	1.91	384.02
73.50	0.60	1.97	406.12
75.00	0.62	2.04	414.41
79.00	0.64	2.11	436.51
83.00	0.68	2.24	458.61
87.00	0.74	2.43	480.71
89.00	0.76	2.50	491.76
93.00	0.85	2.80	513.87
97.00	0.92	3.03	535.97
100.00	0.99	3.26	552.54
102.00	1.05	3.45	563.59
104.00	1.21	3.98	574.65
102.00	1.34	4.41	563.59
100.50	1.49	4.90	555.31

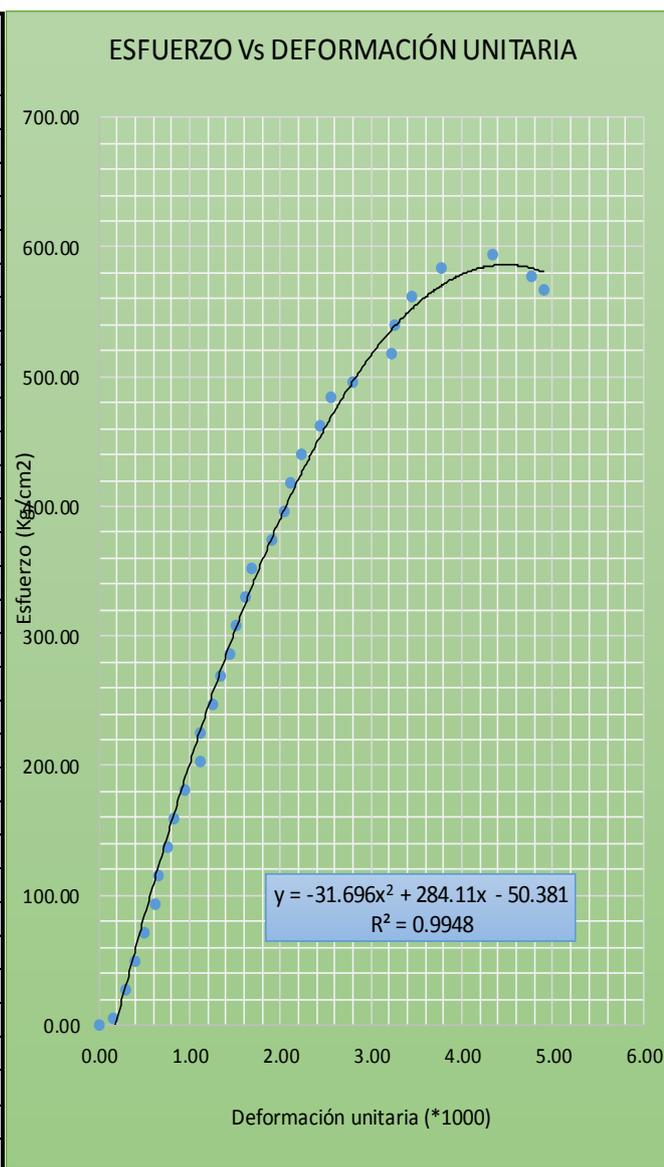


ESFUERZO DE ROTURA = 574.65 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 577.39 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 360434.24 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV15 - 23
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.21
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.05	0.16	5.50
5.00	0.09	0.30	27.52
9.00	0.12	0.39	49.53
13.00	0.15	0.49	71.55
17.00	0.19	0.63	93.56
21.00	0.20	0.66	115.58
25.00	0.23	0.76	137.59
29.00	0.25	0.82	159.61
33.00	0.29	0.95	181.62
37.00	0.34	1.12	203.64
41.00	0.34	1.12	225.65
45.00	0.38	1.25	247.66
49.00	0.41	1.35	269.68
52.00	0.44	1.45	286.19
56.00	0.46	1.51	308.21
60.00	0.49	1.61	330.22
64.00	0.51	1.68	352.23
68.00	0.58	1.91	374.25
72.00	0.62	2.04	396.26
76.00	0.64	2.11	418.28
80.00	0.68	2.24	440.29
84.00	0.74	2.43	462.31
88.00	0.78	2.57	484.32
90.00	0.85	2.80	495.33
94.00	0.98	3.22	517.34
98.00	0.99	3.26	539.36
102.00	1.05	3.45	561.37
106.00	1.15	3.78	583.39
108.00	1.32	4.34	594.40
105.00	1.45	4.77	577.88
103.00	1.49	4.90	566.88

