

INCIDENCIA DEL ADITIVO CENIZAS VOLANTES (FLY-ASH) EN EL
COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO
EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS

BRAYAN ALEXIS NARVÁEZ RIASCOS
CESAR AUGUSTO GÓMEZ NARVÁEZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2017

INCIDENCIA DEL ADITIVO CENIZAS VOLANTES (FLY-ASH) EN EL
COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
HIDRÁULICO EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS

BRAYAN ALEXIS NARVÁEZ RIASCOS
CESAR AUGUSTO GÓMEZ NARVÁEZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero civil

Director
VICENTE PARRA SANTACRUZ
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2017

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo de grado son responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo 1 del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. Carlos Buchelli Narváez

Ing. Fernando Delgado Arturo

San Juan de Pasto, noviembre de 2017

RESUMEN

El presente trabajo propone un análisis de la incidencia de cenizas volantes en el hormigón como respuesta a la interacción de este con dichos elementos químicos (sulfatos), las ventajas (disminución en la permeabilidad, aumento en la compacidad, reducción en la reacción álcali-agregado) y desventajas (la errada manipulación generaría un aumento en la humedad del producto provocando un endurecimiento prematuro en el hormigón) que presenta el uso de esta adición en el hormigón y las diferentes estructuras en concreto. Dicho análisis se basa en ensayos de laboratorio bajo estricto cumplimiento de normas como la ASTM-C-618-03, la NTC 3493 (cenizas volantes y puzolanas naturales, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento Portland), la NTC 3823 (muestreo y ensayo de cenizas volantes o puzolanas naturales para su uso como aditivo mineral en el concreto de cemento Portland), y el capítulo 5 de la NSR-10 (calidad del concreto, mezclado y colocación) entre otras normas técnicas vigentes necesarias para conocer la resistencia máxima a la compresión, la fluidez o manejabilidad, el fraguado, la compacidad, el acabado, el costo-beneficio entre otros. Lo anterior permitirá realizar una comparación del concreto con un antes y después de la adición de este material puzolánico; con el objeto de evaluar dichas propiedades como la manejabilidad, compacidad, el beneficio del uso de esta adición y la resistencia a la compresión.

ABSTRACT

The present work proposes an analysis of the incidence of fly ash in concrete in response to the interaction of this with those chemical elements (sulphates), the advantages (decrease in permeability, increase in compactness, reduction in the alkali-aggregate reaction) and disadvantages (the wrong handling would generate an increase in the humidity of the product causing a premature hardening in the concrete) that presents the use of this addition in the concrete and the different structures in concrete. This analysis is based on laboratory tests under strict compliance with standards such as ASTM-C-618-03, NTC 3493 (fly ash and natural pozzolans, used as mineral additives in Portland cement concrete), NTC 3823 (sampling and fly ash test or natural pozzolans for use as a mineral additive in Portland cement concrete), and chapter 5 of the NSR-10 (concrete quality, mixing and placement) among other technical standards in force necessary to know the resistance maximum compression, fluidity or manageability, setting, compactness, finishing, cost-benefit among others. This will allow a comparison of the concrete with a before and after the addition of this pozzolanic material; in order to evaluate such properties as the manageability, compactness, the benefit of the use of this addiction and the resistance to compression.

CONTENIDO

	Pág.
1. DEFINICIÓN DE CENIZAS VOLANTES	17
1.1. TIPOS DE CENIZAS VOLANTES	19
1.1.1 Composición química.	19
1.1.2 Composición mineralógica.	19
1.1.3 Características de las partículas.	20
1.1.4 Pérdida por ignición.....	20
2. ANTECEDENTES	21
3. METODOLOGÍA Y DESARROLLO.....	22
3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES	25
3.2 RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA (f'_{cr})	30
3.3 DISEÑO DE MEZCLA.....	35
3.3.1 Selección del asentamiento.	36
3.3.2 Selección del tamaño máximo del agregado.....	36
CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES	83
ANEXOS	84

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de las cenizas volantes según su composición química ..	19
Tabla 2. Áreas Bajo la Curva Normal Tipificada de 0 a Z.	23
Tabla 3. Resistencias de diseño en diferentes unidades de medida	30
Tabla 4. Resultados de ensayos resistencias a la compresión.....	31
Tabla 5. Cálculos desviación estándar	32
Tabla 6. Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos	33
Tabla 7. Normas para el control del concreto.	34
Tabla 8. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra. ...	34
Tabla 9. Características de los materiales a emplear	35
Tabla 10. Asentamientos recomendados para concretos de diferentes grados de manejabilidad.	36
Tabla 11. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado con partículas de forma angular.	37
Tabla 12. Relaciones agua/cemento para diferentes tipos de mezcla.	39
Tabla 13. Valores máximos para las relaciones agua cemento para diferentes tipos de estructuras y grados de exposición.....	40
Tabla 14. Cantidad de cemento requerido por metro cubico de concreto.....	41
Tabla 15. Proporciones iniciales en peso seco concreto de 3000 psi.....	42
Tabla 16. Proporciones iniciales en peso seco concreto de 3500 psi.....	42
Tabla 17. Proporciones iniciales en peso seco concreto de 4000 psi.....	42
Tabla 18. Proporciones finales en peso seco concreto de 3000 psi sin adición de cenizas volantes.	43

Tabla 19. Proporciones finales en peso seco concreto de 3000 psi con adición de cenizas volantes y plastificante.....	43
Tabla 20. Proporciones finales en peso seco concreto de 3500 psi sin adición de cenizas volantes.....	43
Tabla 21. Proporciones finales en peso seco concreto de 3500 psi con adición de cenizas volantes y plastificante.....	43
Tabla 22. Proporciones finales en peso seco concreto de 4000 psi sin adición de cenizas volantes.	44
Tabla 23. Proporciones finales en peso seco concreto de 4000 psi con adición de cenizas volantes y plastificante.....	44
Tabla 24. Valores de medida reales del cubo	50
Tabla 25. Resultados de los pesos obtenidos del concreto en estado fresco según dosificación de Fly–Ash.....	51
Tabla 26. Promedio de resultados de ensayos a compresión de concreto de 3000 psi a 7, 14 y 28 días de edad, (Ver Anexo I).	53
Tabla 27. Promedio de resultados de ensayos a compresión de concreto de 3500 psi a 7, 14 y 28 días de edad, (Ver Anexo I).	53
Tabla 28. Promedio de resultados de ensayos a compresión de concreto de 4000 psi a 7, 14 y 28 días de edad, (Ver Anexo I).	53
Tabla 29. Resultados de ensayos de diferentes mezclas de concreto con diferentes adiciones de cenizas volantes.....	64
Tabla 30. Resumen de resultados de ensayos de diferentes mezclas de concreto con diferentes adiciones de cenizas volantes.	64
Tabla 31. Precio del concreto por m ³ en pesos colombianos con diferentes tipos de adiciones	70
Tabla 32. Coeficientes ϕR_n según la resistencia máxima a la compresión del concreto.	74

Tabla 33. Costo por m ³ de concretos de 3000, 3500 y 4000 psi en diferentes adiciones de cenizas volantes.	74
Tabla 34. Análisis del Costo-Beneficio en distintos precios de una losa aligerada con varios tipos de concretos, ver Anexo L. (Basado en gráficas N° 3,4 y 5).....	79
Tabla 35. Análisis del Costo-Beneficio en distintos precios de una losa aligerada con f'c = 3500 psi, ver Anexo L.	80

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura de concreto.....	16
Figura 2. Volcán Galeras	16
Figura 3. Caracterización mineralógica de cenizas volantes	17
Figura 4. Funcionamiento de termoeléctrica.....	18
Figura 5. Cantera hermanos Pabón.....	25
Figura 6. Triturado (Pasto, Nariño)	25
Figura 7. Cemento Argos.....	25
Figura 8. SIKAFUME (cenizas volantes).....	26
Figura 9. Extracción arena (Pasto, Nariño).....	26
Figura 10. Arena negra (Cominagro).	26
Figura 11. Granulometría material fino	27
Figura 12. Gradación arena	27
Figura 13. Masa unitaria material fino.....	28
Figura 14. Masa unitaria material fino.....	28
Figura 15. Peso específico material fino	28
Figura 16. Peso específico material fino	28
Figura 17. Granulometría material grueso	29
Figura 18. Gradación triturados	29
Figura 19. Masa unitaria material grueso.....	29
Figura 20. Masa unitaria material grueso.....	29
Figura 21. Peso específico material grueso.....	30
Figura 22. Peso específico material grueso.....	30
Figura 23. Adición (1,5% de cenizas volantes)	45
Figura 24. Asentamiento (7,5 cm).....	45
Figura 25. Adición (4,5% de cenizas volantes)	45
Figura 26. Asentamiento (3,0 cm).....	46

Figura 27. Adición (6,0% de cenizas volantes)	46
Figura 28. Asentamiento (2,0 cm).....	46
Figura 29. Adición (9,0% de cenizas volantes)	47
Figura 30. Asentamiento (0 cm).....	47
Figura 31. Agregado fino y grueso.....	48
Figura 32. Mezcla de concreto fresco.....	48
Figura 33. Ensayo cono de Abrams.....	48
Figura 34. Asentamiento.....	48
Figura 35. Proceso de llenado cubo	49
Figura 36. Pesaje del cubo más agua.....	49
Figura 37. Enrazado de cubo más agua	50
Figura 38. Aforo cubo	50
Figura 39. Materiales y herramienta menor	51
Figura 40. Mezcla de prueba de hormigón	52
Figura 41. Compactación de concreto en cubo	52
Figura 42. Enrase de cubo.....	52
Figura 43. Mezcladora	54
Figura 44. Mezcla de concreto.....	54
Figura 45. Moldes para concreto	54
Figura 46. Relleno y enrase de moldes	54
Figura 47. Desencofrado de cilindros de concreto.....	55
Figura 48. Curado de muestras cilíndricas.	55
Figura 49. Compresión de muestra N°13 (3610 psi).....	55
Figura 50. Desprendimiento de muestra N°4 (2453 psi)	56
Figura 51. Falla transversal en muestra N°28 (4174 psi).....	56
Figura 52. Falla vertical en muestra N°24 (3441 psi).....	56
Figura 53. Deflexión de una viga simplemente apoyada.	73
Figura 54. Corte transversal de una viga	73

Figura 55. Vista en planta y corte transversal de losa aligerada de
concreto con casetones.75

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Factor de modificación para la desviación VS número de ensayos de resistencia a la compresión	33
Gráfica 2. Relación agua/cemento firma SOLINGRAL y Decreto 1400.....	38
Gráfica 3. Incidencia de cenizas volantes en la resistencia del concreto de 3000 psi	57
Gráfica 4. Incidencia de las cenizas volantes en la resistencia del concreto de 3500 psi	58
Gráfica 5. Incidencia de las cenizas volantes en la resistencia del concreto de 4000 psi	59
Gráfica 6. Resistencia Vs cenizas volantes.....	60
Gráfica 7. Resistencia Vs Plastificante.....	61
Gráfica 8. Resistencia 3000 psi Vs Compacidad.....	62
Gráfica 9. Resistencia 3500 psi Vs Compacidad.....	62
Gráfica 10. Resistencia 4000 psi Vs Compacidad	63
Gráfica 11. cenizas volantes Vs Asentamiento	65
Gráfica 12. Compacidad Vs cenizas volantes	66
Gráfica 13. Compacidad Vs Costo (0, 3, 6 Y 9% cenizas volantes)	71

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Masa unitaria arena.....	85
Anexo B. Gravedad específica y absorción de agregados finos	86
Anexo C. Arenas para concretos	87
Anexo D. Masa unitaria grava.....	88
Anexo E. Gravedad específica y absorción de agregados gruesos.....	89
Anexo F. Gravas para concretos	90
Anexo G. Masa unitaria cemento.....	91
Anexo H. Minas Cominagro (Terrazas) - cantera hermanos Pabón	92
Anexo I. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto	93
Anexo J. Losa aligerada, no incluye concreto.....	100
Anexo K. Formaleta metálica	101
Anexo L. Análisis de precios de una losa aligerada con varios tipos de concretos y diferentes adiciones de cenizas volantes.....	102

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos inmemorables el ser humano ha optado por la búsqueda de un lugar adecuado y limpio para habitar; en donde este se sienta seguro y confiado ante las inclemencias del tiempo y los peligros que presenta el medio ambiente. Es por eso que se ha optado por la búsqueda de materiales que sirvan para obtener estructuras cada vez más y más resistentes, gracias a esto el concreto tomo lugar como el principal material de construcción por gran parte de la humanidad (*ilustración 1*). Estudios realizados sobre el hormigón nos han permitido conocer las principales características y propiedades que posee éste como la trabajabilidad, cohesividad, resistencia y durabilidad. La continuidad de dichos estudios y con el paso de los años se ha podido evidenciar la mejoría de estas propiedades con el complemento de los llamados aditivos que son de común uso hoy en día.

En vista de lo anteriormente indicado este trabajo se encamina al estudio de las propiedades del concreto con respuesta a la adición de materiales como las cenizas volantes conocidas también con su nombre en inglés “FLY-ASH”. Este elemento puzolánico permitirá mejorar las propiedades físicas del hormigón y su respuesta a las diferentes condiciones a las cuales se ve sometido, particularmente el medio en que vivimos se encuentra cerca a ciertos lugares donde se esparcen aguas subterráneas con alto contenido de sulfatos como los sectores que forman el pie de monte del volcán Galeras. (*Ilustración 2*).

Figura 1. Estructura de concreto



Figura 2. Volcán Galeras

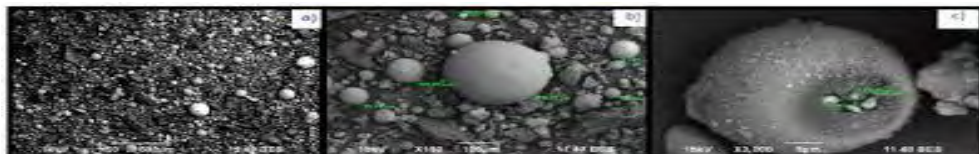


1. DEFINICIÓN DE CENIZAS VOLANTES

La obtención de energía eléctrica a partir del carbón, en cualquier tipo de central térmica, produce grandes cantidades de residuos sólidos, también denominados productos de combustión del carbón o CCPs (Coal Combustion Products), de los cuales, los más abundantes son las cenizas volantes, las escorias y las cenizas de hogar. La composición química de estos materiales corresponde a la de los minerales no combustibles que estaban presentes en el carbón del que proceden cuya composición mayoritariamente es silico-aluminosa, con proporciones menores de óxidos de hierro, calcio, potasio, magnesio y sodio. Las cenizas volantes son un material en polvo de color gris muy fino constituido por partículas macizas o huecas (cenosferas), de forma esférica, de tamaño inferior a $100\mu\text{m}$ (ilustración 5). Las cenosferas pueden a su vez contener en su interior otras partículas más pequeñas, pasando a denominarse plerosferas. Las cenizas volantes se forman a partir de partículas sólidas o de gotas de fundido arrastradas por los gases salientes de la cámara de combustión y son posteriormente recogidas en filtros.

Las cenizas de hogar o las escorias son materiales granulares originados en el interior de la cámara de combustión de donde son extraídos y posteriormente enfriados. La formación de unas u otras depende del tipo de cámara utilizada. Las escorias se forman por el enfriamiento del mineral fundido; son vítreas, de color gris oscuro a negro y de aspecto brillante, mientras que las cenizas de hogar no llegan a fundir y presentan un aspecto menos homogéneo con granos de distintos colores marrón claro, rojizos y otros más oscuros. La mayor parte de las centrales de combustión están diseñadas para operar en seco y producen cenizas volantes y escorias o cenizas de hogar en una proporción de 80/20, aunque sistemas más modernos, que operan con carbón en húmedo, logran retener como escorias proporciones de hasta el 70% de la fracción no combustible¹.

Figura 3. Caracterización mineralógica de cenizas volantes



Fuente: <http://www.unizar.es/lci/lineas/combustion>

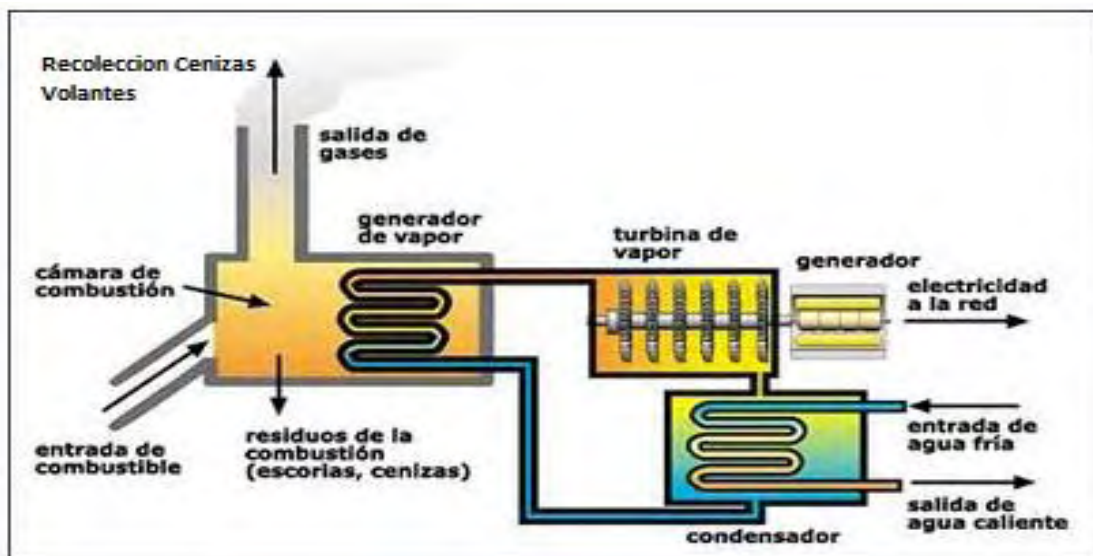
¹ AINETO GOÑI, Mónica. Escorias y cenizas volantes de gasificación de carbón Aplicación a la producción de áridos ligeros expandidos. Universidad de castilla la Mancha; área de mineralogía aplicada. España; Ciudad real, enero. 2009. Disponible en: <http://www.academia.edu/6019818/2009ainetescor>.

Básicamente son cuatro los tipos de carbón que se utilizan en las centrales termoeléctricas: antracita, bituminoso, sub-bituminoso y lignito, en los que varía principalmente el poder calorífico y la cantidad de carbón fijo presente. El tipo de carbón utilizado influenciará en el tipo de ceniza volante que se obtenga. Debido a la mejora de la eficiencia del quemado, el carbón es triturado en partículas más finas, con un 75% que pasan la malla #200 (75 μm).

Los componentes orgánicos son oxidados y volatilizados durante la combustión y las partículas de cenizas se funden en la zona de combustión del horno, sin embargo, una vez que dejan esta zona se enfrían muy rápido, pudiendo pasar de 1500°C a 200°C en unos pocos segundos y cae depositada en el fondo de la cámara de combustión formando la escoria. Pero la mayoría es arrastrada por el flujo gaseoso y es llamada ceniza volante. Para retener las cenizas volantes del flujo de gases que sale de la cámara de combustión y evitar que sean emitidas a la atmósfera se emplean diversos sistemas de retención:

Filtros de tejidos especiales, colectores mecánicos (ciclones), depuradores por vía húmeda y precipitadores electrostáticos. Las cenizas volantes se recogen en las tolvas de los precipitadores electrostáticos, desde donde son transportadas a lugares de almacenamiento, situadas frecuentemente en balsas de decantación o en seco².

Figura 4. Funcionamiento de termoeléctrica.



² VASQUEZ PANIAGUA, Erick. Concreto de alto desempeño con elevado consumo de ceniza volante, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2007. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1705/vasquezpaniagua.pdf?sequence=1>.

1.1. TIPOS DE CENIZAS VOLANTES.

Actualmente se conocen tres tipos de ceniza volante:

Clase N: Puzolanas naturales calcinadas o sin calcinar, como algunas tierras diatomáceas; horstemos opalinos y pizarras; tobas y cenizas volcánicas o pumíticas, calcinadas o sin calcinar; y materiales varios que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias, como algunas arcillas y pizarras³.

Clase F: Ceniza volante normalmente producida de la calcinación del carbón antracítico o bituminoso. Esta clase de ceniza volante tiene propiedades puzolánicas.

Clase C: Ceniza volante normalmente producida de la calcinación del carbón subbituminoso o lignito. Esta clase de ceniza volante además de tener propiedades puzolánicas tiene propiedades cementicias.

1.1.1 Composición química. “Aparentemente existen diferencias considerables en la composición química de la ceniza volante, sin embargo, la diferencia en la composición química por sí misma no es tan importante como las diferencias en la composición mineralógica y la granulometría (tamaño y forma de la partícula) para determinar la influencia de la ceniza volante en las propiedades del concreto”⁴. Ver tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las cenizas volantes según su composición química

	Clase		
	N	F	C
Dióxido de silicio (SiO ₂) + óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) + óxido de hierro (Fe ₂ O ₃), min %	70.0	70.0	50.0
Trióxido de azufre (SO ₃), max %	4.0	5.0	5.0
Contenido de humedad, max %	3.0	3.0	3.0
Pérdida por calcinación, max %	10.0	6.0	6.0

El uso de puzolana de clase F conteniendo más de 12% de pérdida por calcinación puede ser aprobada por el usuario si se cuentan con registros de desempeño o resultados de ensayos aceptables.