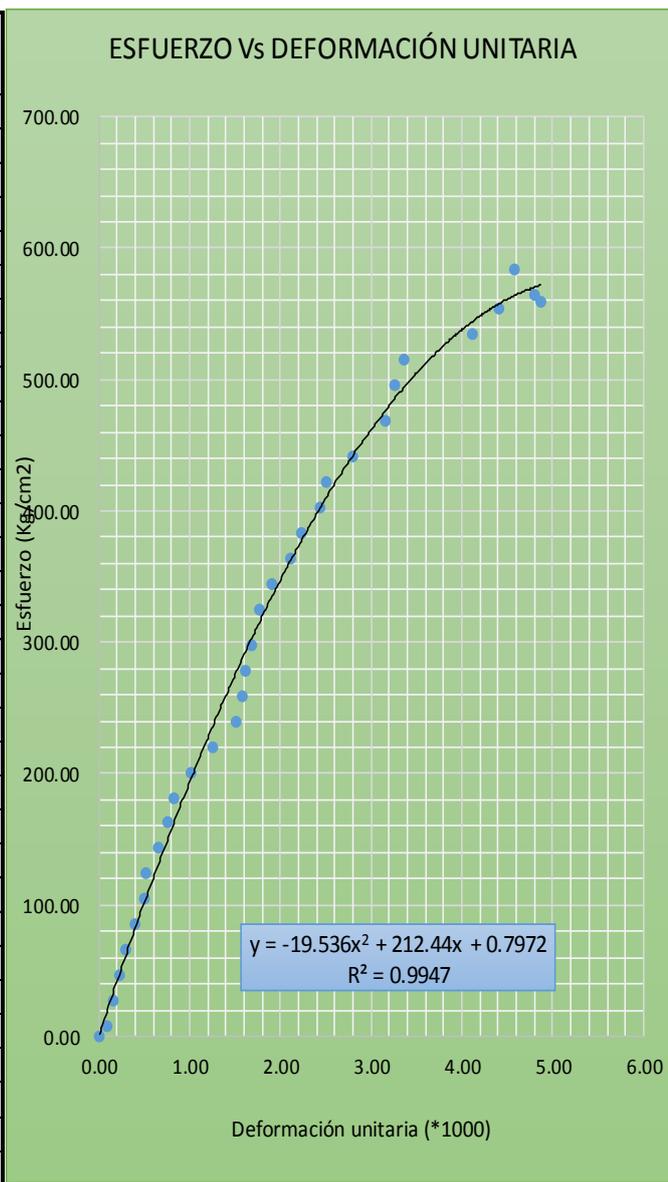


ESFUERZO DE ROTURA = 594.40 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 586.23 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 363181.71 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV15 - 24
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.03	0.10	8.27
5.00	0.05	0.16	27.55
8.50	0.07	0.23	46.84
12.00	0.09	0.30	66.13
15.50	0.12	0.39	85.42
19.00	0.15	0.49	104.71
22.50	0.16	0.53	124.00
26.00	0.20	0.66	143.28
29.50	0.23	0.76	162.57
33.00	0.25	0.82	181.86
36.50	0.31	1.02	201.15
40.00	0.38	1.25	220.44
43.50	0.46	1.51	239.72
47.00	0.48	1.58	259.01
50.50	0.49	1.61	278.30
54.00	0.51	1.68	297.59
59.00	0.54	1.78	325.14
62.50	0.58	1.91	344.43
66.00	0.64	2.11	363.72
69.50	0.68	2.24	383.01
73.00	0.74	2.43	402.30
76.50	0.76	2.50	421.58
80.00	0.85	2.80	440.87
85.00	0.96	3.16	468.43
90.00	0.99	3.26	495.98
93.50	1.02	3.36	515.27
97.00	1.25	4.11	534.56
100.50	1.34	4.41	553.85
106.00	1.39	4.57	584.16
102.50	1.46	4.80	564.87
101.50	1.48	4.87	559.36

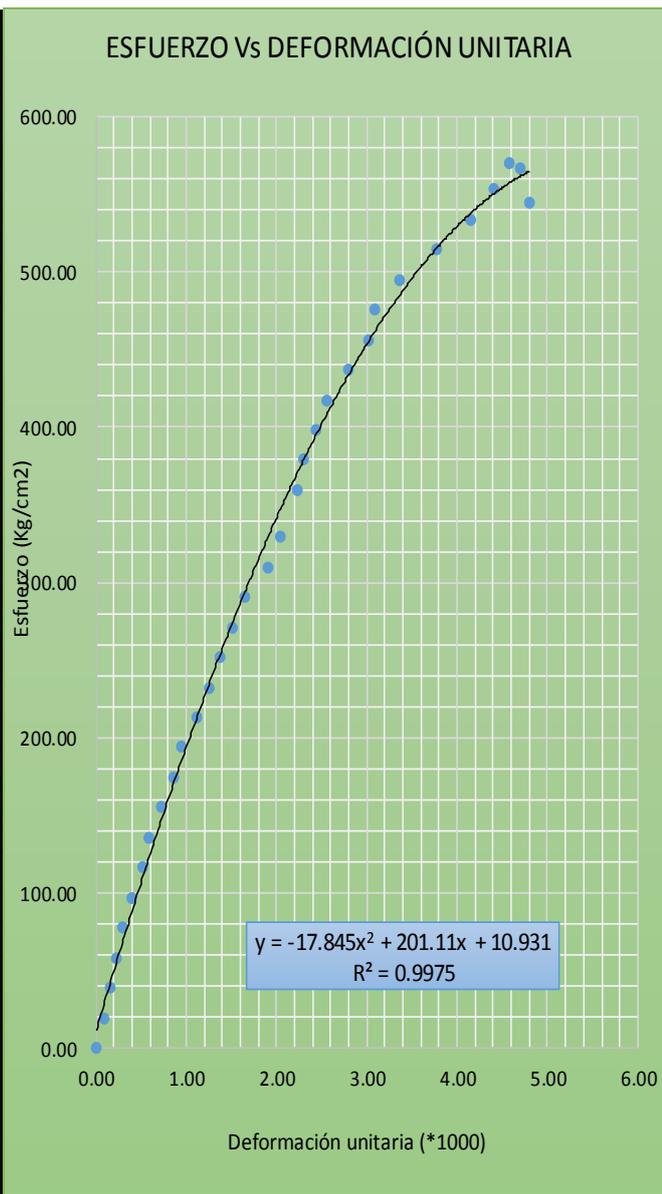


ESFUERZO DE ROTURA = 584.16 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 563.59 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 356101.93 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV15 - 25
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.17
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.03	0.10	19.36
7.00	0.05	0.16	38.73
10.50	0.07	0.23	58.09
14.00	0.09	0.30	77.46
17.50	0.12	0.39	96.82
21.00	0.16	0.53	116.19
24.50	0.18	0.59	135.55
28.00	0.22	0.72	154.92
31.50	0.26	0.86	174.28
35.00	0.29	0.95	193.65
38.50	0.34	1.12	213.01
42.00	0.38	1.25	232.37
45.50	0.42	1.38	251.74
49.00	0.46	1.51	271.10
52.50	0.50	1.64	290.47
56.00	0.58	1.91	309.83
59.50	0.62	2.04	329.20
65.00	0.68	2.24	359.63
68.50	0.70	2.30	378.99
72.00	0.74	2.43	398.36
75.50	0.78	2.57	417.72
79.00	0.85	2.80	437.09
82.50	0.92	3.03	456.45
86.00	0.94	3.09	475.81
89.50	1.02	3.36	495.18
93.00	1.15	3.78	514.54
96.50	1.26	4.14	533.91
100.00	1.34	4.41	553.27
103.00	1.39	4.57	569.87
102.50	1.43	4.70	567.10
98.50	1.46	4.80	544.97

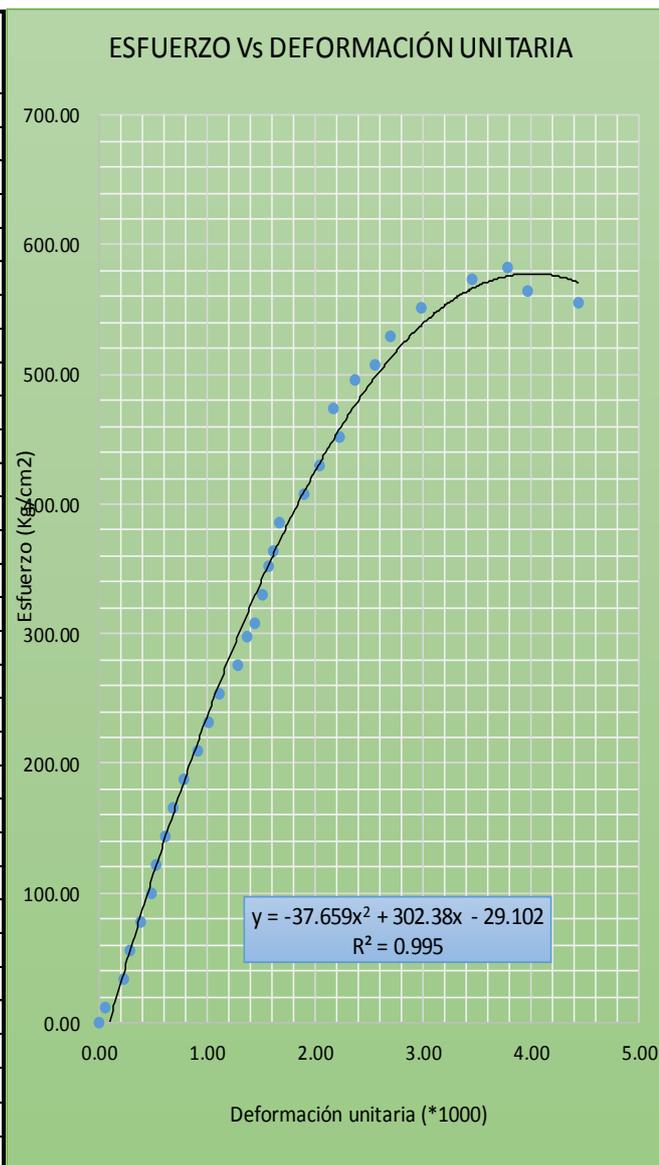


ESFUERZO DE ROTURA = 569.87 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 555.25 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 353457.33 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV15 - 26
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.02	0.07	11.02
6.00	0.07	0.23	33.07
10.00	0.09	0.30	55.11
14.00	0.12	0.39	77.15
18.00	0.15	0.49	99.20
22.00	0.16	0.53	121.24
26.00	0.19	0.63	143.28
30.00	0.21	0.69	165.33
34.00	0.24	0.79	187.37
38.00	0.28	0.92	209.41
42.00	0.31	1.02	231.46
46.00	0.34	1.12	253.50
50.00	0.39	1.28	275.55
54.00	0.42	1.38	297.59
56.00	0.44	1.45	308.61
60.00	0.46	1.51	330.65
64.00	0.48	1.58	352.70
66.00	0.49	1.61	363.72
70.00	0.51	1.68	385.76
74.00	0.58	1.91	407.81
78.00	0.62	2.04	429.85
82.00	0.68	2.24	451.89
86.00	0.66	2.17	473.94
90.00	0.72	2.37	495.98
92.00	0.78	2.57	507.00
96.00	0.82	2.70	529.05
100.00	0.91	2.99	551.09
104.00	1.05	3.45	573.13
105.75	1.15	3.78	582.78
102.50	1.21	3.98	564.87
100.75	1.35	4.44	555.22