1.1.2 Composición mineralógica. La actividad puzolánica de la ceniza volante está altamente influenciada por la cantidad y composición de la fase vidriosa presente. Las cenizas volantes bajas en calcio, producto de la calcinación del carbón bituminoso, contienen vidrio de aluminio-silicato que parece ser un poco menos reactivo que el vidrio de calcio aluminio-silicato, presente en las cenizas volantes altas en calcio.

³ LUGO MAYOR, José David. Efecto de las cenizas volantes tratadas térmicamente como sustituto parcial del cemento en morteros. universidad de San Buenaventura, facultad de ingeniería; programa ingeniería de materiales. Santiago de Cali, 2014.

⁴ *Ibíd.*, P. 24

Los cristales de minerales que se encuentran típicamente en las cenizas volantes bajas en calcio son el cuarzo, mullita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), sillimanita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$), hematita y magnetita. Estos minerales no poseen ninguna propiedad puzolánica. Los cristales de minerales típicamente encontrados en las cenizas volantes altas en calcio son el cuarzo, aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), sulfoaluminato de calcio ($4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3$), anhidrita (CaSO_4), óxido de calcio libre (CaO), óxido de magnesio libre (MgO) y sulfatos de álcali. A excepción del cuarzo y del óxido de magnesio, todos los cristales de minerales presentes en las cenizas volantes altas en calcio son reactivos.

1.1.3 Características de las partículas. En general el mecanismo por el cual las cenizas volantes influyen en las propiedades del concreto fresco y endurecido, depende más del tamaño, forma y textura de las partículas que de la composición química. La demanda de agua y trabajabilidad están controladas por la distribución del tamaño de partículas, por el efecto de empaquetamiento de las partículas y la suavidad de la superficie. Las propiedades puzolánicas y cementicias, que gobiernan el desarrollo de esfuerzos y permeabilidad de las mezclas, están controladas ambas por las características mineralógicas y el tamaño de partícula de la ceniza volante.

Generalmente la actividad puzolánica de la ceniza volante es proporcional a la cantidad de partículas menores a $10 \mu\text{m}$, donde las partículas mayores a $45 \mu\text{m}$ tienen muy poca o casi nula actividad puzolánica. Como referencia se indica que las cenizas volantes de Norte América ordinariamente contienen 40 a 50% de partículas menores a $10 \mu\text{m}$, y menos de 20% de partículas mayores a $45 \mu\text{m}$, con un tamaño promedio aproximado de $20 \mu\text{m}$ ⁵.

1.1.4 Pérdida por ignición. Se sabe que la ceniza volante con alto valor de pérdida por ignición (carbón no quemado) da como resultado una decoloración de la superficie del acabado, causada por las partículas de carbón que ascienden a la superficie. No existe evidencia que el uso de una ceniza volante con un valor de pérdida por ignición entre 10 y 20 % sea perjudicial para el comportamiento a largo plazo del concreto. No obstante, la eficacia de la ceniza volante como puzolana se reduce debido a la consecuente disminución de óxidos principales, tales como el óxido de Sílice (SiO_2), de Aluminio (Al_2O_3) o de Hierro (Fe_2O_3), lo que a su vez puede dar como resultado un fraguado más lento en el concreto⁶.

⁵ LUGO MAYOR, Op.Cit.P.15

⁶ LUGO MAYOR, Op.Cit.p. 16

2. ANTECEDENTES

Las cenizas volantes en una primera instancia eran desechadas como tal, eran llevadas a vertederos en las cercanías de las centrales termoeléctricas de las principales ciudades de Europa y los Estados Unidos, teniendo que hacerse el transporte y apilado con adición de agua debido a la finura y carácter polvoriento de este material, incluso en zonas donde ésta escasea. Durante las etapas iniciales sólo se prestaba atención a la actividad puzolánica de la ceniza volante. En 1981 se resume los resultados de investigaciones previas (Danshen y Yinji) y se propone la hipótesis de los “Efectos de la ceniza volante”, se consideró que la ceniza volante tiene tres efectos en el concreto: el morfológico, el activo y el efecto de micro agregado. Canadá, Estados Unidos y Alemania son pioneros a nivel mundial en la utilización de cenizas para la industria de la construcción. Se puede verificar esto en el *HOTEL PARK LANE* y complejo de oficinas, Halifax, Canadá 1988 en donde Las columnas y vigas requerían de un concreto de 500 kg/cm² a 120 días. No hubo problemas inesperados con el concreto, y la mezcla probó ser económica para los 500 kg/cm² de resistencia a compresión a los 120 días.

En Colombia, el uso de las cenizas volantes no ha sido ampliamente desarrollado debido a la falta de conocimiento con respecto a estas, no solo en sus beneficios sino también en las posibles fuentes disponibles para su adquisición. En la ciudad de Bogotá se centró el trabajo de investigación de los Ingenieros Diego Velandia, Fernando Ramírez y Julián Carrillo Autores del libro “Concretos con cenizas volantes provenientes de termoeléctricas” en el desarrollo del estudio físico y químico de la ceniza como primera fase, como segunda fase se realizó distintos diseños de mezcla con el fin de reemplazar un porcentaje material cementante con cenizas volantes obteniendo resultados beneficiosos tanto en las propiedades físico químicas del concreto como en el costo de este. Cabe resaltar que la aplicación de estas cenizas a las mezclas de concreto está reglamentada bajo el cumplimiento de normas como la ASTM-C-618-03, la NTC 3493, la NTC 3823. En el departamento de Nariño un ejemplo de la efectividad de las cenizas volantes son las cimentaciones del bloque de artes de la Universidad de Nariño, el aditivo usado en esta construcción es “SIKAFUME” (*aditivo en polvo con partículas muy finas que se acompaña por un **plastificante** debido a la gran superficie específica de las mismas*). La presencia de este aditivo otorgó un significativo taponamiento de poros y capilares en el concreto evitando así la penetración de sulfatos a la estructura y el posterior deterioro de la misma. Para el presente trabajo de grado se busca experimentar con la adición de cenizas volantes y sus efectos físicos en el concreto; caso contrario al trabajo de investigación de los ingenieros anteriormente mencionados donde buscaron reemplazar un porcentaje de cemento por otro porcentaje igual de cenizas volantes. Cabe aclarar que las cenizas volantes reducen la permeabilidad del concreto, pero no es un impermeabilizante como tal.

3. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

Antes de empezar con la descripción de la metodología a seguir es necesario como primera instancia definir el tamaño de la muestra con la cual se desarrolla el presente trabajo de investigación, para ello se debe realizar un análisis estadístico para lograr una buena recolección de datos y resultados confiables.

El libro “estadística, Teoría y 875 problemas resueltos” de Murray R. Spiegel precisa una expresión que se muestra a continuación la cual define el tamaño de la muestra cuando no se cuenta con un tamaño de una población inicial:

$$n = \frac{z^2 * p * q}{d^2}$$

Donde:

- z** = es el valor del nivel de confianza que se obtiene de las tablas de distribución normal.
- p** = es la probabilidad de éxito o proporción esperada.
- q** = es la probabilidad de fracaso.
- d** = es el margen de error del muestreo en términos de porcentaje (%).

En el presente trabajo de investigación se asume un nivel de confianza del 90% lo cual significa que los resultados obtenidos probablemente cumplieron las expectativas el 90% de las veces.

Tabla 2. Áreas Bajo la Curva Normal Tipificada de 0 a Z.

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549
0,7	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2995	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767

Gracias a la tabla N° 2, se obtiene el valor del nivel de confianza es $z = 1.645$.

El margen de error es la medida estadística del número de veces que se espera que los resultados obtenidos se encuentren dentro de un rango específico, por tal motivo el error máximo admisible para este trabajo se considera un 6% de la muestra ($d = 0.06$).

Debido a que los valores de probabilidad de éxito y fracaso “p y q” son desconocidos se asume que el valor para cada uno de estos sea de 0.5 (*directriz del libro “estadística, Teoría y 875 problemas resueltos”*).

Con los anteriores datos se calcula el tamaño de la muestra, así:

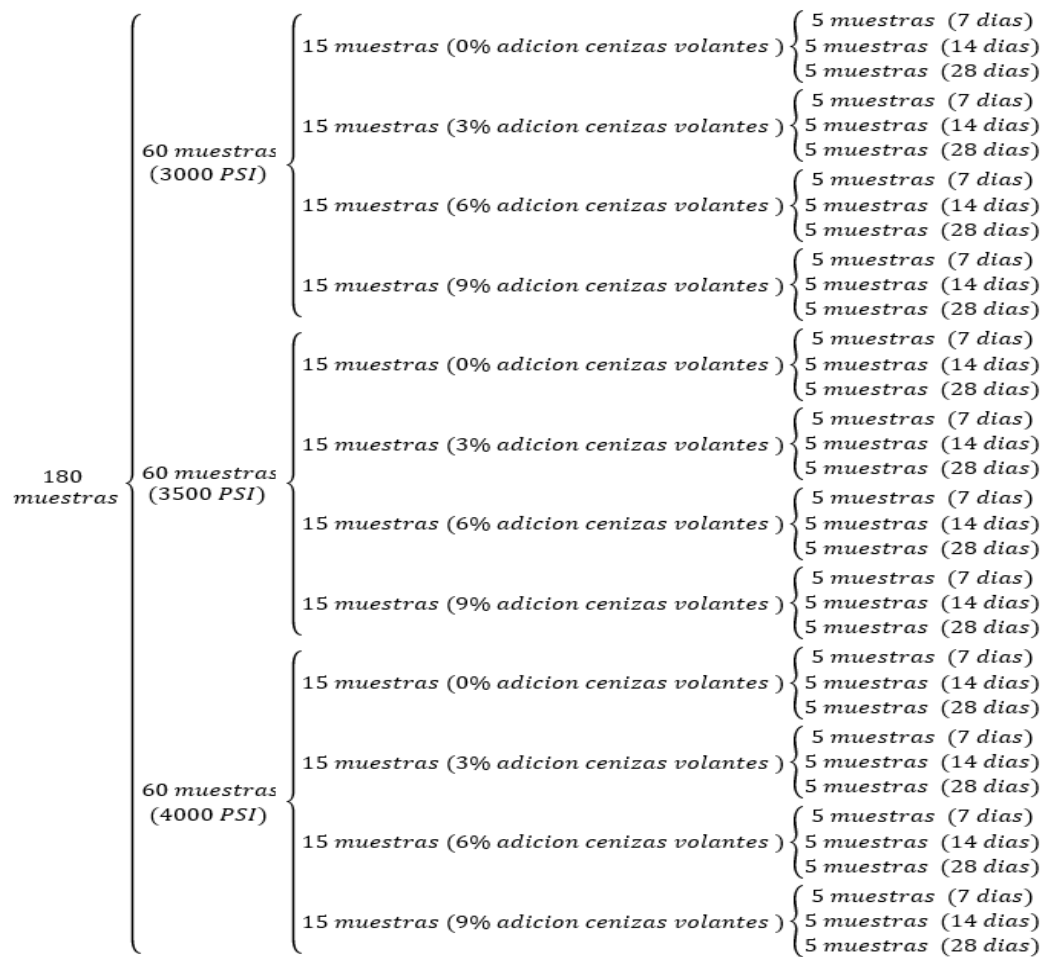
$$n = \frac{(1.645)^2 * 0.5 * 0.5}{(0.06)^2} = 180 \text{ muestras}$$

Por lo anterior se determina que el número de las muestras cilíndricas de concreto es de 180. Una vez definido el tamaño de la muestra, se describe a continuación la metodología a seguir para el desarrollo del presente trabajo.

Se fabrican 180 muestras de concreto de las cuales 60 muestras se elaboran para una resistencia a la compresión de $f'c = 3000$ psi, 60 muestras para una resistencia a la compresión de $f'c = 3500$ psi y 60 muestras para una resistencia a la compresión de $f'c = 4000$ psi con un promedio de dimensiones en cada briqueta de

0.15m de diámetro y 0.30m de alto. Cada conjunto de 60 muestras se divide en 4 grupos de 15 muestras cilíndricas, el primer grupo de 15 muestras se elabora sin ningún tipo de adición, el segundo, tercer y cuarto grupo se elaboran con adición de cenizas volantes al 3%, 6% y 9%, respectivamente. Los grupos de 15 muestras cilíndricas se dividen nuevamente en 3 subgrupos de 5 muestras los cuales son ensayados en la prensa hidráulica a los 7, 14 y 28 días de edad. Como aclaración el porcentaje de cenizas volantes para la realización de las muestras en presente trabajo se toma con respecto al peso del cemento.

Los ensayos de manejabilidad, compacidad y el análisis de costo beneficio son realizados a la totalidad de las muestras cilíndricas de concreto. A continuación, se presenta un cuadro resumen de la metodología a seguir para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.



3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Como primera parte de desarrollo del presente trabajo de investigación se selecciona los materiales (figura 5,6,7,8,9 y 10) que sirvan de herramienta para la futura fabricación y análisis de las diferentes muestras de concreto, a continuación, se muestra el tipo de material y el lugar de procedencia de este:

ARENA LAVADA	➔	COMINAGRO LTDA.
TRITURADO	➔	CANtera HERMANOS PABÓN
CEMENTO	➔	ARGOS
AGUA	➔	EMPOPASTO S.A.
FLY ASH	➔	SIKAFUME (SIKA)

Figura 5. Cantera hermanos Pabón.



Figura 6. Triturado (Pasto, Nariño)



Figura 7. Cemento Argos.

Figura 8. SIKAFUME (cenizas volantes).



Figura 9. Extracción arena (Pasto, Nariño)



Figura 10. Arena negra (Cominagro).



Las propiedades físicas del cemento y de los diferentes agregados se obtuvieron de acuerdo con los ensayos realizados a los mismos según las normas técnicas vigentes en el país, los resultados son los siguientes:

AGREGADO GRUESO

DENSIDAD APARENTE SECA

(Gg.) = 2,55

TAMAÑO MÁXIMO

(TM.) = 1 1/2"

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

(TMN.) = 1"

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

(%ABSg.) = 2,86

MASA UNITARIA SUELTA (MUSg.) = 1,33

AGREGADO FINO

DENSIDAD APARENTE SECA (Gf.) = 2,28
MODULO DE FINURA (Mf.) = 3,10
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%ABSf.) = 6,74
MASA UNITARIA SUELTA (MUSf.) = 1,18

CEMENTO

PESO ESPECÍFICO (Gc.) = 3,04
MASA UNITARIA SUELTA (MUSc.) = 1,06
FINURA (Fc.) = 4,01

AGUA

DENSIDAD APARENTE SECA (Gc.) = 1,00
MASA UNITARIA SUELTA (MUSc.) = 1,00

Registro fotográfico ensayos de laboratorio agregado fino

Figura 11. Granulometría material fino



Figura 12. Gradación arena



Figura 13. Masa unitaria material fino



Figura 14. Masa unitaria material fino



Figura 15. Peso específico material fino



Figura 16. Peso específico material fino



Registro fotográfico ensayos de laboratorio agregado grueso

Figura 17. Granulometría material grueso



Figura 18. Gradación triturados



Figura 19. Masa unitaria material grueso



Figura 20. Masa unitaria material grueso



Figura 21. Peso específico material grueso



Figura 22. Peso específico material grueso



Fuente: <http://www.arqhys.com/contenidos>

3.2 RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA (f'_{cr})

Conocidas las resistencias especificadas (f'_c) se procede a calcular la resistencia promedio a la compresión requerida (f'_{cr}).

Las resistencias de diseño propuestas para el desarrollo de este trabajo, son:

Tabla 3. Resistencias de diseño en diferentes unidades de medida

N°	psi	k/Cm2	MPa
1.	3000	210	21,00
2.	3500	245	24,50
3.	4000	280	28,00

Por la ausencia de datos estadísticos para la realización del diseño de la mezcla, la tabla C.5.3.2.2 de la NSR-10 nos señala que las resistencias especificadas (f'_c) que se encuentren entre los 21 y 35 MPa. se deben mayorar en 8,3 MPa para obtener la resistencia promedio a la compresión requerida (f'_{cr}).

$$\begin{array}{llll}
 21 \text{ MPa} \leq 21,00 & \leq 35 \text{ MPa} & \Rightarrow & f'_{cr} = 29,30 \text{ MPa} \\
 21 \text{ MPa} \leq 24,50 & \leq 35 \text{ MPa} & \Rightarrow & f'_{cr} = 32,80 \text{ MPa} \\
 21 \text{ MPa} \leq 28,00 & \leq 35 \text{ MPa} & \Rightarrow & f'_{cr} = 36,30 \text{ MPa}
 \end{array}$$

Gracias a experiencias anteriores, el director del presente trabajo Ing. Vicente Parra recomienda que el valor del incremento para lograr un f'_{cr} adecuado se emplee en una magnitud de 5 MPa en lugar de 8.3 como se indicó anteriormente.

$$\begin{array}{llll}
 21 \text{ MPa} \leq 21,00 & \leq 35 \text{ MPa} & \Rightarrow & f'_{cr} = 26,00 \text{ MPa} \\
 21 \text{ MPa} \leq 24,50 & \leq 35 \text{ MPa} & \Rightarrow & f'_{cr} = 29,50 \text{ MPa} \\
 21 \text{ MPa} \leq 28,00 & \leq 35 \text{ MPa} & \Rightarrow & f'_{cr} = 33,00 \text{ MPa}
 \end{array}$$

Con base en los anteriores datos se procedió a realizar el diseño de mezcla respectivo, posteriormente se fabricaron 14 cilindros de 0.15 m. de diámetro y 0.30 m de alto la cuales fueron ensayadas a compresión a los 28 días.

Los resultados fueron los siguientes

Tabla 4. Resultados de ensayos resistencias a la compresión

Muestra N°	Peso (Gramos)	Diámetro (Centímetros)	Resistencia	
			KN	MPa
1	12632	15,0	583,00	33,00
2	12448	15,0	464,30	26,27
3	12269	15,0	547,00	30,95
4	11792	15,0	536,90	30,38
5	12620	15,0	607,00	34,35
6	12252	15,0	567,70	32,13
7	12601	15,0	580,00	32,82
8	12764	15,0	532,20	30,12
9	12559	15,0	546,30	30,92
10	12615	15,0	537,80	30,43
11	12518	15,0	556,60	31,50
12	12241	15,0	572,30	32,38
13	12626	15,0	582,40	32,96
PROMEDIO	12457	15,0	554,88	31,40

En esta instancia al poseer un registro de resultados de ensayos se procede a calcular la desviación estándar (Ss.) la cual es la medida de la dispersión de resultados de resistencias anteriormente obtenidas, así:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}}$$

Donde:

S = Desviación estándar

x_i = Resistencia de la probeta de concreto

\bar{X} = Resistencia promedio de n probetas

n = Número de ensayos consecutivos de resistencia

Tabla 5. Cálculos desviación estándar

$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2$
1,60	2,56
-5,13	26,32
-0,45	0,20
-1,02	1,04
2,95	8,70
0,73	0,53
1,42	2,01
-1,28	1,64
-0,48	0,23
-0,97	0,94
0,10	0,01
0,98	0,96
1,56	2,43
$\sum (x_i - \bar{X})^2$	47,59

La desviación estándar es:

$$S_s = \left[\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \right]^{1/2} = 1,99 \text{ MPa.}$$

Debido a que el número de cilindros ensayados es menor a 30 la Norma Colombiana Sismo Resistente aclara que este resultado debe verse afectado por un factor de modificación según la tabla 6 que se muestra a continuación:

Tabla 6. Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos

Numero de Ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra
Menos de 15	Emplee la tabla C.5.3.2.2
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30	1,00

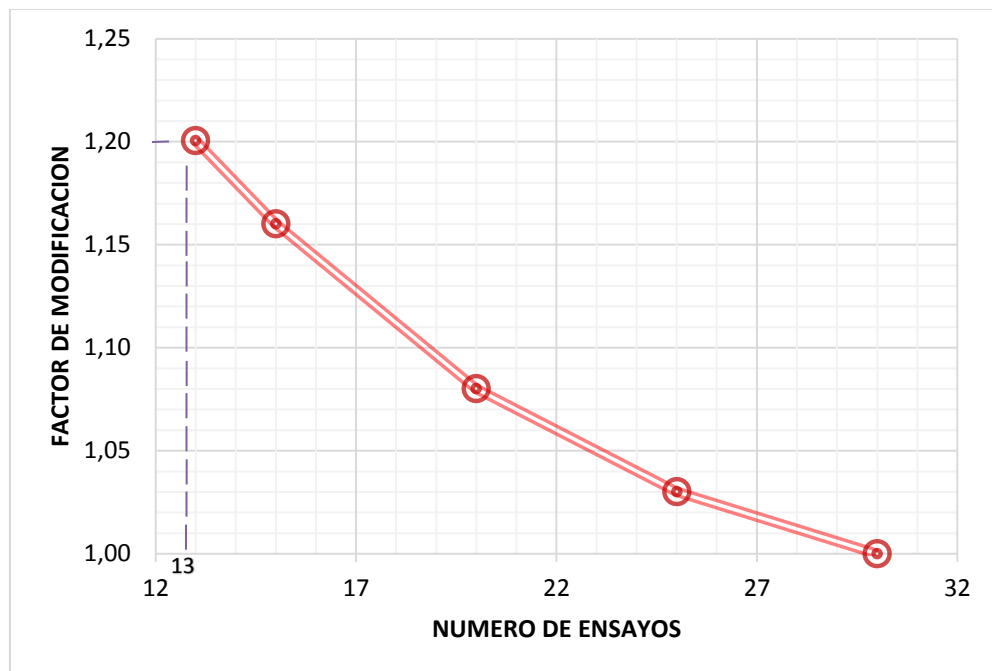
Fuente: Norma Sismo Resistente (NSR – 10) Titulo C.5.3.1.2

Como el valor para 13 ensayos no se contempla en la tabla N°4, es necesario realizar una extrapolación con la ayuda de la ecuación de la gráfica N°1 para conocer el factor de modificación para este caso, tal como se muestra a continuación:

$$Y = 0,0006X^2 - 0,037X + 1,58 \quad \leftarrow \text{Ecuación de la Curva}$$

$$Y = 0,0006(13)^2 - 0,037(13) + 1,58 = 1,20$$

Gráfica 1. Factor de modificación para la desviación VS número de ensayos de resistencia a la compresión



$$S_s. = 1,99 * 1,20 = 2,39 \text{ MPa} \quad \leftarrow \text{Desviación Estándar}$$

Si se transforma el valor de la desviación estándar de MPa a kg/cm^2 se tiene que es de 23.90 y se puede concluir que esta se encuentra dentro de un rango “Aceptable” al tratarse de mezclas realizadas en laboratorio tal como se observa en la tabla N° 6.