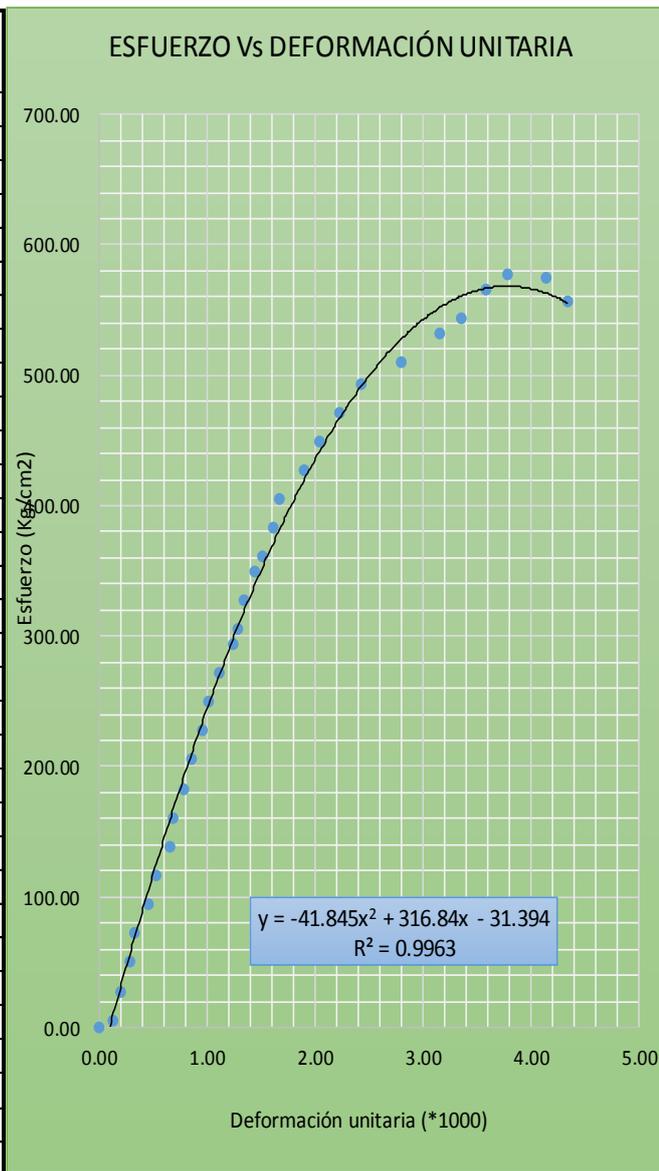


ESFUERZO DE ROTURA = 582.78 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 577.20 Kg/cm2
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 360375.43 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV15 - 27
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.15
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.04	0.13	5.55
5.00	0.06	0.20	27.74
9.00	0.09	0.30	49.93
13.00	0.10	0.33	72.12
17.00	0.14	0.46	94.30
21.00	0.16	0.53	116.49
25.00	0.20	0.66	138.68
29.00	0.21	0.69	160.87
33.00	0.24	0.79	183.06
37.00	0.26	0.86	205.25
41.00	0.29	0.95	227.44
45.00	0.31	1.02	249.63
49.00	0.34	1.12	271.82
53.00	0.38	1.25	294.01
55.00	0.39	1.28	305.10
59.00	0.41	1.35	327.29
63.00	0.44	1.45	349.48
65.00	0.46	1.51	360.58
69.00	0.49	1.61	382.77
73.00	0.51	1.68	404.96
77.00	0.58	1.91	427.15
81.00	0.62	2.04	449.33
85.00	0.68	2.24	471.52
89.00	0.74	2.43	493.71
92.00	0.85	2.80	510.36
96.00	0.96	3.16	532.54
98.00	1.02	3.36	543.64
102.00	1.09	3.59	565.83
104.00	1.15	3.78	576.92
103.50	1.26	4.14	574.15
100.25	1.32	4.34	556.12

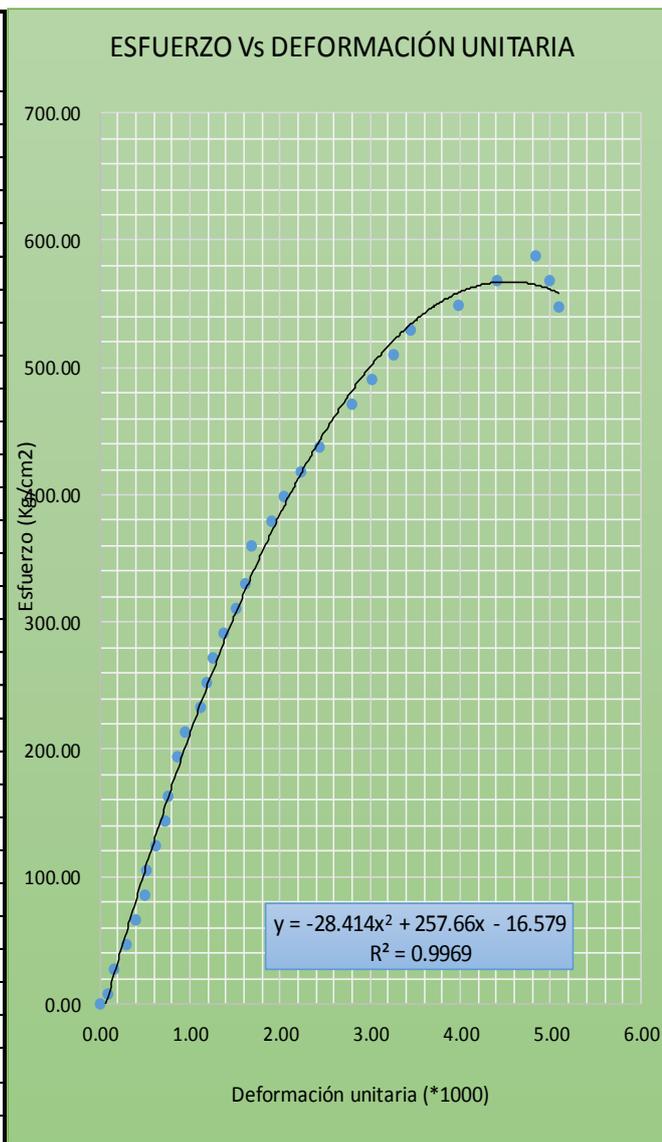


ESFUERZO DE ROTURA = 576.92 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 567.97 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 357480.97 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV15 - 28
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.16
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.03	0.10	8.31
5.00	0.05	0.16	27.70
8.50	0.09	0.30	47.09
12.00	0.12	0.39	66.48
15.50	0.15	0.49	85.87
19.00	0.16	0.53	105.26
22.50	0.19	0.63	124.65
26.00	0.22	0.72	144.04
29.50	0.23	0.76	163.43
35.00	0.26	0.86	193.90
38.50	0.29	0.95	213.29
42.00	0.34	1.12	232.68
45.50	0.36	1.18	252.07
49.00	0.38	1.25	271.46
52.50	0.42	1.38	290.85
56.00	0.46	1.51	310.24
59.50	0.49	1.61	329.63
65.00	0.51	1.68	360.10
68.50	0.58	1.91	379.49
72.00	0.62	2.04	398.88
75.50	0.68	2.24	418.27
79.00	0.74	2.43	437.66
85.00	0.85	2.80	470.90
88.50	0.92	3.03	490.29
92.00	0.99	3.26	509.68
95.50	1.05	3.45	529.07
99.00	1.21	3.98	548.46
102.50	1.34	4.41	567.85
106.00	1.47	4.84	587.24
102.50	1.52	5.00	567.85
98.75	1.55	5.10	547.08

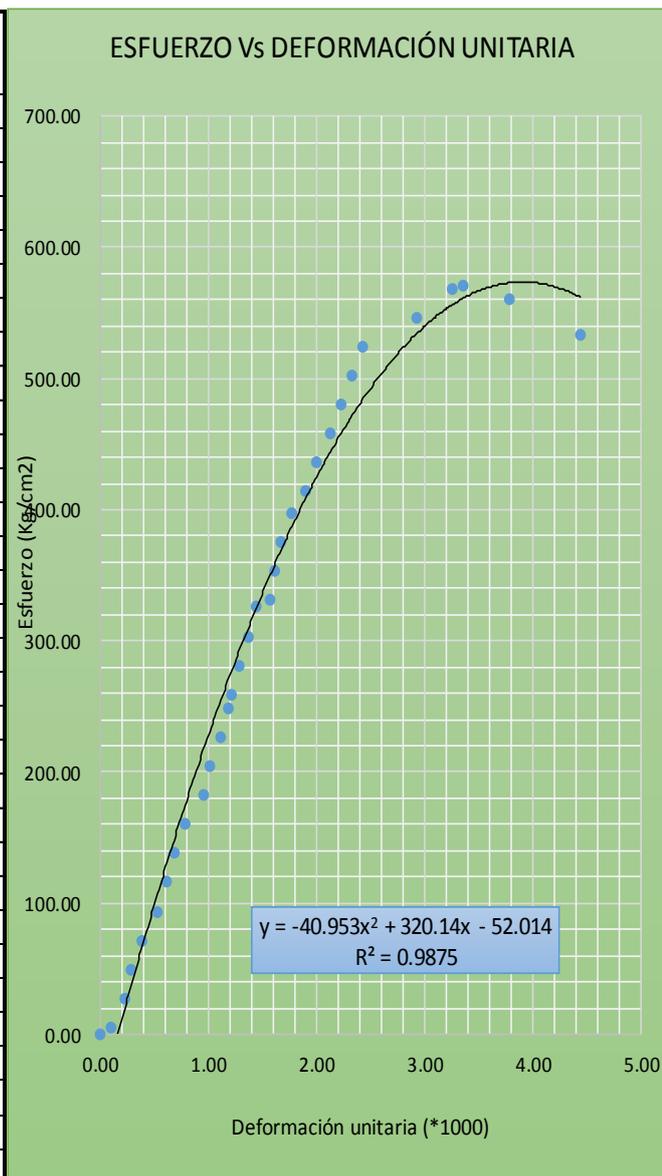


ESFUERZO DE ROTURA = 587.24 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 563.73 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 356144.32 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV15 - 29
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.19
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.03	0.10	5.52
5.00	0.07	0.23	27.59
9.00	0.09	0.30	49.66
13.00	0.12	0.39	71.74
17.00	0.16	0.53	93.81
21.00	0.19	0.63	115.88
25.00	0.21	0.69	137.95
29.00	0.24	0.79	160.03
33.00	0.29	0.95	182.10
37.00	0.31	1.02	204.17
41.00	0.34	1.12	226.24
45.00	0.36	1.18	248.32
47.00	0.37	1.22	259.35
51.00	0.39	1.28	281.43
55.00	0.42	1.38	303.50
59.00	0.44	1.45	325.57
60.00	0.48	1.58	331.09
64.00	0.49	1.61	353.16
68.00	0.51	1.68	375.24
72.00	0.54	1.78	397.31
75.00	0.58	1.91	413.86
79.00	0.61	2.01	435.93
83.00	0.65	2.14	458.01
87.00	0.68	2.24	480.08
91.00	0.71	2.34	502.15
95.00	0.74	2.43	524.23
99.00	0.89	2.93	546.30
103.00	0.99	3.26	568.37
103.50	1.02	3.36	571.13
101.50	1.15	3.78	560.09
96.75	1.35	4.44	533.88