Tabla 7. Normas para el control del concreto.

<i>Producción General - Variación Total</i>					
<i>Clase de Operación</i>	<i>Desviación estándar para diferentes grados de control en Kg/cm^2</i>				
	<i>Excelente</i>	<i>Muy Bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Aceptable</i>	<i>Pobre</i>
Pruebas de Control en Campo	Menor de 25	25 – 35	35 – 40	40 – 50	Mayor de 50
Mezclas de Prueba de Laboratorio	Menor de 15	15 – 17	17 – 20	20 – 25	Mayor de 25

Fuente: tabla 10.4, tecnología del concreto y del mortero, Diego Sánchez de Guzmán

Como último paso se aplicará la normatividad de NSR-10 la cual reglamenta la resistencia promedio a la compresión requerida (f'_{cr}) cuando se tiene conocimiento del valor de la desviación estándar, así:

Tabla 8. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión; MPa
$f'_c \leq 35$	$F'_{cr} = F'_c + 1,34. Ss.$ $F'_{cr} = F'_c + 2,33. Ss. - 3,5$
$f'_c > 35$	$F'_{cr} = F'_c + 1,34. Ss.$ $F'_{cr} = 0,90. F'_c + 2,33. Ss.$

Fuente: Norma Sismo Resistente (NSR – 10) Título C.5.3.2.1

Para concreto de 21 MPa

$$f'_{cr1} = 24,20 \approx 25 \text{ MPa}$$

$$f'_{cr2} = 23,07 \text{ MPa}$$

Se aumenta el $f'c$ en 4 MPa ya que el valor $f'cr$ obtenido por la tabla N°7 es próximo a este valor.

Para concreto de 24,5 MPa

$$f'_{cr1} = 27,70 \approx 28,5 \text{ MPa}$$

$$f'_{cr2} = 26,57 \text{ MPa}$$

Se aumenta el $f'c$ en 4 MPa ya que el valor $f'cr$ obtenido por la tabla N°7 es próximo a este valor.

Para concreto de 28 MPa

$$f'_{cr1} = 31,20 \approx 32 \text{ MPa}$$

$$f'_{cr2} = 30,07 \text{ MPa}$$

Se aumenta el $f'c$ en 4 MPa ya que el valor $f'cr$ obtenido por la tabla N°7 es próximo a este valor.

3.3 DISEÑO DE MEZCLA

Antes de comenzar el proceso de dosificación es fundamental comprobar que los agregados cumplan con las normas **NTC 174**, el cemento con las **NTC 121** y **321**, el agua con la **NTC 3459**, los aditivos con la **NTC 1299** y las adiciones con la **NTC 3493**. Para ello se relaciona a continuación los resultados de los ensayos de laboratorio realizados al cemento, agregados, y agua.

Características de los materiales a emplear.

Tabla 9. Características de los materiales a emplear

	GRUESOS	FINOS	CEMENTO	AGUA
Densidad Aparente Seca (gr/cm^3)	2,55	2,28	3,04	1,00
Tamaño Máximo (pulgadas)	1 1/2"			
tamaño Máximo Nominal (pulgadas)	1"			
Porcentaje de Absorción (%)	2,86	6,74		
Masa Unitaria Suelta(gr/cm^3)	1,33	1,18	1,06	1,00
Módulo de Finura		3,10		
Finura			4,01	

Por medio del método alternativo de mezcla de materiales (curva de WEYMOUTH) la proporción de agregados resultó:

	A. GRUESO	A. FINO
Por granulometría se adopta	57	43

3.3.1 Selección del asentamiento. De acuerdo con la siguiente tabla 10 se toma el asentamiento recomendado para edificaciones (vigas y columnas).

Tabla 10. Asentamientos recomendados para concretos de diferentes grados de manejabilidad.

TIPOS DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO (cm)	
	MAXIMO	MINIMO
- Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
- Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
- Vigas y muros reforzados	10	2
- Columnas	10	2
- Pavimentos y losas	8	2
- Concreto ciclópeo y masivo	5	2

Fuente: Ing. Gerardo A. Rivera L. – Universidad del Cauca, Departamento de Geotecnia.

3.3.2 Selección del tamaño máximo del agregado. Aquí se debe chequear dicho tamaño con planos estructurales o con recomendaciones del calculista en obras civiles, para este caso se asume que:

$$\text{Tamaño Máximo (TM)} = 1 \frac{1}{2}''$$

Estimación del agua de la mezcla. Para esta selección es necesario tener en cuenta la tabla 11, que se muestra a continuación:

Tabla 11. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado con partículas de forma angular.

ASENTAMIENTO		Centímetros pulgadas							
		5	2,0						
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado en mm. (pulgadas)							
		9,51 3/8"	12,7 1/2"	19,0 3/4"	25,4 1"	38,1 1 1/2"	50,8 2"	64,0 2 1/2"	76,1 3"
mm	pulgadas	Agua de mezclado en kg/m3 de concreto.							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Fuente: tabla 11.7, tecnología del concreto y del mortero, Diego Sánchez de Guzmán

El Instituto Americano del Concreto (A.C.I. 211.1) indica que para la estimación del agua de mezcla se aplica la siguiente ecuación:

$$W = 218.8 s^{0.1} / TM^{0.18}$$

W (Kg): Contenido de agua para un m³ de hormigón

s (mm): Asentamiento

TM (mm): Tamaño máximo del agregado

AGUA	170	Kg/M3	según TABLA 11.7
	167	Kg/M3	según A.C.I. 211.1

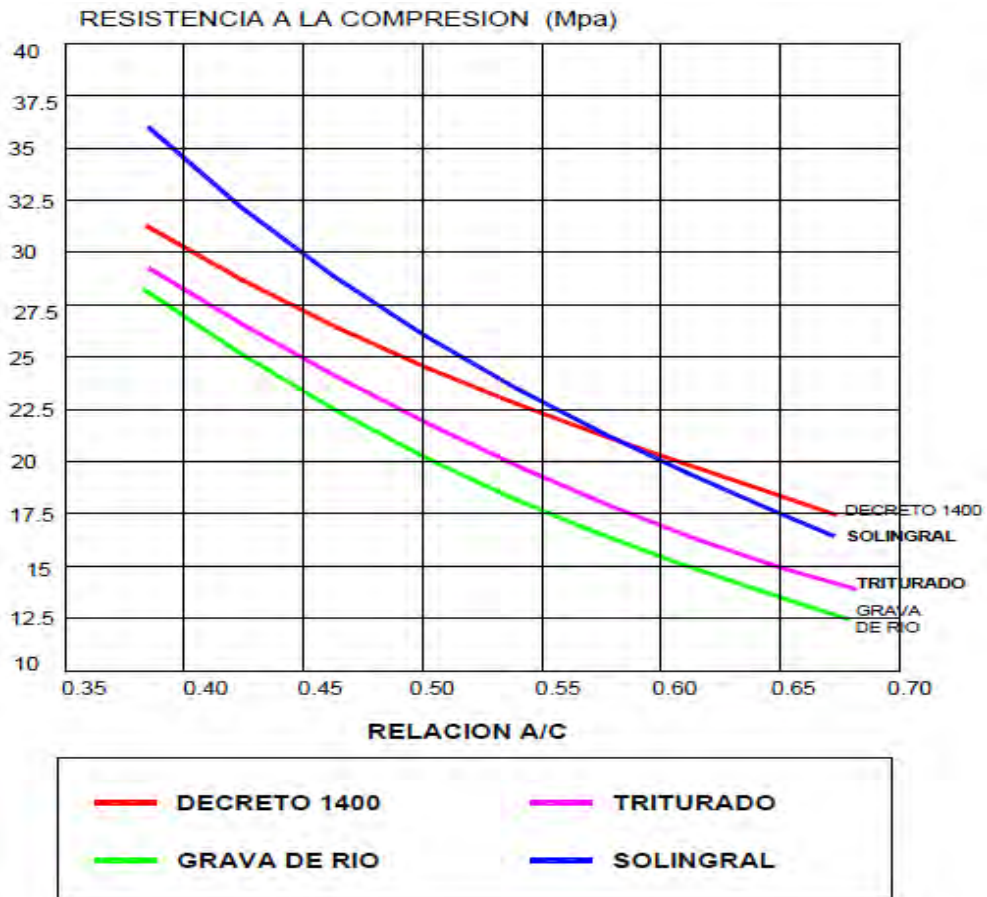
Comparando la cantidad de agua que muestra la tabla 11 con la ecuación del instituto americano del concreto, se puede optar por la primera opción ya que esta cantidad es mayor que la indicada por la ecuación del instituto americano del concreto.

Resistencia de dosificación de la mezcla (f'cr). Como se observa en el punto 8.2 del presente trabajo las resistencias para la dosificación son:

f'cr =	psi	kg/cm2
	3571	250
	4071	285
	4571	320

Selección de la relación agua cemento (A/C). Como primer punto se realizará la selección de la relación agua/cemento por concepto de Resistencia. Para ello se utilizará las gráficas y ecuaciones de la firma SOLINGRAL que es una empresa de ingeniería dedicada al campo de estudio y desarrollo de la Geotecnia en el territorio nacional.

Gráfica 2. Relación agua/cemento firma SOLINGRAL y Decreto 1400



➤ La firma SOLINGRAL LTDA. encontró para materiales procedentes del valle del río Medellín y de diferentes regiones de Antioquia, Valle, Choco, Caldas y la costa Atlántica y cementos: El Cairo, Nare, Argos y Caribe, la siguiente relación:

$$RC_{28} = 985 / 14,3^{A/C} \text{ [en Kg/cm}^2\text{]}$$

➤ Las ecuaciones para estos valores del DECRETO 1400 son:

$$RC_{28} = 685,14 / 7,64^{A/C} \text{ [en Kg/cm}^2\text{]} \rightarrow \textit{Sin Aire Incluido}$$

$$RC_{28} = 661,04 / 11,86^{A/C} \text{ [en Kg/cm}^2\text{]} \rightarrow \textit{Con Aire Incluido}$$

Con la aplicación de las ecuaciones del decreto 1400 (sin Aire Incluido) y SOLINGRAL se obtuvo los resultados de la tabla 12 como se muestra a continuación:

Tabla 12. Relaciones agua/cemento para diferentes tipos de mezcla.

	f'cr	DECRETO 1400	SOLINGRAL
A/C	3571 psi	0,50	0,52
	4071 psi	0,43	0,47
	4571 psi	0,37	0,42

Debido a que la firma SOLINGRAL realizó su ecuación a partir de materiales colombianos se usarán las relaciones agua/cemento determinados por esta firma para continuar con el presente diseño de mezcla.

Una vez realizada la selección por concepto de resistencia se realizará ahora la selección de la relación agua/cemento por concepto de Durabilidad, teniendo en cuenta que se asume que el diseño de mezcla se realiza para secciones moderadas como muros de contención, estribos, pilas, vigas.

Tabla 13. Valores máximos para las relaciones agua cemento para diferentes tipos de estructuras y grados de exposición.

TIPO DE ESTRUCTURA	Condiciones De Exposición		
	Número superior clima severo, bastante variación de temperatura ++.		
	Número Inferior, clima suave, lluvioso o seco		
	EN EL AIRE	Concreto en el agua o alcance de niveles oscilantes del agua	
Agua dulce		Agua salada o en contacto con sulfatos. +	
Secciones delgadas, concreto ornamental, pilotes reforzados, tuberías, secciones con recubrimientos menores de 2,5 cm.	0,49	0,44	0,40
	0,53	0,49	0,40
Secciones moderadas como muros de contención, estribos, pilas, vigas.	0,53 *	0,49 0,53	0,44 0,44
Partes exteriores de estructuras masivas.	0,57 -	0,49 0,53	0,44 0,44
Concreto depositado a presión bajo el agua.	- -	0,44 0,44	0,44 0,44
Losa sobre el piso	0,53 *	- -	- -
Concreto protegido contra la meteorización, inferior de edificios, concreto en el subsuelo.	* *	- -	- -

Fuente: Ing. Gerardo A. Rivera L. – Universidad del Cauca, Departamento de Geotecnia.

Se tiene entonces que:

$A/C = *$ \Rightarrow No se conoce relación agua cemento para clima suave, lluvioso o seco.

Cálculo de contenido de cemento.

$$\text{Cemento} = \frac{A}{A/C}$$

Tabla 14. Cantidad de cemento requerido por metro cubico de concreto

f'cr	Cemento (kg/m3 Cto.)
3571 psi	330
4071 psi	365
4571 psi	402

Cálculo de cantidad de cada agregado.

Para f'cr = 3571 psi.

VOL. ABS. AGREGADOS + VOL ABS. AGUA + VOL. ABS. CEMENTO = 1000 dm3

$$\text{VOL. ABS. AGREGADOS} = 1000 - \frac{170}{1,00} - \frac{330}{3,04} = 721,4 \text{ dm}^3$$

$$G \text{ PROMEDIO} = \frac{100}{\sum \frac{\%i}{Gi}} = \frac{100}{\frac{57}{2.55} + \frac{43}{2.28}} = 2.43 \text{ Kg/dm}^3$$

PESO DEL AGREGADO =	721,4 x 2,43 =	1.752 kg/m3 de concreto
PESO DEL AGREGADO FINO =	1752 x 0,43 =	753 kg/m3 de concreto
PESO DEL AGREGADO GRUESO =	1752 x 0,57 =	998 kg/m3 de concreto

Para f'cr = 4071 psi.

VOL. ABS. AGREGADOS + VOL ABS. AGUA + VOL. ABS. CEMENTO = 1000 dm3

$$\text{VOL. ABS. AGREGADOS} = 1000 - \frac{170}{1,00} - \frac{365}{3,04} = 710,0 \text{ dm}^3$$

$$G \text{ PROMEDIO} = \frac{100}{\sum \frac{\%i}{Gi}} = \frac{100}{\frac{57}{2.55} + \frac{43}{2.28}} = 2.43 \text{ Kg/dm}^3$$

PESO DEL AGREGADO =	710,0 x 2,43 =	1.724 kg/m3 de concreto
PESO DEL AGREGADO FINO =	1724 x 0,43 =	741,3 kg/m3 de concreto
PESO DEL AGREGADO GRUESO =	1724 x 0,57 =	982,6 kg/m3 de concreto

Para f'cr = 4571 psi.

VOL. ABS. AGREGADOS + VOL ABS. AGUA + VOL. ABS. CEMENTO = 1000 dm3

$$\text{VOL. ABS. AGREGADOS} = 1000 - \frac{170}{1,00} - \frac{402}{3,04} = 697,8 \text{ dm}^3$$

$$G \text{ PROMEDIO} = \frac{100}{\sum \frac{\%i}{Gi}} = \frac{100}{\frac{57}{2,55} + \frac{43}{2,28}} = 2,43 \text{ Kg/dm}^3$$

PESO DEL AGREGADO =	697,8 x 2,43 =	1.694 kg/m ³ de concreto
PESO DEL AGREGADO FINO =	1694 x 0,43 =	729 kg/m ³ de concreto
PESO DEL AGREGADO GRUESO =	1694 x 0,57 =	966 kg/m ³ de concreto

Proporciones iniciales en peso seco.

Para $f'_{cr} = 3571$ psi.

Tabla 15. Proporciones iniciales en peso seco concreto de 3000 psi.

DESCRIPCIÓN	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	Σ
Peso material (kg/m ³ Cto.)	170	330	753,2	998,4	2252
Vol. Abs. Materiales (dm ³ /m ³ Cto.)	170	108,58	330,20	391,22	1000
proporción en peso seco	0,52	1,00	2,28	3,02	

Para $f'_{cr} = 4071$ psi.

Tabla 16. Proporciones iniciales en peso seco concreto de 3500 psi.

DESCRIPCIÓN	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	Σ
Peso material (kg/m ³ Cto.)	170	365	741,3	982,6	2259
Vol. Abs. Materiales (dm ³ /m ³ Cto.)	170	120,00	324,97	385,03	1000
proporción en peso seco	0,47	1,00	2,03	2,69	

Para $f'_{cr} = 4571$ psi.

Tabla 17. Proporciones iniciales en peso seco concreto de 4000 psi.

DESCRIPCIÓN	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	Σ
Peso material (kg/m ³ Cto.)	170	402	728,5	965,7	2266
Vol. Abs. Materiales (dm ³ /m ³ Cto.)	170	132,20	319,39	378,41	1000
proporción en peso seco	0,42	1,00	1,81	2,40	

Proporciones finales en peso seco. Gracias a la experiencia adquirida con el ensayo y posterior análisis de los primeros cilindros de concreto se llegó a la conclusión que se puede excluir el ajuste por resistencia de este diseño debido a que las anteriores muestras alcanzaron un valor superior a la resistencia deseada, por tal razón a continuación se muestran las proporciones en peso seco ajustadas únicamente por humedad y asentamiento.

Para $f'_{cr} = 3571$ psi.

Tabla 18. Proporciones finales en peso seco concreto de 3000 psi sin adición de cenizas volantes.

SIN ADITIVO					
DESCRIPCIÓN	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	Σ
Vol. Abs. Material (dm ³ /m ³ cto.)	182,92	116,84	315,12	385,13	1000
Peso material (kg/m ³ cto.)	182,92	355,18	718,80	982,89	2239,79
Proporción peso seco	0,52	1,00	2,02	2,77	

Tabla 19. Proporciones finales en peso seco concreto de 3000 psi con adición de cenizas volantes y plastificante.

CON ADITIVO											
DESCRIPCIÓN	AGUA	CENIZAS VOLANTES			SIKAPLAST			CEMENTO 3%	AGREGADO FINO 6%	AGREGADO GRUESO 9%	Σ 0,5%
		3%	6%	9%	0,5%	1,0%	1,5%				
Vol. Abs. Material (dm ³ /m ³ cto.)	182,92	0,00005	0,0001	0,00016	0,000016	0,000032	0,000048	116,84	315,12	385,13	1000
Peso material (Kg/m ³ cto.)	182,92	10,66	21,31	31,97	1,78	3,55	5,33	355,18	718,80	982,89	2239,79
Proporción peso seco	0,52	0,03	0,06	0,09	0,005	0,010	0,015	1,00	2,02	2,77	

Para $f'_{cr} = 4071$ psi.

Tabla 20. Proporciones finales en peso seco concreto de 3500 psi sin adición de cenizas volantes.

SIN ADITIVO					
DESCRIPCIÓN	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	Σ
Vol. Abs. Material (dm ³ /m ³ cto.)	194,41	137,23	294,65	373,70	1000
Peso material (kg/m ³ cto.)	194,41	417,19	672,12	953,72	2237,45
Proporción peso seco	0,47	1,00	1,61	2,29	

Tabla 21. Proporciones finales en peso seco concreto de 3500 psi con adición de cenizas volantes y plastificante.

CON ADITIVO											
DESCRIPCIÓN	AGUA	CENIZAS VOLANTES			SIKAPLAST			CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	Σ
		3%	6%	9%	0,5%	1,0%	1,5%				
Vol. Abs. Material (dm ³ /m ³ cto.)	194,41	0,00006	0,00012	0,00019	0,000019	0,000037	0,000056	137,23	294,65	373,70	1000
Peso material (Kg/m ³ cto.)	194,41	12,52	25,03	37,55	2,09	4,17	6,26	417,19	672,12	953,72	2237,45
Proporción peso seco	0,47	0,03	0,06	0,09	0,005	0,010	0,015	1,00	1,61	2,29	

Para $f'_{cr} = 4571$ psi.

Tabla 22. Proporciones finales en peso seco concreto de 4000 psi sin adición de cenizas volantes.

SIN ADITIVO					
DESCRIPCIÓN	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	Σ
Vol. Abs. Material (dm ³ /m ³ cto.)	194,21	151,02	287,40	367,37	1000
Peso material (kg/m ³ cto.)	194,21	459,12	655,56	937,58	2246,46
Proporción peso seco	0,42	1,00	1,43	2,04	

Tabla 23. Proporciones finales en peso seco concreto de 4000 psi con adición de cenizas volantes y plastificante.

CON ADITIVO											
DESCRIPCIÓN	AGUA	CENIZAS VOLANTES			SIKAPLAST			CEMENTO 3%	AGREGADO FINO 6%	AGREGADO GRUESO 9%	Σ 0,5%
		3%	6%	9%	0,5%	1,0%	1,5%				
Vol. Abs. Material (dm ³ /m ³ cto.)	194,21	0,00007	0,00014	0,00021	0,000020	0,000041	0,000061	151,02	287,40	367,37	1000
Peso material (Kg/m ³ cto.)	194,21	13,77	27,55	41,32	2,30	4,59	6,89	459,12	655,56	937,58	2246,46
Proporción peso seco	0,42	0,03	0,06	0,09	0,005	0,010	0,015	1,00	1,43	2,04	

4. RESULTADOS

Inicialmente se pretende valorar la incidencia de las cenizas volantes en la manejabilidad del concreto, es por eso por lo que, se realizaron 6 ensayos con el cono de Abrams para adiciones de cenizas volantes del 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, 6% y 9% del peso del cemento utilizado para este ensayo (figuras 23, 24, 25, 28 y 29). Con las anteriores experiencias se pudo observar un cambio en el asentamiento de la mencionada mezcla tal como se indica en el siguiente registro fotográfico.

Figura 23. Adición (1,5% de cenizas volantes)



Figura 24. Asentamiento (7,5 cm)



Figura 25. Adición (4,5% de cenizas volantes)

Figura 26. Asentamiento (3,0 cm)



Figura 27. Adición (6,0% de cenizas volantes)



Figura 28. Asentamiento (2,0 cm)



Figura 29. Adición (9,0% de cenizas volantes)



Figura 30. Asentamiento (0 cm)



Como siguiente paso se realiza la fundición de las 180 muestras de concreto no sin antes valorar y corroborar que el asentamiento de la mezcla o asentamiento sea el deseado como se muestra en siguiente registro fotográfico(figuras 31, 32, 33 y 34).

Figura 31. Agregado fino y grueso



Figura 32. Mezcla de concreto fresco



Figura 33. Ensayo cono de Abrams



Figura 34. Asentamiento



Establecer la compacidad del concreto es una de las finalidades de este trabajo de investigación, es por eso por lo que para lograr dicho fin fue necesario la utilización de un cubo con un promedio de medidas de 0.25 m. de alto, 0.25 de largo y 0.25 m. de ancho el cual fue previamente aforado como se muestra a continuación (figuras 35, 36, 37 y 38).

Figura 35. Proceso de llenado cubo



Figura 36. Pesaje del cubo más agua



Figura 37. Enrazado de cubo más agua



Figura 38. Aforo cubo



Tabla 24. Valores de medida reales del cubo

PESO DEL CUBO = 15270 g = 15,27 kg

H1 =	25,00	A1 =	25,00	L1 =	24,90
H2 =	25,00	A2 =	25,20	L2 =	25,20
H3 =	24,90	A3 =	24,90	L3 =	24,90
PROMEDIO	24,97		25,03		25,00

VOLUMEN = 15,62 LTS

AFORO = 15,48 LTS

Como se puede observar el volumen obtenido a través del producto de las mediciones reales del cubo es muy similar al volumen logrado a través del aforo, pero para efectos de cálculo emplearemos este último.

Una vez establecido el volumen del cubo se procedió a llenar este con las diferentes mezclas de concreto para posteriormente pesarlo y establecer por medio de la diferencia de masas entre el cubo y la mezcla el peso volumétrico de la mezcla (figuras 39, 40, 41 y 42). Los resultados de los pesos obtenidos del concreto en estado fresco se relacionan en la tabla N° 23.

Tabla 25. Resultados de los pesos obtenidos del concreto en estado fresco según dosificación de Fly-Ash.

PESO VOLUMÉTRICO (gramos)			
CENIZAS VOLANTES	RESISTENCIAS f'c (psi)		
	3000	3500	4000
0%	33890	33990	34020
3%	34040	34510	34620
	33980	34480	34590
6%	34470	34640	34680
	34520	34590	34650
9%	34630	34690	34780
	34590	34710	34750

Figura 39. Materiales y herramienta menor



Figura 40. Mezcla de prueba de hormigón



Figura 41. Compactación de concreto en cubo



Figura 42. Enrase de cubo



Con respecto a la resistencia se realizaron los ensayos a compresión correspondientes (figuras 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 y 52) según la norma I.N.V.E – 410 – 7 y el promedio de dichas resistencias a los 7,14 y 28 días de edad para los diferentes tipos de mezclas se muestran a continuación.

Tabla 26. Promedio de resultados de ensayos a compresión de concreto de 3000 psi a 7, 14 y 28 días de edad, (Ver Anexo I).

f'c = 3000 psi, f'cr = 3571 psi			
CENIZAS VOLANTES	7 días	14 días	28 días
	psi	psi	psi
0%	2452	3461	3611
3%	2879	3531	4170
6%	3237	4271	4939
9%	3383	4394	5073

Tabla 27. Promedio de resultados de ensayos a compresión de concreto de 3500 psi a 7, 14 y 28 días de edad, (Ver Anexo I).

f'c = 3500 psi, f'cr = 4071 psi			
CENIZAS VOLANTES	7 días	14 días	28 días
	psi	psi	psi
0%	2868	3529	4131
3%	3636	4431	5157
6%	3986	4626	5407
9%	4197	4904	5573

Tabla 28. Promedio de resultados de ensayos a compresión de concreto de 4000 psi a 7, 14 y 28 días de edad, (Ver Anexo I).

f'c = 4000 psi, f'cr = 4571 psi			
CENIZAS VOLANTES	7 días	14 días	28 días
	psi	psi	psi
0%	3267	3939	4664
3%	3821	4773	5426
6%	4214	5401	6233
9%	4940	5561	6551

Figura 43. Mezcladora



Figura 44. Mezcla de concreto



Figura 45. Moldes para concreto



Figura 46. Relleno y enrase de moldes



Figura 47. Desencofrado de cilindros de concreto



Figura 48. Curado de muestras cilíndricas.



Figura 49. Compresión de muestra N°13 (3610 psi)



Figura 50. Desprendimiento de muestra N°4 (2453 psi)



Figura 51. Falla transversal en muestra N°28 (4174 psi)



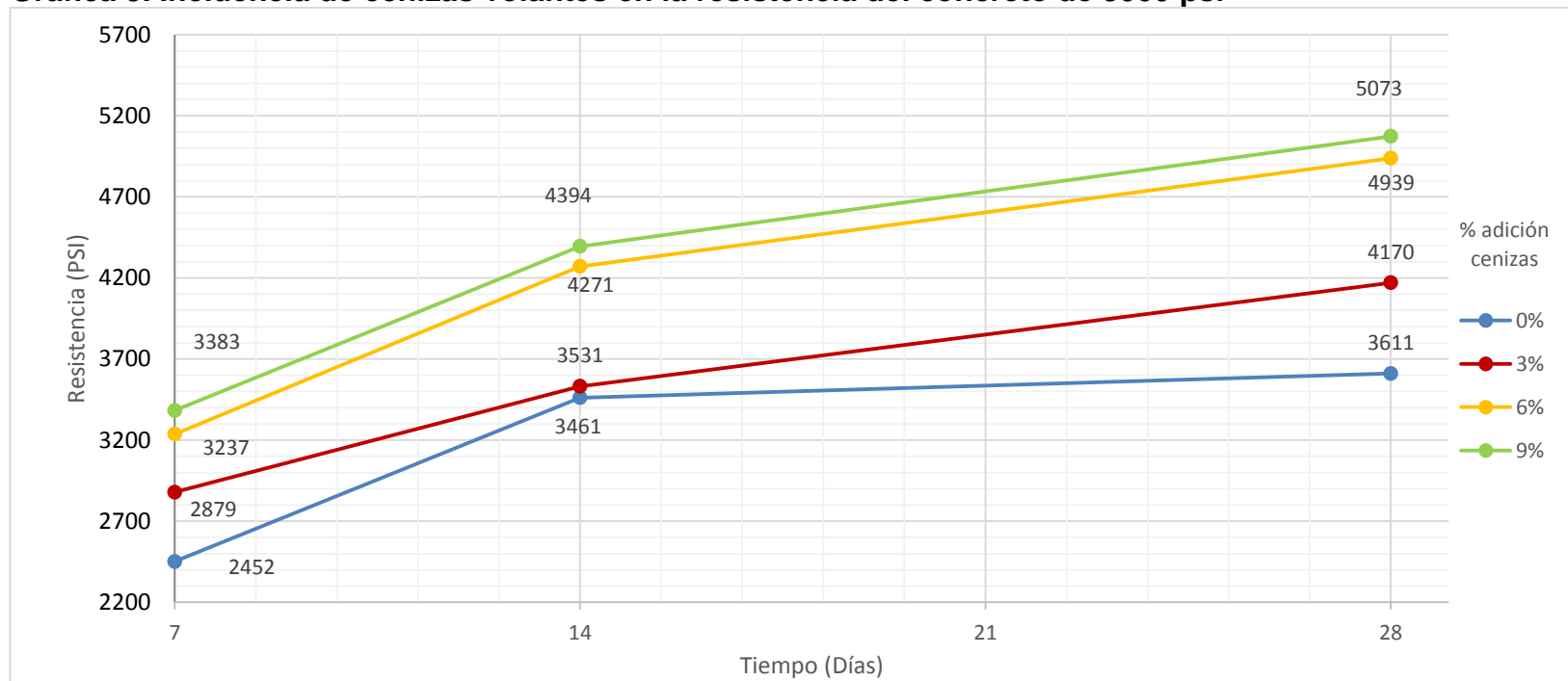
Figura 52. Falla vertical en muestra N°24 (3441 psi)



5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

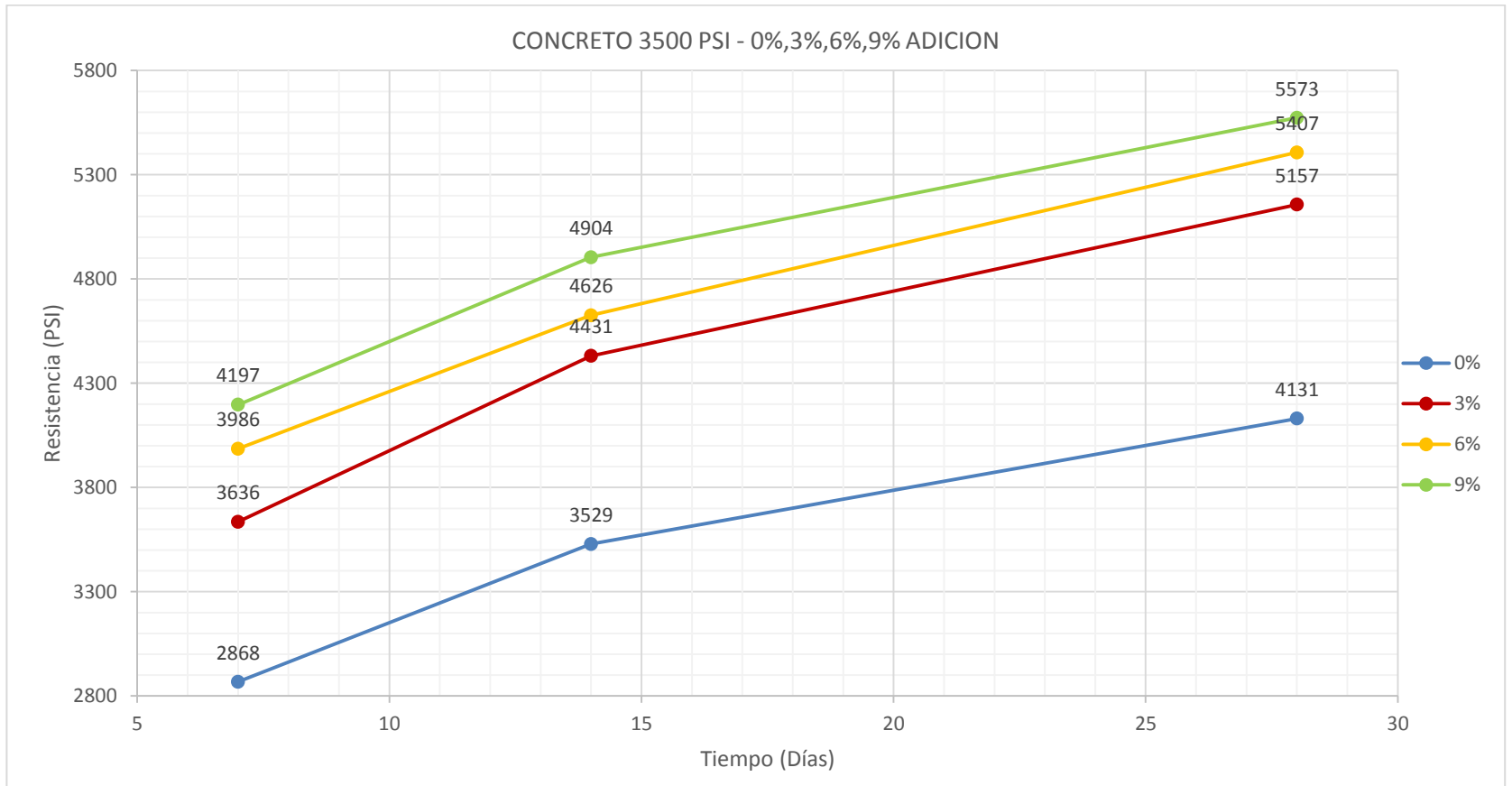
Incidencia de las cenizas volantes en la resistencia del concreto. Las cenizas volantes juegan un papel importante en la resistencia de los concretos tanto a tempranas edades como en períodos en donde el concreto alcanza sus máximas resistencias, a continuación, se muestra la incidencia de las cenizas volantes en la resistencia a la compresión de las diferentes mezclas de concreto.

Gráfica 3. Incidencia de cenizas volantes en la resistencia del concreto de 3000 psi



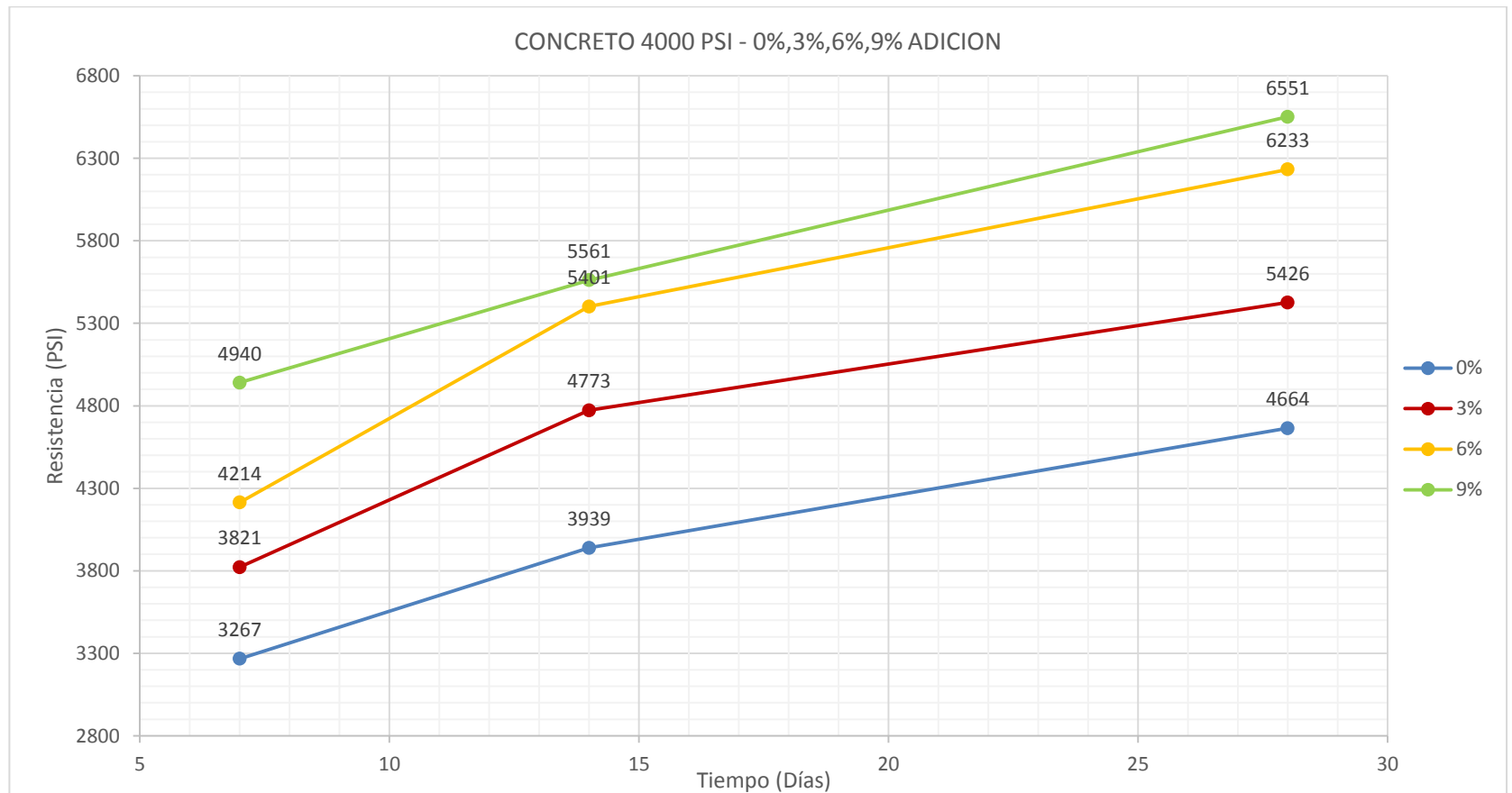
Para la gráfica N°3 se toma para cada punto el promedio de resistencias obtenidas para los ensayos del concreto de 3000 psi registrados en las tablas N° 26 donde se muestra desde tempranas edades un aumento en la resistencia a la compresión.

Gráfica 4. Incidencia de las cenizas volantes en la resistencia del concreto de 3500 psi



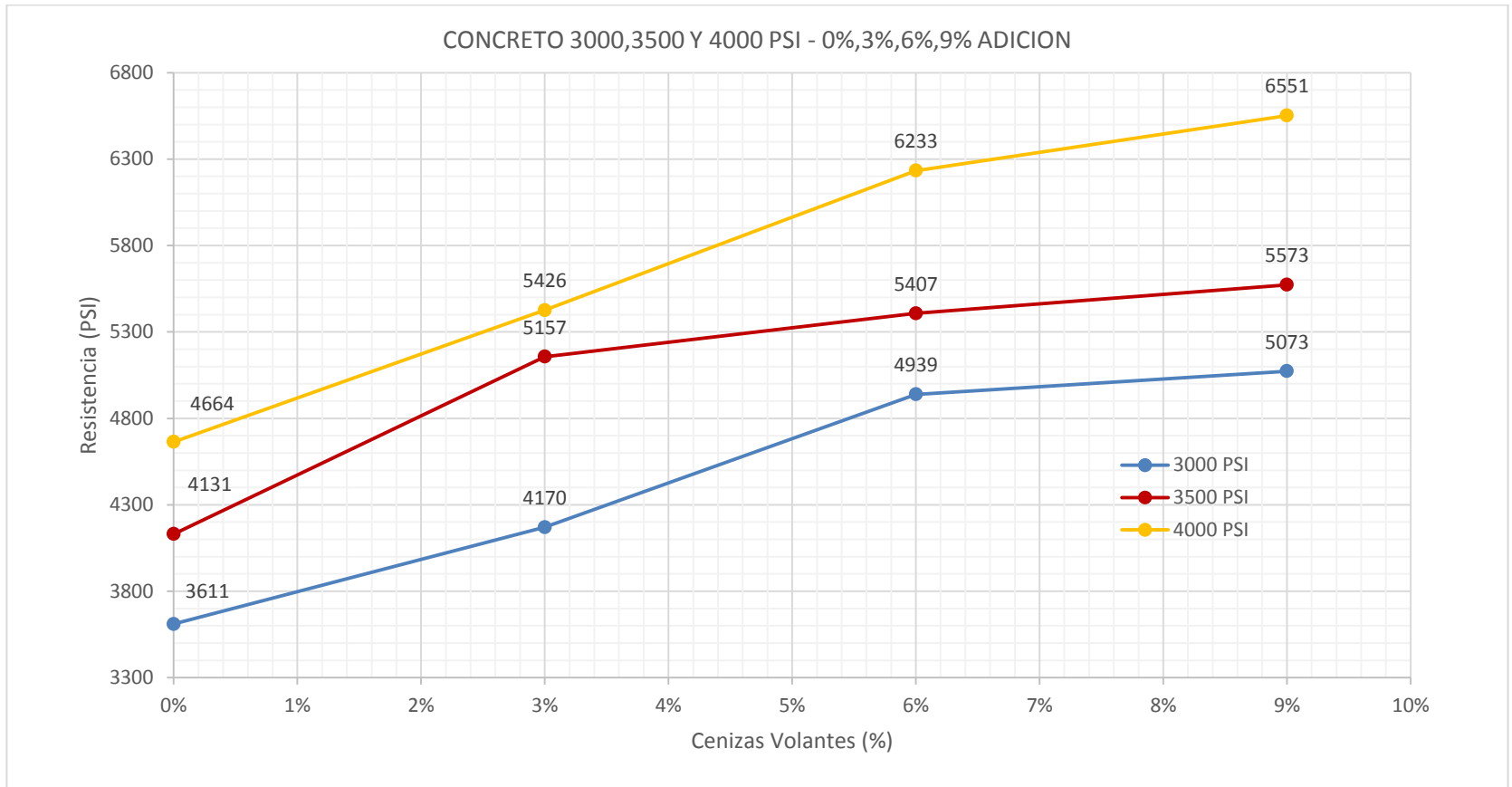
En esta gráfica como en la anterior se toma para cada punto el promedio de resistencias obtenidas para los ensayos del concreto y se puede observar el incremento de la resistencia a diferentes edades, los valores en esta gráfica se encuentran consignados en la tabla N° 27 de páginas anteriores.