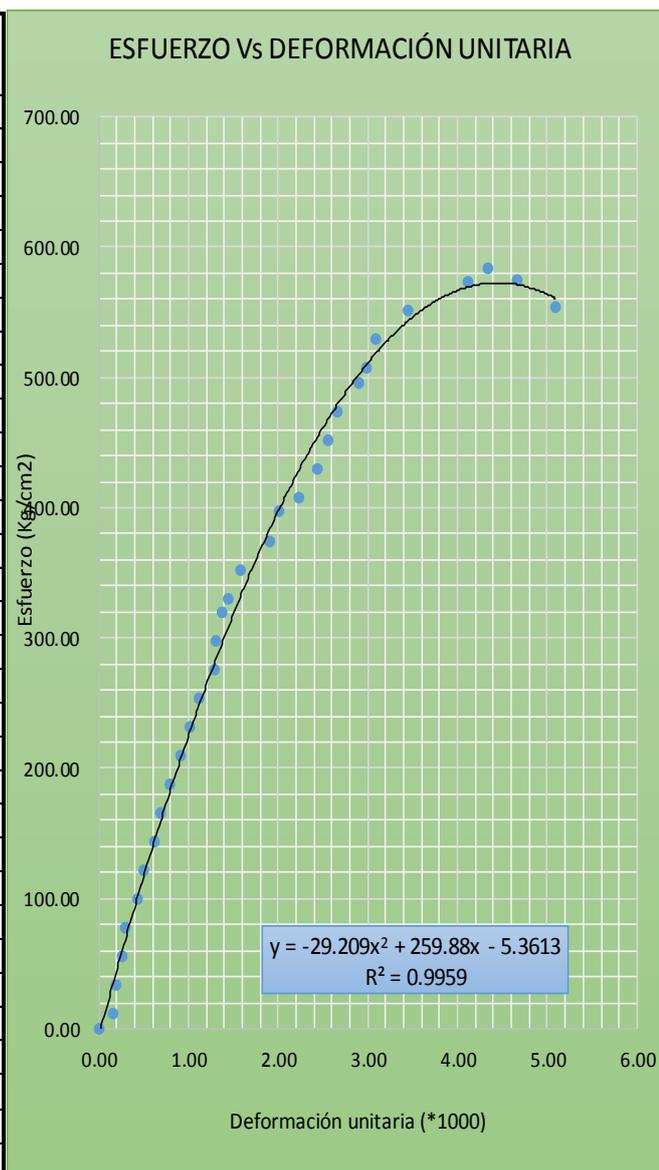


ESFUERZO DE ROTURA = 571.13 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 567.49 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 357332.24 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : CV15 - 30
 EDAD : 28 días
 DIÁMETRO (cm) : 15.2
 ALTURA (mm) : 304

Carga (Tn)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.05	0.16	11.02
6.00	0.06	0.20	33.07
10.00	0.08	0.26	55.11
14.00	0.09	0.30	77.15
18.00	0.13	0.43	99.20
22.00	0.15	0.49	121.24
26.00	0.19	0.63	143.28
30.00	0.21	0.69	165.33
34.00	0.24	0.79	187.37
38.00	0.28	0.92	209.41
42.00	0.31	1.02	231.46
46.00	0.34	1.12	253.50
50.00	0.39	1.28	275.55
54.00	0.40	1.32	297.59
58.00	0.42	1.38	319.63
60.00	0.44	1.45	330.65
64.00	0.48	1.58	352.70
68.00	0.58	1.91	374.74
72.00	0.61	2.01	396.79
74.00	0.68	2.24	407.81
78.00	0.74	2.43	429.85
82.00	0.78	2.57	451.89
86.00	0.81	2.66	473.94
90.00	0.88	2.89	495.98
92.00	0.91	2.99	507.00
96.00	0.94	3.09	529.05
100.00	1.05	3.45	551.09
104.00	1.25	4.11	573.13
106.00	1.32	4.34	584.16
104.25	1.42	4.67	574.51
100.50	1.55	5.10	553.85



ESFUERZO DE ROTURA = 584.16 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 572.48 Kg/cm²
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 358897.77 Kg/cm²

ANEXO 8: HOJA TÉCNICA DE LA CENIZA VOLANTE



especificación técnica



11911103 ADITIVO IMPERMEABILIZANTE/ DENSIFICADOR PUZOLANICO

- 02 ADITIVOS CONCRETO, MORTERO Y ASFALTO -

MAYO 2013



1.0 NOMBRE DEL PRODUCTO

FLY ASH TIPO F

2.0 DESCRIPCION Y USOS

Aditivo mineral utilizado para el incremento de la impermeabilidad, resistencia química y mecánica y cohesividad del concreto y mortero.

Debido a que está constituido por sílice reactiva, reacciona con el hidróxido de calcio del cemento, formando compuestos de silicato de calcio, sellando los poros capilares del concreto, lo cual conduce a una reducción de su capilaridad incrementando su permeabilidad, resistencia a la compresión y sellado de los poros capilares del concreto incrementando su resistencia química.

USOS

Para la obtención de concretos y morteros de alta durabilidad.

Para obtención de concretos de alta impermeabilidad.

Para la obtención de concretos y morteros de alta resistencia a la compresión.

Para utilizarse en concreto reforzado y lanzado "Shotcrete".

Para uso en concreto en estructuras marinas, puentes, estacionamientos de automóviles, túneles, minas, etc.

Se usa en todo concreto o mortero que estén en contacto directo con humedad o agua tales como: tanques de almacenamiento de agua, pozos, fosas sépticas, tuberías de agua potable y aguas



negras, obras hidráulicas, albercas, cisternas, jardineras, muros de contención, aplanados, pisos y muros de sótanos, plantas de tratamiento de aguas, túneles, estructuras de puentes (colados en obra y prefabricados), brocales, canales, aceras, carreteras, monumentos, pistas de aterrizaje, presas, etc.