Gráfica 5. Incidencia de las cenizas volantes en la resistencia del concreto de 4000 psi

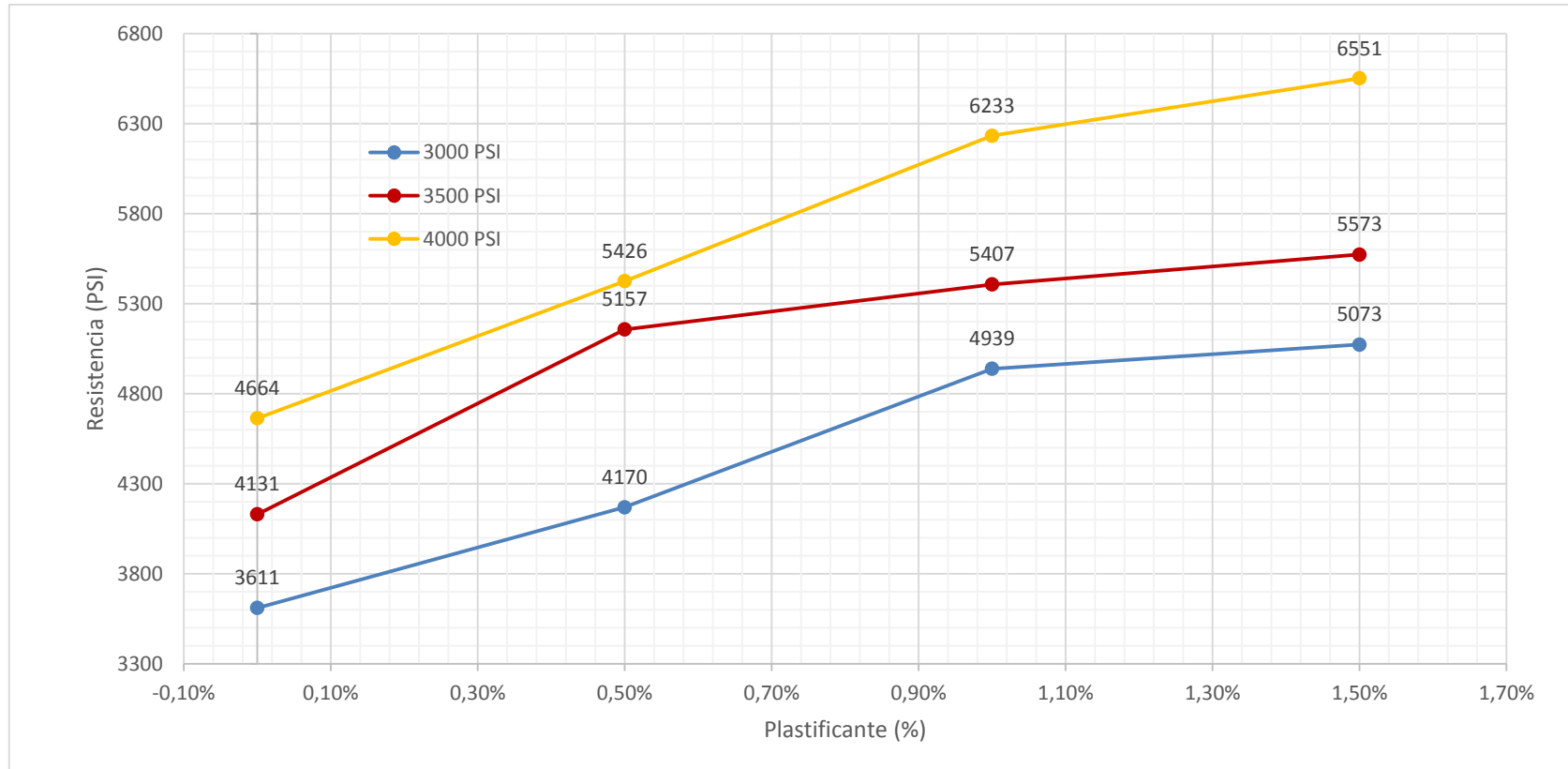


Nuevamente para cada punto de esta gráfica se toma el promedio de resistencias obtenidas para los ensayos de concreto de 4000 psi. los valores utilizados para la realización de cada punto se encuentran registrados en la tabla N° 28.

Gráfica 6. Resistencia Vs cenizas volantes

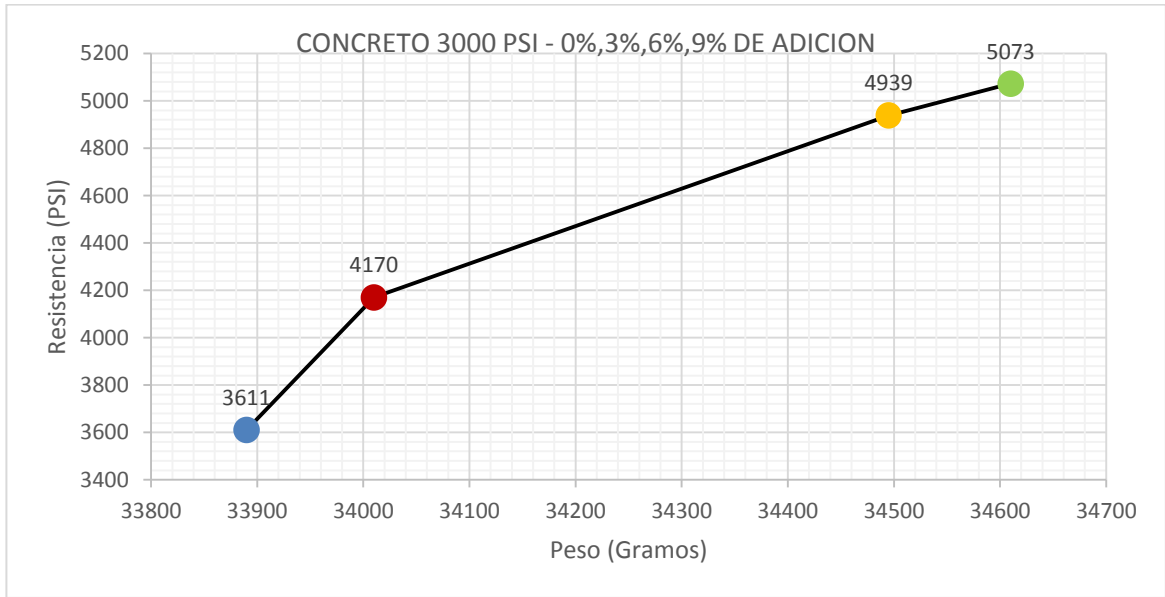


Gráfica 7. Resistencia Vs Plastificante

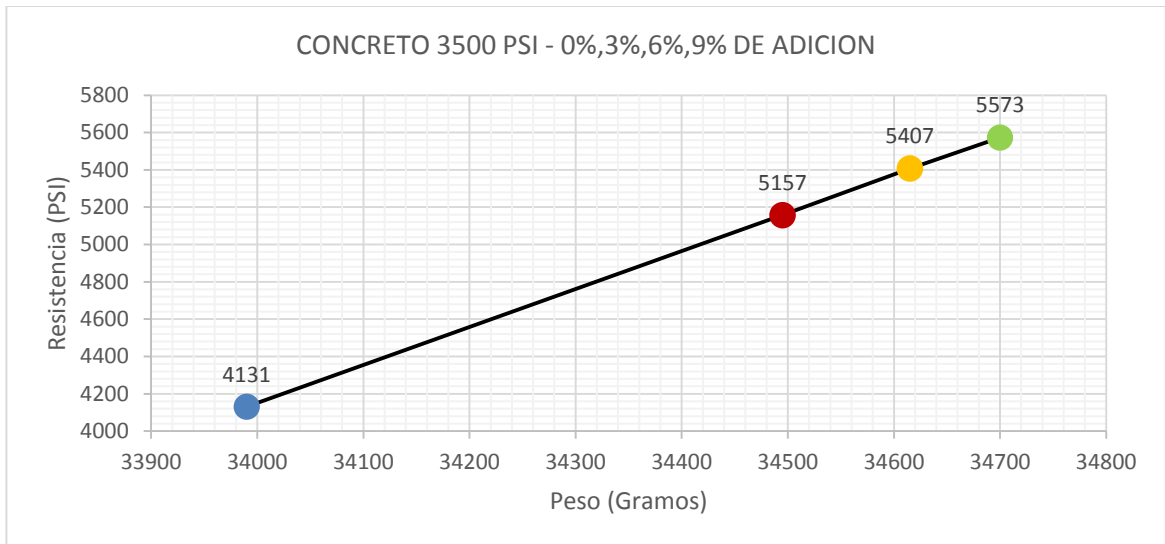


La gráfica N°7 nos indica que al aumentar el uso del plastificante (en medida proporcional a la adición de cenizas) la resistencia a la compresión del hormigón incrementa, esto quiere decir que, las cenizas volantes por ser un polvo, muy fino, posee una gran superficie específica lo cual genera una mayor demanda de agua para igualar la consistencia deseada de la mezcla. El uso del plastificante reduce el agua necesaria para formar la pasta cementante lo cual permite lograr los asentamientos y la manejabilidad buscadas.

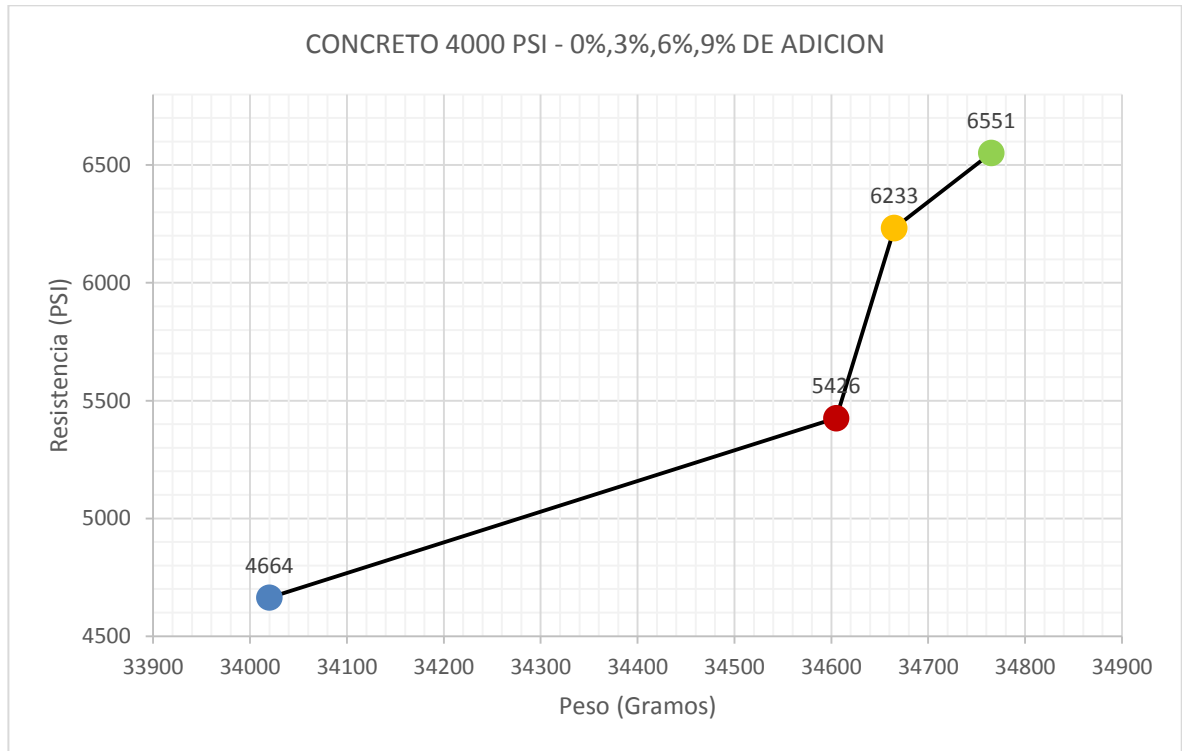
Gráfica 8. Resistencia 3000 psi Vs Compacidad



Gráfica 9. Resistencia 3500 psi Vs Compacidad



Gráfica 10. Resistencia 4000 psi Vs Compacidad



Se procede a calcular las pendientes de las gráficas 8, 9 y 10.

$$m_{3000 \text{ psi}} = 2,82 \quad m_{3500 \text{ psi}} = 2,84 \quad m_{4000 \text{ psi}} = 3,30$$

Se puede observar en las gráficas N°8, 9 y 10 que a medida que el peso del concreto aumenta la resistencia a la compresión crece. Gracias a los valores de la pendiente de las gráficas anteriores se dice que la inclinación de las rectas tiene una tendencia a verticalizarse lo que nos significa que el desarrollo de la resistencia especificada del concreto es mayor con respecto al desarrollo de los valores del peso, indicando de esta forma que, el peso del concreto está directamente relacionado con la compacidad ya que las cenizas volantes al taponar las porosidades del concreto endurecido amplifica su densidad disminuyendo la permeabilidad del concreto la cual alarga significativamente la vida útil del mismo al impedir la penetración de agentes agresivos.

Incidencia de las cenizas volantes en la manejabilidad del concreto. Uno de los objetivos es valorar la incidencia de las cenizas volantes en la manejabilidad del concreto, por tal razón se ensaya las diferentes mezclas de concreto con diferentes adiciones de cenizas volantes partiendo de un asentamiento no contemplado en los diseños de mezclas (10 cm) y haciendo omisión a las recomendaciones de su hoja técnica al no agregar a dicha mezcla plastificante de ningún tipo con el fin de comprobar los efectos de la ceniza en el concreto, a continuación se relacionan los 3 ensayos de cono de Abrams realizados a cada uno de los diseños de mezcla empleados en el presente trabajo de investigación con su respectivo porcentaje de adición.

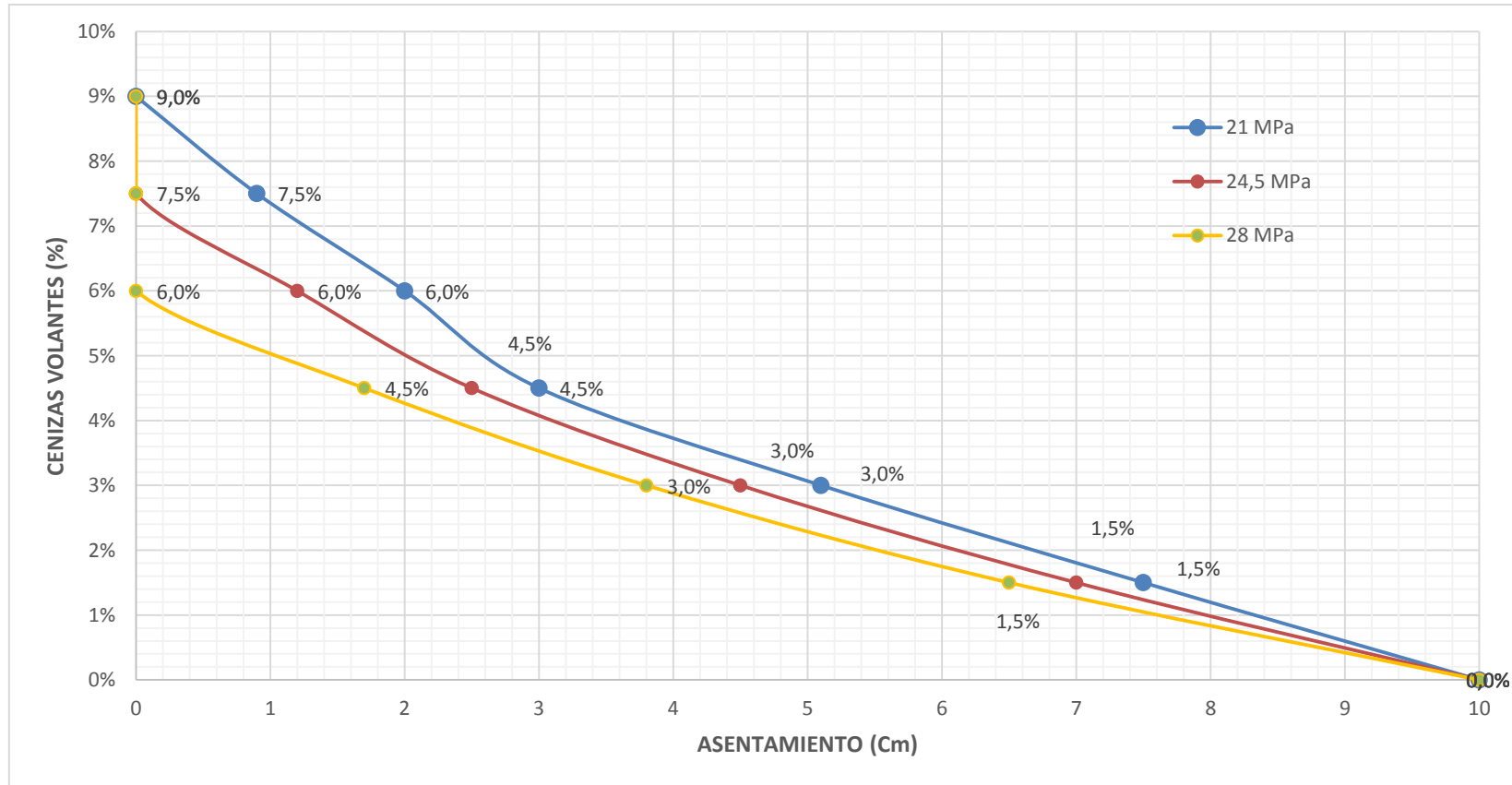
Tabla 29. Resultados de ensayos de diferentes mezclas de concreto con diferentes adiciones de cenizas volantes.

CENIZAS VOLANTES	ASENTAMIENTO (cm)		
	3000 psi	3500 psi	4000 psi
0,0%	10,0	10,0	10,0
	7,3	6,9	6,5
1,5%	7,5	7,0	6,5
	7,7	7,1	6,5
3,0%	5,0	4,5	3,7
	5,0	4,5	4,1
4,5%	5,4	4,6	3,6
	2,8	2,4	1,4
6,0%	3,1	2,6	1,8
	3,0	2,5	2,0
7,5%	2,0	1,2	0,1
	2,2	1,4	0,0
9,0%	1,9	1,1	0,0
	0,8	0,0	0,0
9,0%	1,0	0,0	0,0
	1,0	0,1	0,0
9,0%	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0
9,0%	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0

Tabla 30. Resumen de resultados de ensayos de diferentes mezclas de concreto con diferentes adiciones de cenizas volantes.

CENIZAS VOLANTES	ASENTAMIENTO (Cm)		
	3000 psi	3500 psi	4000 psi
0,0%	10,0	10,0	10,0
1,5%	7,5	7,0	6,5
3,0%	5,1	4,5	3,8
4,5%	3,0	2,5	1,7
6,0%	2,0	1,2	0,0
7,5%	0,9	0,0	0,0
9,0%	0,0	0,0	0,0

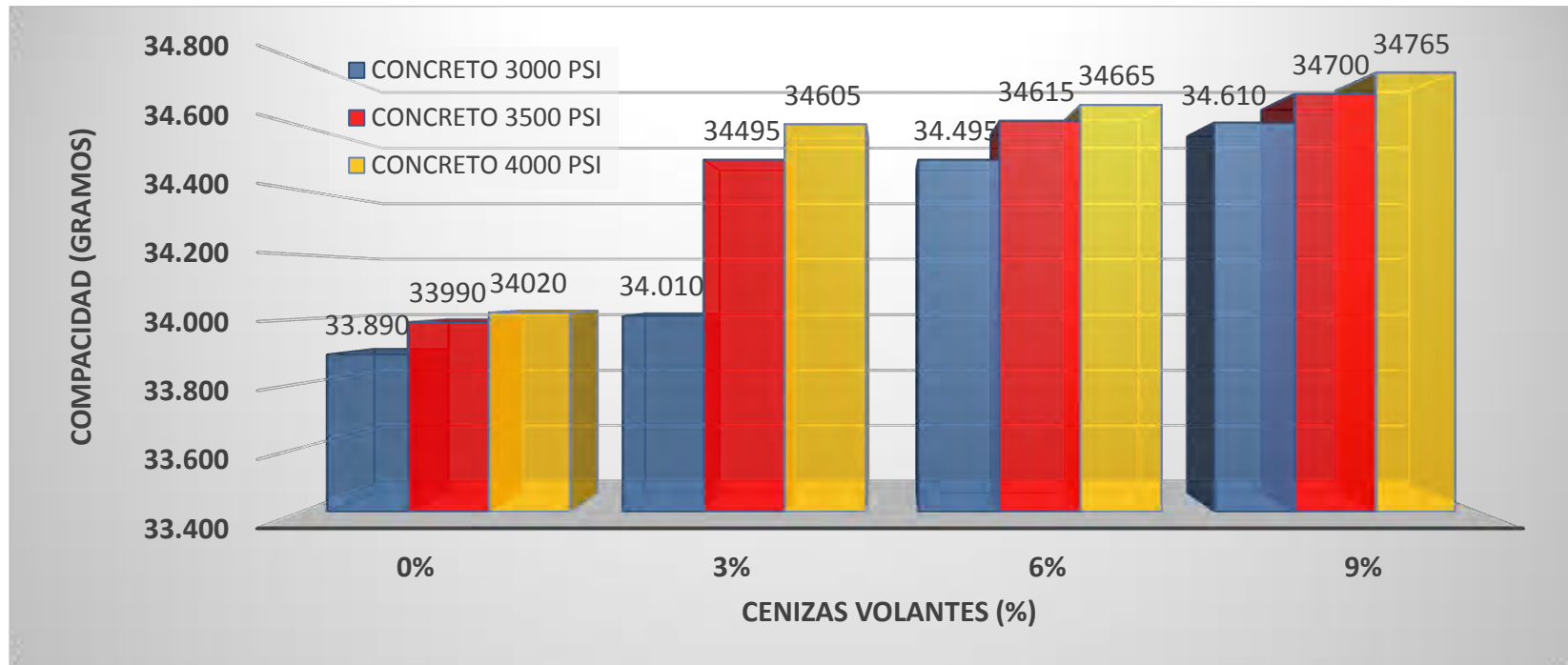
Gráfica 11. cenizas volantes Vs Asentamiento



En la gráfica inmediatamente superior se aprecia que, la disminución en el porcentaje de adición de cenizas volantes provoca un aumento en la manejabilidad de las diferentes mezclas de concreto, puesto que, la disminución de las cenizas volantes disminuye el requerimiento de agua para su activación (en consideración a la gran superficie específica de estas).

Incidencia de las cenizas volantes en la compacidad del concreto. Establecer la compacidad que muestra el concreto como respuesta a la adición de cenizas volantes es otro de los objetivos a lograr en el presente trabajo, para esto se hace uso de las siguientes gráficas.

Gráfica 12. Compacidad Vs cenizas volantes



En esta gráfica se observa como la densidad y el peso del hormigón aumenta a medida que la añadidura de cenizas volantes crece, permitiéndonos asumir que la adición de cenizas volantes reduce el número de poros y capilares en el concreto debido a la obturación o taponamiento realizada por estas, disminuyendo su permeabilidad y evitando de esta manera el ingreso de sulfatos u otras sustancias corrosivas.

Análisis de precios unitarios para las distintas clases de concretos. A continuación, se muestra el análisis de precios unitarios para las diferentes mezclas de concreto (3000, 3500 y 4000 psi).

VALOR COMERCIAL		TRANSPORTE	TOTAL
SIKAFUME (20 kg)	\$ 111.070	\$ 25.000	\$ 136.070
SIKAPLAST (20 kg)	\$ 127.600	\$ 25.000	\$ 152.600
ARENA (M3)	\$ 30.000	\$ 25.000	\$ 55.000
TRITURADO (M3)	\$ 40.000	\$ 30.000	\$ 70.000
CEMENTO (50 kg)	\$ 24.500	\$ 2.500	\$ 27.000
AGUA (LITROS)	\$ 35	\$ -	\$ 35

ANÁLISIS DE JORNALES AÑO 2017

Salario mínimo año 2017: **737.717**

TRABAJADOR	No. SALARIOS MÍNIMOS	% PRESTACIONES	VALOR SALARIO	VALOR PRESTACIONES	SALARIO REAL	JORNAL
Ingeniero	5	180%	3.688.585,00	2.950.868,00	6.639.453,00	221.315,10
Maestro	3,20	180%	2.360.694,40	1.888.556,00	4.249.250,00	141.642,00
Oficial	2,00	180%	1.475.434,00	1.180.347,00	2.655.781,00	88.526,00
Obrero	1,20	180%	885.260,40	708.208,00	1.593.469,00	53.116,00
Vigilante	1,20	180%	885.260,40	708.208,00	1.593.469,00	53.116,00

Para el concreto de 3000 psi

<i>3000 psi</i>					
	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	Σ
<i>Prop. Def. Peso Seco</i>	0,52	1,00	2,02	2,77	
<i>cantidad Material (kg)</i>	0,52	1 kg	2,02	2,77	
<i>Vol. Abs (dm3)</i>	0,52	0,33	0,89	1,08	2,815

1 kg cemento → 2,815 dm3 concreto
 X → 1000 dm3 concreto

$$X = \frac{1000}{2,815} = 355,18 \text{ kg/m3 de concreto}$$

3000 psi					
	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	Σ
Proporción Definitiva Peso Seco	0,52	1,00	2,02	2,77	
cantidad Material (kg/m3 ccto)	182,9	355,2	718,8	982,9	2239,8
Volumen Abs (dm3/m3 ccto)	182,9	116,8	315,1	385,1	1000,0
Volumen Suelto (dm3/m3 ccto)	182,9	284,1	545,6	675,6	1688,3
Proporción Volumen Suelto	0,64	1,00	1,92	2,38	

Para el concreto de 3500 psi

3500 psi					
	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	Σ
Prop. Def. Peso Seco	0,47	1,00	1,61	2,29	
cantidad Material (kg)	0,47	1 kg	1,61	2,29	
Vol. Abs (dm3)	0,47	0,33	0,71	0,90	2,397

1 kg cemento → 2,397 dm3 concreto
 X → 1000 dm3 concreto

$$X = \frac{1000}{2,397} = 417,19 \text{ kg/m3 de concreto}$$

3500 psi					
	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	Σ
Proporción Definitiva Peso Seco	0,47	1,00	1,61	2,29	
cantidad Material (kg/m3 ccto)	194,4	417,2	672,1	953,7	2237,4
Volumen Abs (dm3/m3 ccto)	194,4	137,2	294,7	373,7	1000,0
Volumen Suelto (dm3/m3 ccto)	194,4	333,8	510,2	655,6	1693,9
Proporción Volumen Suelto	0,58	1,00	1,53	1,96	

Para el concreto de 4000 psi

4000 psi					
	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	Σ
Prop. Def. Peso Seco	0,42	1,00	1,43	2,04	
cantidad Material (kg)	0,42	1 kg	1,43	2,04	
Vol. Abs (dm3)	0,42	0,33	0,63	0,80	2,178

1 kg cemento → 2,178 dm3 concreto
 X → 1000 dm3 concreto

$$X = \frac{1000}{2,178} = 459,12 \text{ kg/m3 de concreto}$$

4000 psi					
	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	Σ
Proporción Definitiva Peso Seco	0,42	1,00	1,43	2,04	
cantidad Material (kg/m3 ccto)	194,2	459,1	655,6	937,6	2246,5
Volumen Abs (dm3/m3 ccto)	194,2	151,0	287,4	367,4	1000,0
Volumen Suelto (dm3/m3 ccto)	194,2	367,3	497,6	644,5	1703,6
Proporción Volumen Suelto	0,53	1,00	1,35	1,75	

Es necesario aclarar que para el cálculo de mano de obra se tuvo en cuenta los jornales de 1 maestro, 1 oficial y 2 ayudantes de obra por un tiempo estipulado de 2 horas. A continuación, se da a conocer el valor del concreto por m³ sin ningún tipo de adición.

CONCRETOS SIN ADICIÓN						
CONCRETOS	RESISTENCIA		C (kg)	A (M3)	T (M3)	AG (Lt)
Mezcla	MPa	psi	\$540,00	\$55000,00	\$70000,00	\$35,00
1:1.43: 2.04	28,00	4000	459,12	0,50	0,64	194,21
1: 1.61: 2.29	24,50	3500	417,19	0,51	0,66	194,41
1: 2.02: 2.76	21,00	3000	355,18	0,55	0,68	182,92
VALOR PARCIAL MATERIALES						VALOR CONCRETO
psi	Cemento	Arena	Triturado	Agua	mano de obra	M3
4000	\$ 273.922,14	\$ 27.368,51	\$ 45.112,33	\$ 6.797,20	\$ 63.075,00	\$ 416.275,18
3500	\$ 225.284,02	\$ 28.059,63	\$ 45.889,23	\$ 6.804,41	\$ 63.075,00	\$ 369.112,30
3000	\$ 191.797,82	\$ 30.008,50	\$ 47.292,43	\$ 6.402,14	\$ 63.075,00	\$ 338.575,89

Valor del concreto por m3 con adición de cenizas volantes al 3%

CONCRETOS CON ADICIÓN 3%								
CONCRETOS	RESISTENCIA		C (kg)	A (M3)	T (M3)	AG (Lt)	SIKAFUME (kg)	SIKAPLAST (kg)
Mezcla	MPa	psi	\$540,00	\$55000,00	\$70000,00	\$35,00	6803,50	7630,00
1:1.43:2.04	28,00	4000	459,12	0,50	0,64	194,21	13,77	2,30
1: 1.61: 2.29	24,50	3500	417,19	0,51	0,66	194,41	12,52	2,09
1: 2.02: 2.76	21,00	3000	355,18	0,55	0,68	182,92	10,66	1,78

VALOR PARCIAL MATERIALES								VALOR CONCRETO
psi	Cemento	Arena	Triturado	Agua	Adición C. Volantes	Aditivo Plastificante	mano de obra	m³
4000	\$ 273.922,14	\$ 27.368,51	\$ 45.112,33	\$ 6.797,20	\$ 93.707,68	\$ 17.515,24	\$ 63.075,00	\$ 527.498,11
3500	\$ 225.284,02	\$ 28.059,63	\$ 45.889,23	\$ 6.804,41	\$ 85.151,10	\$ 15.915,90	\$ 63.075,00	\$ 470.179,30
3000	\$ 191.797,82	\$ 30.008,50	\$ 47.292,43	\$ 6.402,14	\$ 72.494,25	\$ 13.550,16	\$ 63.075,00	\$ 424.620,30

Valor del concreto por m3 con adición de cenizas volantes al 6%

CONCRETOS CON ADICIÓN 6%								
CONCRETOS	RESISTENCIA		C (kg)	A (M3)	T (M3)	AG (Lt)	SIKAFUME (kg)	SIKAPLAST (kg)
Mezcla	MPa	psi	\$540,00	\$55000,00	\$70000,00	\$35,00	\$6803,50	\$7630,00
1:1.43:2.04	28,00	4000	459,12	0,50	0,64	194,21	27,55	4,59
1: 1.61: 2.29	24,50	3500	417,19	0,51	0,66	194,41	25,03	4,17
1: 2.02: 2.76	21,00	3000	355,18	0,55	0,68	182,92	21,31	3,55

VALOR PARCIAL MATERIALES								VALOR CONCRETO
psi	Cemento	Arena	Triturado	Agua	Adición C. Volantes	Aditivo Plastificante	mano de obra	m ³
4000	\$ 273.922,14	\$ 27.368,51	\$ 45.112,33	\$ 6.797,20	\$ 187.415,37	\$ 35.030,48	\$ 63.075,00	\$ 638.721,03
3500	\$ 225.284,02	\$ 28.059,63	\$ 45.889,23	\$ 6.804,41	\$ 170.302,20	\$ 31.831,80	\$ 63.075,00	\$ 571.246,30
3000	\$ 191.797,82	\$ 30.008,50	\$ 47.292,43	\$ 6.402,14	\$ 144.988,49	\$ 27.100,32	\$ 63.075,00	\$ 510.664,71

Valor del concreto por m3 con adición de cenizas volantes al 9%

CONCRETOS CON ADICIÓN 9%								
CONCRETOS	RESISTENCIA		C (kg)	A (M3)	T (M3)	AG (Lt)	SIKAFUME (kg)	SIKAPLAST (kg)
Mezcla	MPa	psi	\$540,00	\$55000,00	\$70000,00	\$35,00	\$6803,50	\$7630,00
1:1.43:2.04	28,00	4000	459,12	0,50	0,64	194,21	41,32	6,89
1: 1.61: 2.29	24,50	3500	417,19	0,51	0,66	194,41	37,55	6,26
1: 2.02: 2.76	21,00	3000	355,18	0,55	0,68	182,92	31,97	5,33

VALOR PARCIAL MATERIALES								VALOR CONCRETO
psi	Cemento	Arena	Triturado	Agua	Adición C. Volantes	Aditivo Plastificante	mano de obra	m ³
4000	\$ 273.922,14	\$ 27.368,51	\$ 45.112,33	\$ 6.797,20	\$ 281.123,05	\$ 52.545,72	\$ 63.075,00	\$ 749.943,95
3500	\$ 225.284,02	\$ 28.059,63	\$ 45.889,23	\$ 6.804,41	\$ 255.453,30	\$ 47.747,70	\$ 63.075,00	\$ 672.313,30
3000	\$ 191.797,82	\$ 30.008,50	\$ 47.292,43	\$ 6.402,14	\$ 217.482,74	\$ 40.650,48	\$ 63.075,00	\$ 596.709,11

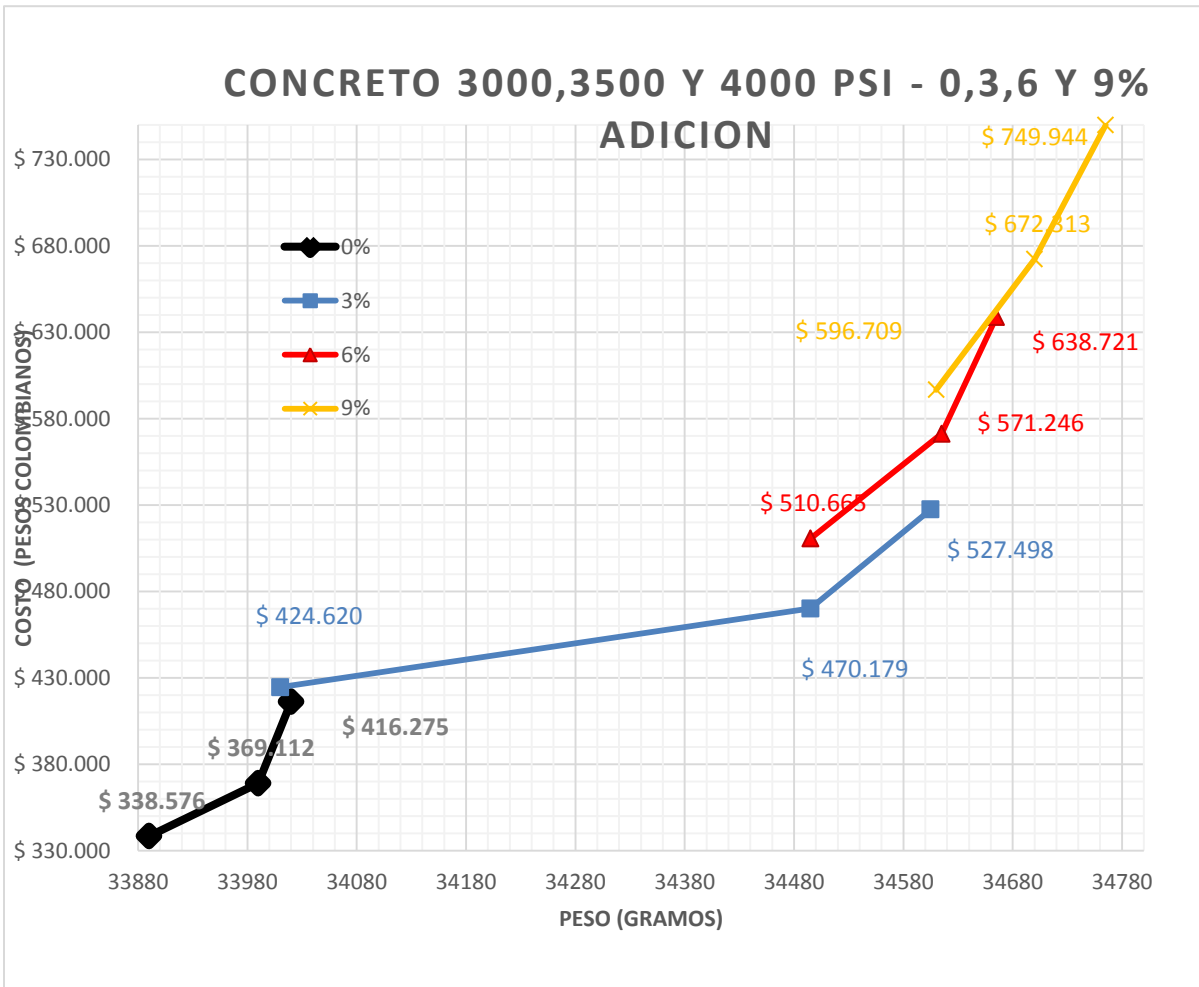
En resumen, el valor del concreto por m³ en pesos colombianos con diferentes tipos de adiciones se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 31. Precio del concreto por m3 en pesos colombianos con diferentes tipos de adiciones

f'c	0%	3%	6%	9%
3000 psi	\$ 338.576	\$ 424.620	\$ 510.665	\$ 596.709
3500 psi	\$ 369.112	\$ 470.179	\$ 571.246	\$ 672.313
4000 psi	\$ 416.275	\$ 527.498	\$ 638.721	\$ 749.944

Gracias a que en esta instancia se conoce el precio por m³ de las distintas clases de concreto (Tabla 30) se procede a realizar un análisis con el fin de conocer el beneficio económico del uso de las cenizas volantes con respecto a la compacidad del concreto, para esto se hace uso de la gráfica N° 13.

Gráfica 13. Compacidad Vs Costo (0, 3, 6 Y 9% cenizas volantes)



Según la tendencia que muestran las pendientes podemos señalar en el eje de las ordenadas que en este caso se refiere al costo del concreto por metro cubico registra un aumento muchísimo mayor que el presentado en el eje de las abscisas el cual refiere al peso del concreto también por metro cubico. Por lo anterior se puede decir que la compacidad aumenta de menor forma en comparación al precio del hormigón dando a entender que si el concreto llega a los 28 días de edad no existe un beneficio monetario al adicionar cenizas volantes a la mezcla, ya que, el precio del concreto con adición es mucho mayor que el concreto sin adición de cenizas volantes.

Beneficios del uso de cenizas volantes en el concreto. Además de aumentar el valor económico del concreto, la adición de cenizas volantes aporta beneficios tales como el incremento en la compacidad del concreto y un muy considerable aumento en su resistencia máxima a la compresión, lo anterior nos brinda un beneficio mucho mayor como lo es el incremento en el valor del módulo de elasticidad, puesto que, al incrementar el valor del $f'c$ del concreto el módulo de elasticidad incrementa obedeciendo la ecuación que se muestra a continuación:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} ; [MPa] \rightarrow \text{artículo C. 8. 5. 1 de la NSR} - 10$$

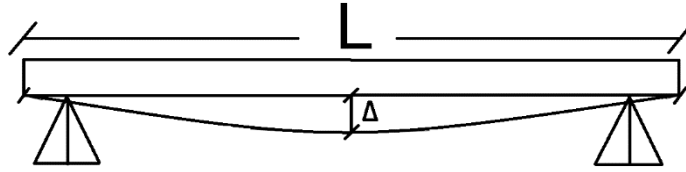
Por lo anterior, se puede afirmar que el incremento del módulo de elasticidad nos aporta por ende un aumento en la rigidez de los elementos estructurales como losas, vigas columnas etc. ya que la matriz de rigidez de los elementos anteriormente mencionados es directamente proporcional a dicho modulo, tal como se indica en la siguiente matriz.

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{matrix} v_i \\ \phi_i \\ v_j \\ \phi_j \end{matrix} \rightarrow \text{matriz de rigidez de Losa}$$

Donde L = longitud del elemento, I = inercia del elemento y E = módulo de elasticidad del concreto.

Otro beneficio que se encuentra en la adición de Fly – Ash son las disminuciones de las deflexiones o flechas en elementos estructurales como losas o vigas dado que las deflexiones que se presentan en este tipo de elementos estructurales son inversamente proporcionales a dicho módulo de elasticidad del concreto, las deflexiones anteriormente mencionadas obedecen a la siguiente ecuación:

Figura 53. Deflexión de una viga simplemente apoyada.

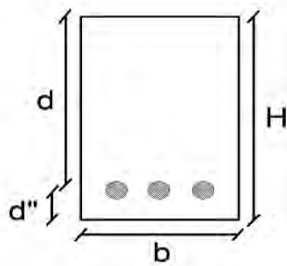


$$\Delta_E = \frac{5 WL^4}{384 E_c I_e}$$

Donde Δ_E = deflexión del elemento, L = longitud del elemento, I_e = inercia del elemento y E_c = módulo de elasticidad del concreto.

Igualmente, elementos estructurales como vigas y viguetas también resultan beneficiadas más exactamente en las dimensiones de su base, dado que, esta depende de factores como los que se muestra a continuación.

Figura 54. Corte transversal de una viga



$$M_u = \phi R_n b d^2$$

M_u = Momento resistente del elemento.
 d = Altura efectiva del elemento estructural.
 ϕR_n = Coeficiente en tablas PAZ DEL RIO.
 b = Base del elemento estructural.

Despejando la base en la anterior ecuación tenemos:

$$b = \frac{M_u}{\phi R_n d^2}$$

El coeficiente ϕR_n crece a medida que la resistencia máxima a la compresión crece como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 32. Coeficientes ϕR_n según la resistencia máxima a la compresión del concreto.

RESISTENCIA		COEFICIENTE
MPa	psi	ϕR_n
21,0	3000	4,88594
24,5	3500	5,73566
28,0	4000	6,96714
31,5	4500	7,12567
35,0	5000	7,78235

Fuente: Guías Paz del Rio

Lo anterior significa que la base de una viga o vigueta es inversamente proporcional a coeficiente ϕR_n y por lo tanto las dimensiones de la base de una viga o vigueta van a ser cada vez menores a medida que el coeficiente ϕR_n aumenta.

A continuación, se compara el costo por m³ entre un concreto normal y el concreto con adición de cenizas volantes mediante la siguiente tabla.