En estado fresco, tiene excelente trabajabilidad al aplanar y consolidar cuando está fresco. Puede bombearse fácilmente, reduce la segregación de los agregados, reduce la relación agua/cemento, produce una mezcla cohesiva eliminando huecos y porosidades. Plastifica la mezcla, incrementando su trabajabilidad. Se puede reducir la relación agua cemento en los concretos y morteros. Reduce la capilaridad, mediante el sellado de los poros.

En estado húmedo, reduce apreciablemente en encogimiento y el calor de hidratación del cemento.

En estado sólidos, aumenta la resistencia al ataque de sulfatos. Evita la eflorescencia del salitre, la penetración de cloruros y reduce el sangrado, aumenta la resistencia a la compresión, reduce la permeabilidad del concreto, produce



TABLA No. 1 FLY ASH TIPO F	PROPS. FÍSICAS	METODO ASTM
A) PRODUCTO ENVASADO (Pasa especificación)	ASTM -618	
A1. Consistencia	polvo fino	
A2. Toxicidad	no	
A3. Densidad (gm/cm3)	2.1 a 2.2	C-1240
A4. Inflamabilidad	no	
A5. Color	gris	
A6. Estabilidad		
Envase abierto (hrs)	6	
Envase cerrado (meses)	6	
A7. % Sólidos (Peso y Volumen)	100	
A8. Granulometría (seca)		
Retenido en malla No.325 (% máx.)	34	
Índice de actividad dureza con cemento Portland		
mín. (7 días % control)	75	C-618
mín. (28 días % control)	75	
Requerimiento de agua máx. (% control)	105	
A9. Constitución química		
Contenido de Sílica (SO ₂) (% min.)	70	
SO ₃ (% máx.)	5.0	C-618
Humedad (% máx.)	3.0	
Pérdida en ignición (% máx)	6.0	
A10. Area específica (m ² /g)	20	C-1069
B) PRODUCTO APLICADO		
B1. Aumento de encogimiento por secado (%)	0.05	C-311
B2. Reactividad con alcalis del cemento		
Reducción de expansión del mortero (%)	85	C-441
B3. Resistencia a los sulfatos (% expansión)	0.05	C-1012
B4. Dosificación (% peso del cemento)	5 a 15	

CURACRETO, S.A. de C.V.

Tel.: (55) 5611-2023
Fax: (55) 5611-0021

www.curacreto.com.mx
curacreto@curacreto.com.mx

Certificación ISO 9001:2008



MAYO 2013

- 02 ADITIVOS CONCRETO, MORTERO Y ASFALTO -

11911103 ADITIVO IMPERMEABILIZANTE/ DENSIFICADOR PUZOLANICO



especificación técnica



MAYO 2013

- 02 ADITIVOS CONCRETO, MORTERO Y ASFALTO -

11911103 ADITIVO IMPERMEABILIZANTE/ DENSIFICADOR PUZOLANICO

11911103 ADITIVO IMPERMEABILIZANTE/ DENSIFICADOR PUZOLANICO

- 02 ADITIVOS CONCRETO, MORTERO Y ASFALTO -

MAYO 2013



superficies duras resistentes al desgaste, al caleo, a la cavitación y a la abrasión.

El mecanismo para impermeabilizar, consiste en que el **FLY ASH TIPO F**, reacciona con el hidróxido de calcio y el hidróxido de aluminio calcio formados durante la reacción del cemento con el agua, para convertirlos en hidratos de silicato cálcico, que es el material que da adhesividad y dureza al concreto. Este se precipita en los capilares del concreto, como microcristales muy finos tapando los poros y da como resultado, una masa de concreto que puede resistir la penetración de agua, aún bajo altas presiones hidrostáticas.

El por ciento de macroporos que se forman en concretos normales se reducen al formarse microporos debido a la presencia del **FLY ASH TIPO F** y teniendo estos la propiedad de ser hidrófobos permiten que el concreto respire sin permitir la condensación de agua. Este mecanismo permite crear concretos con mayor durabilidad.

VENTAJAS

Aumenta la durabilidad en ambientes químicamente agresivos, como son plantas industriales, eléctricas, químicas, tratamiento de aguas, marinas, etc.

Se pueden obtener concretos de alta resistencia a la compresión.

Permite la reducción de cemento en concretos.

Mejora el bombeo de con-

cretos.

Reduce el sangrado

Aumenta el módulo de elasticidad.

Aumenta resistencia al ataque de sulfatos.

Aumenta resistencia a la reacción álcali sílice.

Al reducir la permeabilidad de los concretos, reduce la penetración de cloruros protegiendo así el acero de refuerzo.

Material puzolánico "Fly Ash F" que se obtiene en las cenizas obtenidas de la combustión de combustibles en la producción de electricidad.

3.0 PROPIEDADES FISICAS

Cumple con la especificación ASTM C-618, "Especificación Estándar para el uso de "Fly Ash" y Puzolanas Naturales o Calcinadas como Aditivos Minerales en Concreto de Cemento Portland".

Ver Tabla No. 1.

4.0 APLICACION

Para concreto normal y lanzado, se recomienda agregarlo al junto con el cemento y demás agregados.

Debido a su alta finura, se recomienda utilizar aditivos superfluidificantes, tales como **FLUIDCRETO 700**, o **FLUIDCRETO N**.

Secuencia de adición recomendada:

1. Añadir los agregados gruesos y finos.

2. Iniciar el mezclado y añadir **FLY ASH TIPO F**.

3. Añadir el cemento y continuar el mezclado en seco.

4. Añadir el agua con los aditivos disueltos.

Es recomendable incrementar el tiempo de secado en medio minuto por cada metro cúbico de mezcla.