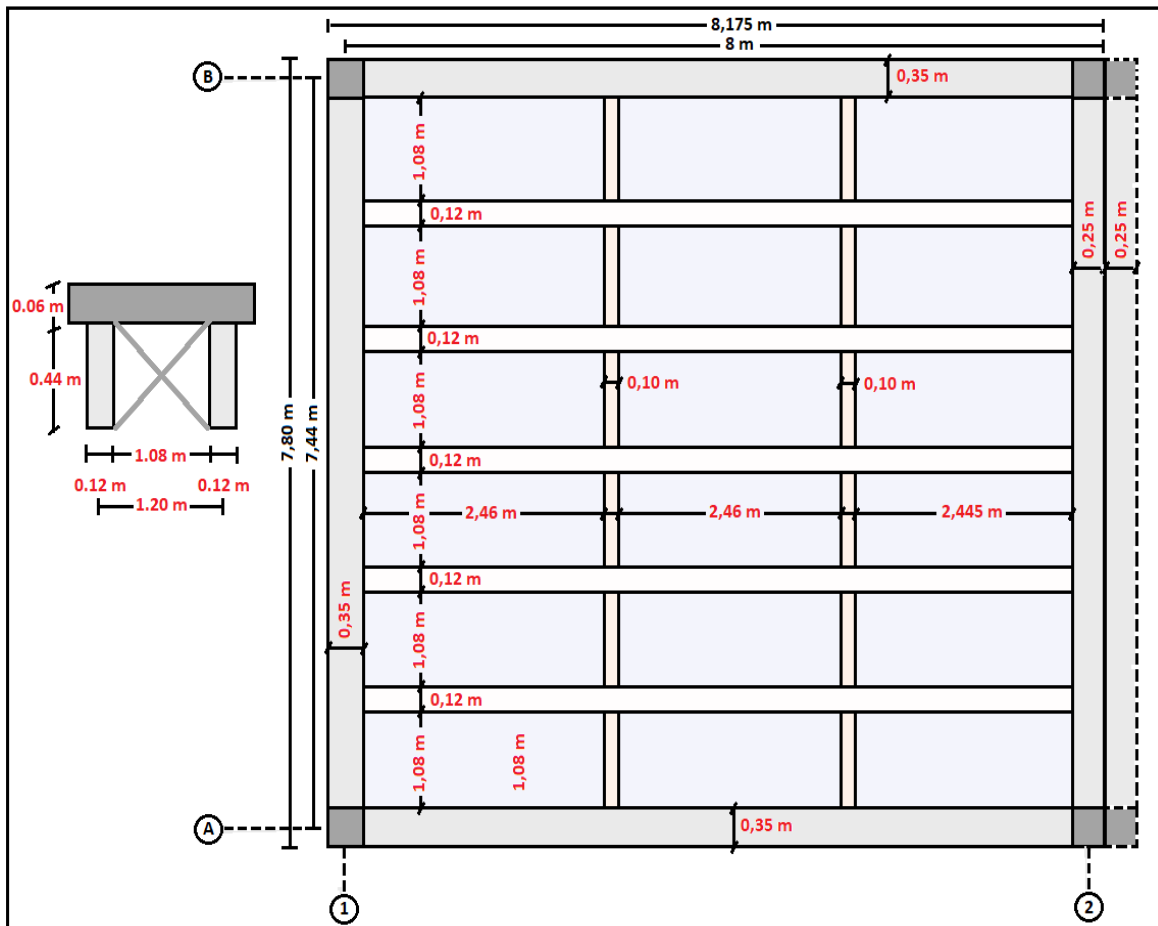
Tabla 33. Costo por m³ de concretos de 3000, 3500 y 4000 psi en diferentes adiciones de cenizas volantes.

RESUMEN	f'c = 3000 psi	f'c = 3500 psi	f'c = 4000 psi
0%	\$ 338.576	\$ 369.112	\$ 416.275
3%	\$ 424.620	\$ 470.179	\$ 527.498
6%	\$ 510.665	\$ 571.246	\$ 638.721
9%	\$ 596.709	\$ 672.313	\$ 749.944

Análisis del costo-beneficio del uso de cenizas volantes en el concreto. Para realizar un análisis con respecto al costo-beneficio que existe entre el concreto con y sin adición de cenizas volantes se presenta los siguiente:

A. Un ejemplo para poder hacer una estimación aproximada o un presupuesto para dicho fin, para esto asumimos una losa aligerada de $f'c$ de 3500 psi y con las dimensiones que se muestran en seguida.

Figura 55. Vista en planta y corte transversal de losa aligerada de concreto con casetones.



Se calcula el volumen de concreto por unidad de área, considerando la altura de la losa de unos 0.50 metros así:

$$Volumen_{Total} = V_{losa} - V_{vacios} = (7.8 * 8.175 * 0.50) - (18 * 1.08 * 2.46 * 0.44)$$

$$Volumen_{Total} = 31.88 - 21.04 = 10.84 \text{ m}^3$$

Peso de la Losa:

$$Peso_{Losa} = Volumen_{Total} * \gamma_{concreto} = 10.84 \text{ m}^3 * 2.40 \text{ ton/m}^3 = 26.02 \text{ toneladas}$$

Carga de Losa:

$$Carga_{Losa} = \frac{Peso_{Losa}}{Area_{Losa}} = \frac{26.02}{7.8 * 8.175} = 0.41 \text{ ton/m}^2$$

Cantidad de concreto por m²:

$$Cantidad_{concreto} = \frac{Volumen_{Total}}{Area_{Losa}} = \frac{10.84}{7.8 * 8.175} = 0.17 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Como siguiente paso *tomamos los datos consignados en las tablas N° 25, 26 y 27* anteriormente relacionadas para encontrar el tipo de concreto que cumpla con las especificaciones de resistencia necesarias para la fundición de la losa que es objeto del presente análisis. Los resultados se muestran a continuación.

- Concreto de 3500 con 3% de adición, 7 días de edad (1) → f'cr= 3636 psi
- Concreto de 3000 con 3% de adición, 14 días de edad (2) → f'cr= 3531 psi
- Concreto de 3500 con 0% de adición, 14 días de edad (3) → f'cr= 3529 psi
- Concreto de 3000 con 0% de adición, 28 días de edad (4) → f'cr= 3611 psi

A continuación, se procede a realizar los cálculos correspondientes para conocer el costo-beneficio que se obtiene por cada clase concreto relacionado anteriormente, cabe aclarar que los análisis de precios unitarios de la losa aligerada y la formaleta metálica se relacionan en el ANEXO J y ANEXO K.

Como aclaración, los números que aparece a continuación entre paréntesis del 1 al 4 fueron asignados de acuerdo con la resistencia y edad que presenta cada tipo de concreto el cual cumple con las características requeridas para el siguiente análisis.

Elemento:

LOSA ALIGERADA

Resistencia requerida (psi):

3500

Concreto (1)	Concreto de 3000 psi con 3% de adición, 14 días de edad		
	Precio-Unitario	Cantidad	Valor-Unitario
Valor Concreto (m3)	\$ 424.620,00	10,8	\$ 4.585.896,00
Losa Aligerada (m2)	\$ 138.372,07	63,8	\$ 8.823.295,04
Formaleta (día)	\$ 24.103,17	14,0	\$ 337.444,38
Mano de obra formaleta	\$ 5.334,23	63,8	\$ 340.137,18
Vigilante (día)	\$ 53.115,61	14,0	\$ 743.618,59
Ingeniero(día)	\$ 221.315,10	3,8	\$ 829.931,63
		Total	\$ 15.660.322,82

Concreto (2)	Concreto de 3000 psi con 0% de adición, 28 días de edad		
	Precio-Unitario	Cantidad	Valor-Unitario
Valor Concreto (m3)	\$ 338.576,00	10,8	\$ 3.656.620,80
Losa Aligerada (m2)	\$ 138.372,07	63,8	\$ 8.823.295,04
Formaleta (día)	\$ 24.103,17	28,0	\$ 674.888,76
Mano de obra formaleta	\$ 5.334,23	63,8	\$ 340.137,18
Vigilante (día)	\$ 53.115,61	28,0	\$ 1.487.237,17
Ingeniero(día)	\$ 221.315,10	5,5	\$ 1.217.233,05
		Total	\$ 16.199.412,00

Concreto (3)	Concreto de 3500 psi con 3% de adición, 7 días de edad		
	Precio-Unitario	Cantidad	Valor-Unitario
Valor Concreto (m3)	\$ 470.179,00	10,8	\$ 5.096.740,36
Losa Aligerada (m2)	\$ 138.372,07	63,8	\$ 8.823.295,04
Formaleta (día)	\$ 24.103,17	7,0	\$ 168.722,19
Mano de obra formaleta	\$ 5.334,23	63,8	\$ 340.137,18
Vigilante (día)	\$ 53.115,61	7,0	\$ 371.809,29
Ingeniero(día)	\$ 221.315,10	2,9	\$ 636.280,91
		Total	\$ 15.436.984,97

Concreto (4)	Concreto de 3500 psi con 0% de adición, 14 días de edad		
	Precio-Unitario	Cantidad	Valor-Unitario
Valor Concreto (m3)	\$ 369.112,00	10,8	\$ 3.986.409,60
Losa Aligerada (m2)	\$ 138.372,07	63,8	\$ 8.823.295,04
Formaleta (día)	\$ 24.103,17	14,0	\$ 337.444,38
Mano de obra formaleta	\$ 5.334,23	63,8	\$ 340.137,18
Vigilante (día)	\$ 53.115,61	14,0	\$ 743.618,59
Ingeniero(día)	\$ 221.315,10	3,8	\$ 829.931,63
		Total	\$ 15.060.836,42

NOTA: Las Resistencias utilizadas en este ejercicio son f'cr (Resistencia Promedio de Diseño)

Del anterior análisis de precios se puede decir que el concreto que mejor se ajusta a las necesidades de economía para la losa en concreto que fue objeto de estudio es el concreto (4), caso contrario al concreto (2). Para conocer el beneficio neto o el ahorro que se tendría al usar los anteriores tipos de concreto se realiza las operaciones que se muestran a continuación:

Costo Elemento Estructural		Costo de Solución		Beneficio Neto
\$ 16.199.412,00 (2)	-	\$ 15.060.836,42 (4)	=	\$ 1.138.575,58
\$ 16.199.412,00 (2)	-	\$ 15.436.984,97 (3)	=	\$ 762.427,03
\$ 16.199.412,00 (2)	-	\$ 15.660.322,82 (1)	=	\$ 539.089,18

Como se puede apreciar el concreto más económico y por ende el que nos brinda más ahorro es el concreto (4), como segunda opción está el concreto (3), la tercera opción es el concreto (1) y en última instancia está el concreto (2).

B. El paso a seguir con el análisis Costo-Beneficio es conocer el costo de los demás tipos de concreto con sus diferentes porcentajes de adiciones, para esto se tiene en cuenta el anterior ejercicio pero esta vez sin limitar a este a un solo f'c sino más bien evaluándolo con resistencias como 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500 y 6000 psi, cabe aclarar que el uso de concretos de mayor resistencia implicaría un redimensionamiento de dicha losa logrando elementos más esbeltos y una reducción en el acero de refuerzo, sin embargo, el siguiente análisis se realiza asumiendo las dimensiones indicadas en el ejercicio anterior.

Es importante enfatizar que el presente análisis está basado en las gráficas N° 3,4 y 5.

Para la identificación de concretos con diferentes adiciones de cenizas volantes es necesario el uso una nomenclatura, la cual suministrará un orden y sentido al estudio y análisis de precios de los concretos que se relacionan a continuación, la nomenclatura sigue una secuencia de datos así:

Tipo de concreto - f'c - Porcentaje de adición - Edad de la muestra

CSA,CCA 0000 – 0 – 00

Donde, **CSA** = *Concreto Sin Adición* y **CCA** = *Concreto Con Adición*.

En seguida se muestra un análisis del Costo-Beneficio del uso de distintitos tipos de concreto con sus respectivas adiciones de cenizas volantes para la realización de una losa aligerada con casetones.

Tabla 34. Análisis del Costo-Beneficio en distintos precios de una losa aligerada con varios tipos de concretos, ver Anexo L. (Basado en gráficas N° 3,4 y 5).

Elemento Estructural		Solución		Beneficio Neto (pesos colombianos)
Costo	Tipo Concreto	Costo	Tipo Concreto	
(pesos colombianos)	psi	(pesos colombianos)	psi	
f'cr = 3000 psi				
\$ 15.048.008,59	CCA3000-3-8	\$ 14.551.185,04	CSA3500-0-9	\$ 496.823,55
f'cr = 3500 psi				
\$ 16.913.453,35	CCA3000-9-8	\$ 16.212.955,04	CSA3000-0-28	\$ 700.498,30
\$ 16.913.453,35	CCA3000-9-8	\$ 15.677.307,61	CCA3000-3-14	\$ 1.236.145,74
\$ 16.913.453,35	CCA3000-9-8	\$ 16.085.619,56	CCA3000-6-9	\$ 827.833,79
\$ 16.913.453,35	CCA3000-9-8	\$ 15.075.600,89	CSA3500-0-14	\$ 1.837.852,46
\$ 16.913.453,35	CCA3000-9-8	\$ 15.436.984,98	CCA3500-3-7	\$ 1.476.468,37
\$ 16.913.453,35	CCA3000-9-8	\$ 15.062.431,96	CSA4000-0-9	\$ 1.851.021,39
f'cr = 4000 psi				
\$ 17.228.102,86	CCA3000-9-11	\$ 16.831.022,49	CCA3000-3-25	\$ 397.080,37
\$ 17.228.102,86	CCA3000-9-11	\$ 16.400.269,07	CCA3000-6-12	\$ 827.833,79
\$ 17.228.102,86	CCA3000-9-11	\$ 16.334.198,94	CSA3500-0-26	\$ 893.903,92
\$ 17.228.102,86	CCA3000-9-11	\$ 15.751.634,49	CCA3500-3-10	\$ 1.476.468,37
\$ 17.228.102,86	CCA3000-9-11	\$ 16.532.551,26	CCA3500-6-7	\$ 695.551,60
\$ 17.228.102,86	CCA3000-9-11	\$ 15.691.730,98	CSA4000-0-15	\$ 1.536.371,88
\$ 17.228.102,86	CCA3000-9-11	\$ 16.163.206,11	CCA4000-3-8	\$ 1.064.896,75
f'cr = 4500 psi				
\$ 17.942.767,05	CCA3500-9-10	\$ 17.134.451,27	CCA3000-6-19	\$ 808.315,78
\$ 17.942.767,05	CCA3500-9-10	\$ 17.752.518,71	CCA3000-9-16	\$ 190.248,34
\$ 17.942.767,05	CCA3500-9-10	\$ 16.276.050,34	CCA3500-3-15	\$ 1.666.716,71
\$ 17.942.767,05	CCA3500-9-10	\$ 17.161.850,28	CCA3500-6-13	\$ 780.916,77
\$ 17.942.767,05	CCA3500-9-10	\$ 16.845.445,86	CSA4000-0-26	\$ 1.097.321,19
\$ 17.942.767,05	CCA3500-9-10	\$ 16.582.738,79	CCA4000-3-12	\$ 1.360.028,26
\$ 17.942.767,05	CCA3500-9-10	\$ 17.473.746,60	CCA4000-6-9	\$ 469.020,45
f'cr = 5000 psi				
\$ 18.906.233,59	CCA3000-9-27	\$ 17.324.882,05	CCA3500-3-25	\$ 1.581.351,54
\$ 18.906.233,59	CCA3000-9-27	\$ 18.000.915,65	CCA3500-6-21	\$ 905.317,95
\$ 18.906.233,59	CCA3000-9-27	\$ 18.572.066,07	CCA3500-9-16	\$ 334.167,52
\$ 18.906.233,59	CCA3000-9-27	\$ 17.316.920,99	CCA4000-3-19	\$ 1.589.312,61
\$ 18.906.233,59	CCA3000-9-27	\$ 17.788.396,11	CCA4000-6-12	\$ 1.117.837,48
\$ 18.906.233,59	CCA3000-9-27	\$ 18.574.520,75	CCA4000-9-8	\$ 331.712,85
f'cr = 5500 psi				
\$ 19.725.780,95	CCA3500-9-27	\$ 18.207.928,79	CCA4000-6-16	\$ 1.517.852,16
\$ 19.725.780,95	CCA3500-9-27	\$ 19.203.819,77	CCA4000-9-14	\$ 521.961,18
f'cr = 6000 psi				
\$ 19.938.001,97	CCA4000-9-21	\$ 19.151.877,33	CCA4000-6-25	\$ 786.124,64

C. Debido a las irregularidades que presentan las pendientes de los concretos con distintas adiciones de cenizas volantes (gráficas N°3, 4 y 5), es necesario para efectos de indicar el costo beneficio o beneficio neto optar por aquella gráfica que presente mayor uniformidad en dichas pendientes, es por eso que, a juicio de los ejecutores la resistencia de $f'c=3500$ psi (gráfica N°4) es aquella gráfica que más uniformidad y presentación idealizada tiene y por ende es quien más se asemeja a dicha condición. Por lo anterior la gráfica N°4 se toma para realizar el análisis costo-beneficio teniendo en consideración las diferentes resistencias promedio requeridas obtenidas ($f'cr=3500$ psi a $f'cr=5000$ psi). Con las anteriores resistencias alcanzadas se realiza el análisis de costos para los diferentes porcentajes de adiciones y edades del concreto.

Tabla 35. Análisis del Costo-Beneficio en distintos precios de una losa aligerada con $f'c = 3500$ psi, ver Anexo L.

Elemento Estructural		Solución		Beneficio Neto (pesos colombianos)
Costo (pesos colombianos)	Tipo Concreto psi	Costo (pesos colombianos)	Tipo Concreto psi	
$f'Cr = 3500$ psi				
\$ 15.436.984,98	CCA3500-3-7	\$ 15.075.600,89	CSA3500-0-14	\$ 361.384,08
$f'Cr = 4000$ psi				
\$ 16.532.551,26	CCA3500-6-7	\$ 16.334.198,94	CSA3500-0-26	\$ 198.352,31
\$ 16.532.551,26	CCA3500-6-7	\$ 15.751.634,49	CCA3500-3-10	\$ 780.916,77
$f'Cr = 4500$ psi				
\$ 17.942.767,05	CCA3500-9-10	\$ 16.276.050,34	CCA3500-3-15	\$ 1.666.716,71
\$ 17.942.767,05	CCA3500-9-10	\$ 17.161.850,28	CCA3500-6-13	\$ 780.916,77
$f'Cr = 5000$ psi				
\$ 18.572.066,07	CCA3500-9-16	\$ 17.324.882,05	CCA3500-3-25	\$ 1.247.184,02
\$ 18.572.066,07	CCA3500-9-16	\$ 18.000.915,65	CCA3500-6-21	\$ 571.150,43

Al final de este análisis se evidencia que existe beneficio económico al adicionar cenizas volantes a los diferentes tipos de mezclas como es el caso de la resistencia promedio requerida de $f'cr=4000$ psi, donde se puede observar claramente que el concreto con adiciones de cenizas volantes alcanza las especificaciones de resistencia a un menor precio que el concreto sin adiciones de cenizas volantes, pero, dicho beneficio no se puede afirmar en el caso del concreto con $f'cr=3500$ psi debido a la falta de datos. Para el caso de concretos de $f'cr=4500$ psi y $f'cr=5000$ psi no se puede llevar a cabo una comparación entre concretos con y sin adición y por ende no se puede asegurar el beneficio del uso de las cenizas volantes. Como recomendación se aconseja sustituir la cantidad de cemento presente en los diferentes tipos de mezcla con ceniza volante mas no realizar adiciones como en el presente trabajo para experimentar nuevas alternativas.

CONCLUSIONES

- La resistencia a la compresión de los diferentes mezclas de concreto de 3000, 3500 y 4000 psi logradas, permite observar que ésta crece conforme se aumenta la cantidad de ceniza en la mezcla, donde la adición al 3% se observa un incremento promedio del 38% de la resistencia con respecto a la mezcla patrón, en adiciones del 6% el incremento promedio es de 56%, por último al agregar un 9% la resistencia máxima a la compresión se incrementaron en un promedio del 61% con respecto a la mezcla patrón.
- Otro aspecto importante a tener en cuenta es que al aumentar la edad del concreto se puede apreciar el impacto que producen las cenizas volantes en la resistencia a la compresión, esta es mayor en concretos con 28 días de edad en comparación a concretos de 7 ó 14 días de edad.
- El uso de este tipo de cenizas volantes sin la inclusión del plastificante produce una notable disminución en el asentamiento de la mezcla del concreto, a causa de la alta superficie específica de las cenizas volantes, este problema se resuelve al utilizar el plastificante SIKAPLAST el cual le brinda una gran trabajabilidad a la mezcla sin necesidad de adicionar más agua evitando una variabilidad en las propiedades deseadas del concreto y un cambio en su diseño original.
- Las cenizas volantes juegan un papel importante en la compacidad del concreto, ya que, en este se presentan capilares o huecos debido a la existencia de áridos en la mezcla o una deficiencia de pasta de cemento, es ahí donde la cenizas volantes toman su lugar eliminando en gran parte dichas porosidades o burbujas de aire reduciendo en gran manera la infiltración de sustancias ajenas al concreto disminuyendo por consiguiente la afectación del concreto a los diferentes ataques de sustancias presentes en el medio ambiente sobre todo en los suelos.
- Con respecto a los diferentes tipos de concreto con adiciones de cenizas volantes que fueron objeto de estudio en el presente trabajo se puede concluir que los pesos volumétricos de las mezclas fueron afectados positivamente por el uso de la ceniza volante (compacidad), puesto que se registra un aumento en la densidad de estos siendo dicho aumento proporcional a la adición de cenizas volantes.