5.0 DOSIFICACION

En concretos normales y lanzados a razón de un 5 al 15% del peso del cemento, de acuerdo al tipo de exposición, siguiendo la dosificación recomendada en la Tabla No. 1.

6.0 SEGURIDAD

Consultar la Hoja de manejo de Materiales. Solicitarla a la Compañía.

7.0 ALMACENAMIENTO

El producto deberá almacenarse en lugares secos bajo techo en su envase original. La temperatura no deberá ser menor de 5°C, ni mayor de 30°C.

8.0 PRESENTACION

Granel

119111032D = 1 Ton.

9.0 GARANTIA

CURACRETO, S.A de C.V. garantiza que sus productos llenan las especificaciones que se han definido para ellos. No acepta otras garantías relacionadas con dichos materiales como es su aplicación y la recomendación de los mismos para algún otro uso específico. El recibir los productos de **CURACRETO, S.A. de C. V.** constituye la aceptación de los términos de esta garantía. En el caso que **CURACRETO, S.A de C.V.** encuentre que los productos suministrados estén fuera de especificación, podrá reemplazar los mismos o reembolsar el importe de ellos a su propio criterio.

CURACRETO, S.A. de C.V.

Tel.: (55) 5611-2023
Fax: (55) 5611-0021

www.curacreto.com.mx
curacreto@curacreto.com.mx

Certificación
ISO 9001:2008



ANEXO 9: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO.



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia No. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000SGC-REG-06-G0002
Versión 01

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.73	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.10	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3770	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	31.7 (323)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	38.5 (392)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	46.5 (474)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	132	Mínimo 45
Fraguado Final	min	289	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016

La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016

(*) Requisito opcional.

Ing. Ivanoff V. Rojas Tello

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

ANEXO 10: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 26. Agregado fino de la Cantera Chilete.



Figura 27. Agregado grueso de la cantera Chilete



Figura 28. Ensayo de granulometría del agregado fino



Figura 29. Ensayo de granulometría del agregado grueso.

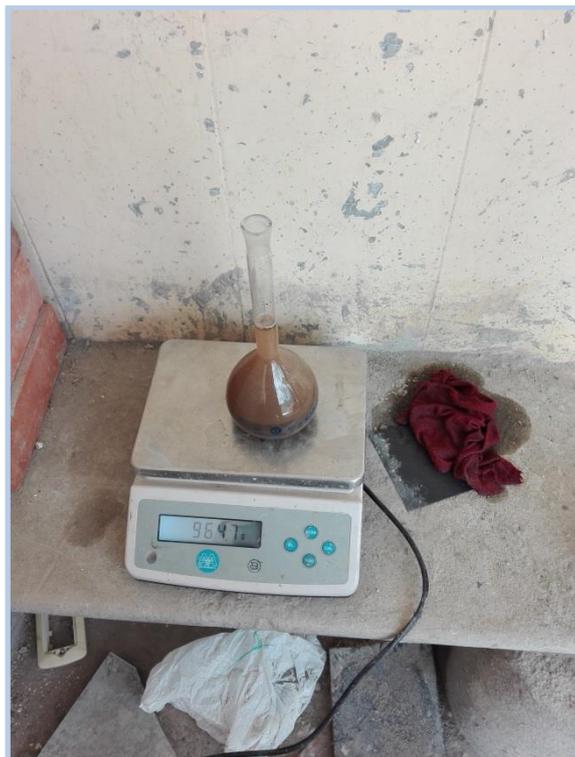


Figura 30.Ensayo de peso específico del agregado fino



Figura 31.Ensayo para determinar el desgaste a la abrasión del agregado grueso.



Figura 32.Preparación de la mezcla de concreto.



Figura 33.Ensayo para determinar el asentamiento de la mezcla de concreto.



Figura 34.Medición del asentamiento de la mezcla de concreto.



Figura 35.Elaboracion de especímenes de concreto.



Figura 36.Desencofrado y codificación de los especímenes de concreto.



Figura 37.Curado de especímenes de concreto.



Figura 38.Ruptura de los especímenes de concreto.

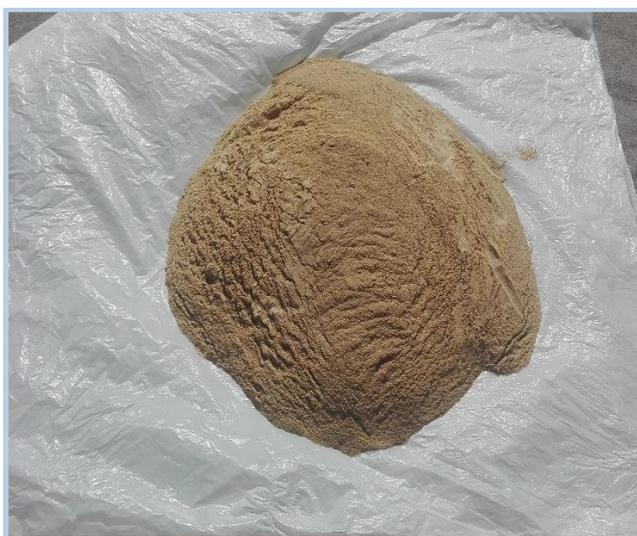


Figura 39.Ceniza volante FLY ASH TIPO F.



Figura 40. Saturación de especímenes de concreto para el ensayo de absorción y porosidad



Figura 41. Especímenes cilíndricos para el ensayo de tracción en el concreto



Figura 42. Ensayo a tracción de los especímenes cilíndricos de concreto a edad de 7 días



Figura 43. Falla del espécimen cilíndrico con adición del 15% de ceniza volante después del ensayo a tracción