➤ En concretos con resistencias promedio de diseño $f'_{cr} = 3000$ y 3500 psi si existe beneficio económico del uso cenizas volantes en comparación con concretos sin ninguna clase de adición, pero para concretos de $f'_{cr} = 4000$ psi con adición de cenizas volantes no existe ninguno. A partir de las resistencias de $f'_{cr} = 4500$ psi en adelante se registra un beneficio económico en el uso de las cenizas volantes, pero solo en comparación con otros concretos con adiciones de cenizas volantes mas no con concretos sin ninguna clase de adición.

➤ Al realizar un apropiado control de calidad a los materiales usados en la fabricación de concreto y establecer unas buenas condiciones de mezclado el uso de las cenizas volantes (obviando su costo) contribuyen enormemente a las propiedades físicas del concreto en cuanto a la resistencia, durabilidad y compacidad.

RECOMENDACIONES

- Encaminar futuros trabajos de investigación a ensayos con una clase diferente de cenizas volantes como adición en diferentes mezclas de concreto, cuyas características permitan aumentar la manejabilidad del concreto en estado fresco actuando como agente reductor de agua a diferencia de las usadas en la presente investigación las cuales intensifican la necesidad de agua en la mezcla.
- Realizar sustituciones al material cementante, es decir, reemplazar un porcentaje del cemento con cenizas volantes en los diferentes tipos de mezcla para experimentar nuevas alternativas que podrían aportar resultados positivos, caso alterno al presente trabajo donde se experimentó con adiciones de cenizas volantes.
- Experimentar con adiciones superiores al 10% de adición de ceniza volante (la ficha técnica recomienda el uso de Sikafume hasta un 10% del peso del cemento), dichas prácticas podrían obtener resultados más benéficos que los logrados en estas experiencias.
- Realizar otro trabajo encaminado a observar la incidencia de las cenizas volantes en la durabilidad del concreto, puesto que, en este trabajo se evidencia el claro aumento en la compacidad del hormigón al añadir cenizas volantes, pero no se ha ensayado o experimentado directamente con la capacidad que tiene el concreto de resistir a la acción del ambiente u otros medios tanto físicos, químicos y/o biológicos (durabilidad).

ANEXOS

Anexo A. Masa unitaria arena

UNIVERSIDAD DE NARIÑO



PROCEDENCIA: MINAS COMINAGRO (TERRAZAS)
 DESCRIPCIÓN: ARENA DE TERRAZAS
 FECHA: 10/10/2016

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
PESO MUESTRA SUELTA + MOLDE (gr)	11739	11790	11758	11768	11762
PESO MUESTRA COMPACTA + MOLDE (gr)	12578	12560	12570	12604	12598
PESO MOLDE (gr)	8180	8180	8180	8180	8180
PESO MUESTRA SUELTA (gr)	3559	3610	3578	3588	3582
PESO MUESTRA COMPACTA (gr)	4398	4380	4390	4424	4418
VOLUMEN MOLDE (cm3)	2720	2720	2720	2720	2720
PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)	1,31	1,33	1,32	1,32	1,32
PESO UNITARIO COMPACTO (gr/cm3)	1,62	1,61	1,61	1,63	1,62
PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)					1,32
PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTO (gr/cm3)					1,62

NORMA DE ENSAYO: INV-E-217

ELABORO
 BRAYAN NARVAEZ R.
 CESAR GÓMEZ N.

REVISO
 ING. VICENTE PARRA

Anexo B. Gravedad específica y absorción de agregados finos

UNIVERSIDAD DE NARIÑO



PROCEDENCIA: MINAS COMINAGRO (TERRAZAS)
DESCRIPCIÓN: ARENA DE TERRAZAS
FECHA: 11/10/2016

	1	2	3	PROMEDIO
TEMPERATURA DE ENSAYO °C =	20°	20°	20°	20°
PESO DE LA MUESTRA SSS (W_{sss}) gr =	254,07	247,74	259,65	253,82
PESO MATRAZ + AGUA (W_{ma}) gr =	647,50	656,90	645,80	650,07
PESO MATRAZ + AGUA + MUESTRA (W_{mam}) gr =	796,90	803,20	798,80	799,63
PESO MUESTRA SECA (W_s) gr =	238,00	232,10	243,30	237,80

DENSIDAD NOMINAL =	$(W_s/W_s+W_{ma}-W_{mam})$	2,69	2,71	2,69	2,70
DENSIDAD APARENTE =	$(W_s/W_{sss}+W_{ma}-W_{mam})$	2,27	2,29	2,28	2,28
DENSIDAD APARENTE SSS =	$(W_{sss}/W_{sss}+W_{ma}-W_{mam})$	2,43	2,44	2,43	2,43
ABSORCIÓN =	$(W_{sss}-W_s/W_s) *100$	6,75	6,74	6,72	6,74

NORMA DE ENSAYO: INV-E-222

ELABORO
 BRAYAN NARVAEZ R.
 CESAR GÓMEZ N.

REVISO
 ING. VICENTE PARRA

Anexo C. Arenas para concretos

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES TRITURADOS

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

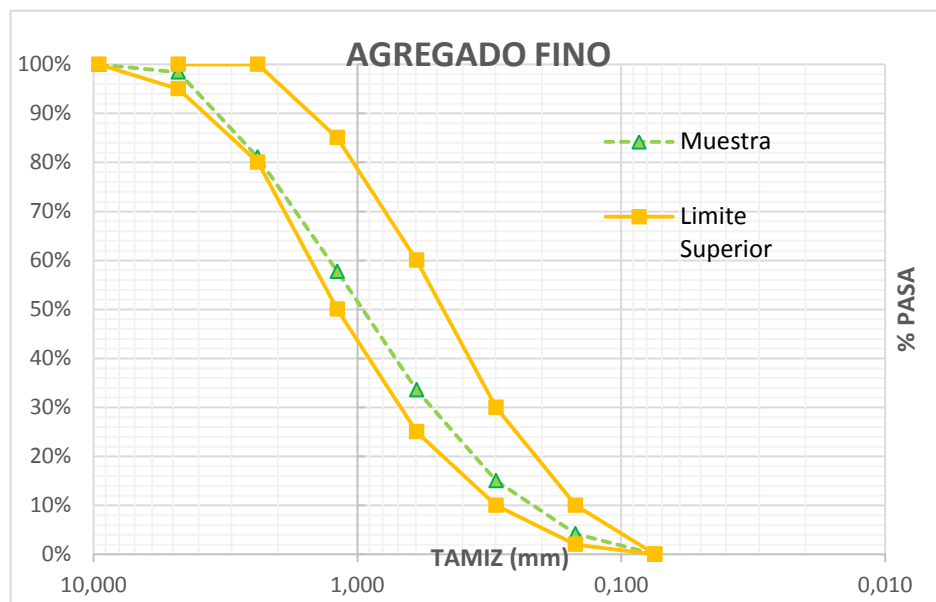


PROCEDENCIA: MINAS COMINAGRO (TERRAZAS)
 DESCRIPCIÓN: ARENA DE TERRAZAS
 FECHA: 20/10/2016

NORMAS:
INV - E - 213

GRADACIÓN AGREGADO FINO							
TAMIZ		PESO RETENIDO	RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PASA	ESPECIFICACIÓN	
N°	mm	W	%	%	%	N	
						%	
3/8"	9,525				100	100%	
4	4,763	52,5	1,61	1,61	98,4	95%	100%
8	2,381	566,8	17,37	18,98	81,0	80%	100%
16	1,191	759,6	23,28	42,27	57,7	50%	85%
30	0,595	788,7	24,18	66,44	33,6	25%	60%
50	0,298	604,3	18,52	84,97	15,0	10%	30%
100	0,149	353,8	10,85	95,81	4,2	2%	10%
200	0,074	136,6	4,19	100,00	0,0	0%	0%
PASA 200							

MODULO DE FINURA 3,10



ELABORO
 BRAYAN NARVAEZ R.
 CESAR GÓMEZ N.

REVISO
 ING. VICENTE PARRA

Anexo D. Masa unitaria grava

UNIVERSIDAD DE NARIÑO



PROCEDENCIA: CANTERA HERMANOS PABÓN
DESCRIPCIÓN: GRAVA 1 1/2"
FECHA: 13/10/2016

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
PESO MUESTRA SUELTA + MOLDE (gr)	28480	28460	28520	28460	28740
PESO MUESTRA COMPACTA + MOLDE (gr)	32370	32280	32370	32280	32200
PESO MOLDE (gr)	3800	3800	3800	3800	3800
PESO MUESTRA SUELTA (gr)	24680	24660	24720	24660	24940
PESO MUESTRA COMPACTA (gr)	28570	28480	28570	28480	28400
VOLUMEN MOLDE (cm3)	17000	17000	17000	17000	17000
PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)	1,45	1,45	1,45	1,45	1,47
PESO UNITARIO COMPACTO (gr/cm3)	1,68	1,68	1,68	1,68	1,67
PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)					1,45
PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTO (gr/cm3)					1,68

NORMA DE ENSAYO: INV-E-217

ELABORO
 BRAYAN NARVAEZ R.
 CESAR GÓMEZ N.

REVISO
 ING. VICENTE PARRA

Anexo E. Gravedad específica y absorción de agregados gruesos

UNIVERSIDAD DE NARIÑO



PROCEDENCIA: CANTERA HERMANOS PABÓN
DESCRIPCIÓN: GRAVA 1 1/2"
FECHA: 15/10/2016

	1	2	3	4	5	PROMEDIO
PESO RECIPIENTE =	118,50	140,90	141,30	133,20	145,20	135,82
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SSS =	1205,10	1338,70	1164,90	959,60	763,60	1086,38
PESO DE LA MUESTRA SSS (W _{sss}) =	1086,60	1197,80	1023,60	826,40	618,40	950,56
PESO CANASTILLA + MUESTRA EN EL AGUA	757,80	826,80	719,10	596,30	467,90	673,58
PESO CANASTILLA =	85,10	85,10	85,10	85,10	85,10	85,10
PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA (W _a) =	672,70	741,70	634,00	511,20	382,80	588,48
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA =	1174,00	1306,00	1137,00	937,00	746,00	1060,00
PESO RECIPIENTE =	118,50	140,90	141,30	133,20	145,20	135,82
PESO DE LA MUESTRA SECA (W _s) =	1055,50	1165,10	995,70	803,80	600,80	924,18
TEMPERATURA ENSAYO =	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00
DENSIDAD NOMINAL =	2,76	2,75	2,75	2,75	2,76	2,75
DENSIDAD APARENTE =	2,55	2,55	2,56	2,55	2,55	2,55
DENSIDAD APARENTE SSS =	2,63	2,63	2,63	2,62	2,62	2,63
ABSORCIÓN =	2,95	2,81	2,80	2,81	2,93	2,86

NORMA DE ENSAYO: INV-E-223

ELABORO
 BRAYAN NARVAEZ R, CESAR GÓMEZ N.

REVISO
 ING. VICENTE PARRA

Anexo F. Gravas para concretos

CARACTERIZACIÓN
DE MATERIALES
TRITURADOS

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

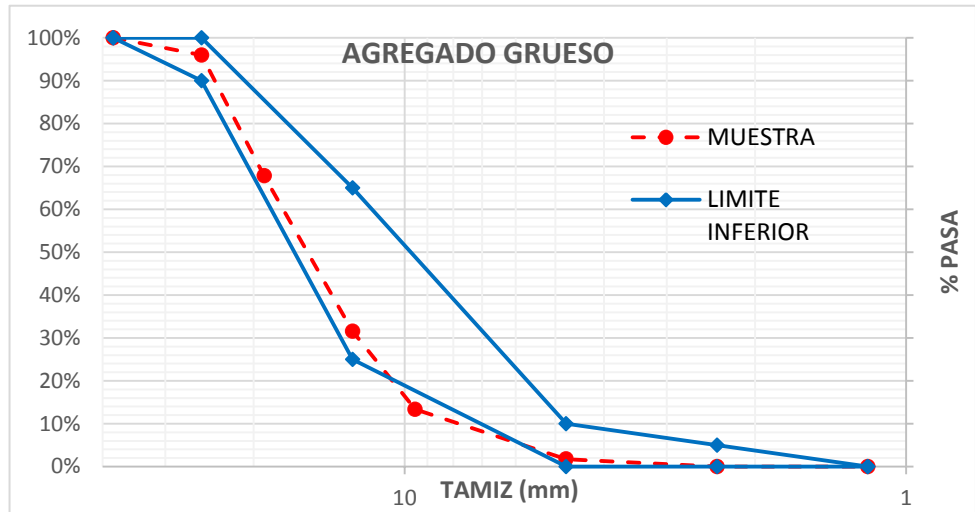


PROCEDENCIA: CANTERA HERMANOS PABÓN
DESCRIPCIÓN: GRAVA 1 1/2"
FECHA: 21/10/2016

NORMAS:
INV - E - 213

GRADACIÓN AGREGADO GRUESO							
TAMIZ		PESO RETENIDO	RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PASA	ESPECIFICACIÓN	
N°	mm	W	%	%	%	%	
1 1/2"	38,10			0	100	100%	100%
1"	25,40	375	4,06	4,06	95,9	90%	100%
3/4"	19,05	2599	28,16	32,22	67,8		
1/2"	12,70	3343	36,21	68,43	31,6	25%	65%
3/8"	9,53	1682	18,22	86,65	13,3		
4	4,76	1071	11,60	98,26	1,7	0%	10%
8	2,38	161	1,74	100,00	0,0	0%	5%
16	1,19	0	0,00	100,00	0,0	0%	0%

Σ PESO RETENIDO = 9231
TAMAÑO MÁXIMO = 1 1/2"
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL = 1"



ELABORO
BRAYAN NARVAEZ R.
CESAR GÓMEZ N.

REVISO
ING. VICENTE PARRA

Anexo G. Masa unitaria cemento

UNIVERSIDAD DE NARIÑO



PROCEDENCIA: CEMENTOS ARGOS
DESCRIPCIÓN: CEMENTO TIPO 1
FECHA: 13/10/2016

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
PESO MUESTRA SUELTA + MOLDE (gr)	11660	11598	11612	11574	11547
PESO MUESTRA COMPACTA + MOLDE (gr)	-	-	-	-	-
PESO MOLDE (gr)	8385	8385	8385	8385	8385
PESO MUESTRA SUELTA (gr)	3275	3213	3227	3189	3162
PESO MUESTRA COMPACTA (gr)	-	-	-	-	-
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	3036	3036	3036	3036	3036
PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)	1,08	1,06	1,06	1,05	1,04
PESO UNITARIO COMPACTO (gr/cm ³)	-	-	-	-	-
PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)					1,06
PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTO (gr/cm ³)					-

NORMA DE ENSAYO:

LA MASA UNITARIA DEL CEMENTO NO SE ENCUENTRA EN NINGUNA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA, ESTE ENSAYO SE REALIZO CON BASE EN LA INV-E-217 y NTC-92

ELABORO
 BRAYAN NARVAEZ R.
 CESAR GÓMEZ N.

REVISO
 ING. VICENTE PARRA

Anexo H. Minas Cominagro (Terrazas) - cantera hermanos Pabón

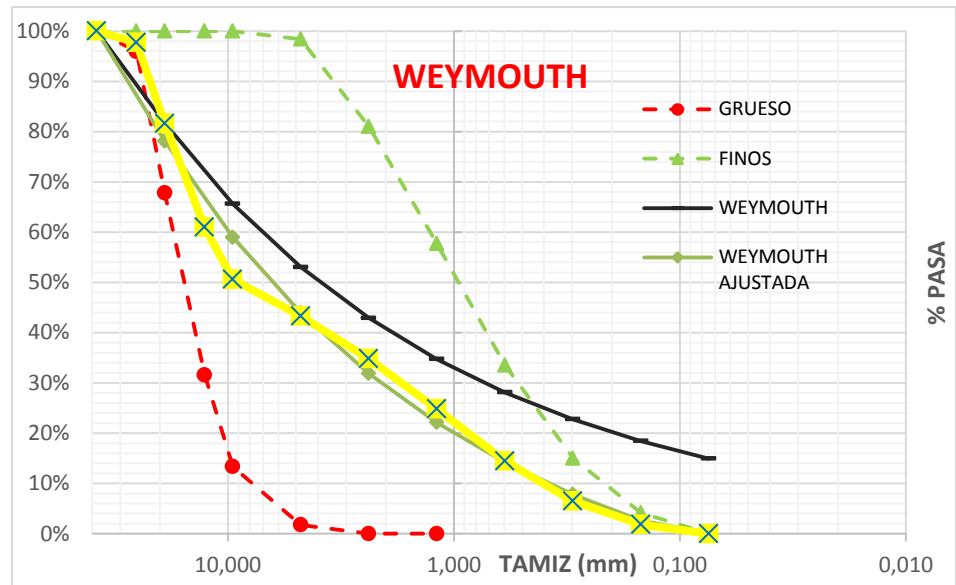
UNIVERSIDAD DE NARIÑO



PROCEDENCIA: MINAS COMINAGRO (TERRAZAS) - CANTERA HERMANOS PABÓN
DESCRIPCIÓN: 57,0% DE GRAVAS DE 1 1/2" - 43,0% ARENA
FECHA: 22/10/2016

NORMAS:
 INV - E - 213
 INV-E-222
 INV-E-223
 INV-E-217

GRANULOMETRÍA				CURVAS		WEYMOUTH AJ.
NUMERO	MILÍMETROS	A. GRUESO	A. FINO	WEYMOUTH (% PASA)	WEYMOUTH AJUSTADA (% PASA)	MEZCLA
1 1/2"	38,100	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
1"	25,400	95,9%	100,0%			0,0%
3/4"	19,050	67,8%	100,0%	81,7%	78,1%	0,0%
1/2"	12,700	31,6%	100,0%			0,0%
3/8"	9,525	13,3%	100,0%	65,6%	59,0%	0,0%
4	4,763	1,7%	98,4%	53,0%	43,9%	0,0%
8	2,381	0,0%	81,0%	42,9%	31,9%	0,0%
16	1,191	0,0%	57,7%	34,7%	22,1%	0,0%
30	0,595		33,6%	28,1%	14,2%	0,0%
50	0,298		15,0%	22,8%	7,8%	0,0%
100	0,149		4,2%	18,4%	2,6%	0,0%
200	0,074		0,0%	14,9%	0,0%	0,0%



ELABORO
 BRAYAN NARVAEZ R.
 CESAR GÓMEZ N.

REVISO
 ING. VICENTE PARRA

Anexo I. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto

I.N.V.E. - 410 - 7										
RESISTENCIA ESPECIFICADA Y DE DISEÑO				RESISTENCIA OBTENIDA						RESISTENCIA TEÓRICA
MUESTRA	FECHA DE FUNDICIÓN	f'c	f'cr	ADICIÓN CENIZAS VOLANTES	FECHA DE ENSAYO	EDAD	PESO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN		f'c
Nº	dd/mm/aa	psi	psi	%	dd/mm/aa	días	gramos	psi	PROMEDIO	psi
1	25/11/2016	3000	3571	0	02/12/2016	7	12775	2389	2452	2500
2		3000	3571	0	02/12/2016	7	12530	2569		
3		3000	3571	0	02/12/2016	7	12520	2433		
4		3000	3571	0	02/12/2016	7	12590	2453		
5		3000	3571	0	02/12/2016	7	11735	2416		
6	25/11/2016	3000	3571	0	09/12/2016	14	12200	3400	3461	3036
7		3000	3571	0	09/12/2016	14	12605	3499		
8		3000	3571	0	09/12/2016	14	12585	3471		
9		3000	3571	0	09/12/2016	14	12660	3526		
10		3000	3571	0	09/12/2016	14	12375	3410		
11	22/11/2016	3000	3571	0	20/12/2016	28	12490	3619	3611	3571
12		3000	3571	0	20/12/2016	28	12530	3593		
13		3000	3571	0	20/12/2016	28	12510	3610		
14		3000	3571	0	20/12/2016	28	12560	3599		
15		3000	3571	0	20/12/2016	28	12600	3633		
16	25/11/2016	3500	4071	0	02/12/2016	7	12220	2854	2868	2850
17		3500	4071	0	02/12/2016	7	12790	2829		
18		3500	4071	0	02/12/2016	7	12530	2867		
19		3500	4071	0	02/12/2016	7	12555	2957		
20		3500	4071	0	02/12/2016	7	12665	2833		
21	25/11/2016	3500	4071	0	09/12/2016	14	12435	3434	3529	3461
22		3500	4071	0	09/12/2016	14	12750	3649		
23		3500	4071	0	09/12/2016	14	12705	3690		
24		3500	4071	0	09/12/2016	14	12485	3441		
25		3500	4071	0	09/12/2016	14	12375	3429		

Nota: la resistencia teórica está basada en experiencias empíricas ($f'_{c_{r7}} = 0.7 * f'_{c_{r28}}$; $f'_{c_{r14}} = 0.85 * f'_{c_{r28}}$; $f'_{c_{r28}} = 1.0 * f'_{c_{r28}}$)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (ANEXO I)										
I.N.V.E. - 410 - 7										
RESISTENCIA ESPECIFICADA Y DE DISEÑO				RESISTENCIA OBTENIDA						RESISTENCIA TEÓRICA
MUESTRA	FECHA DE FUNDICIÓN	f'c	f'cr	ADICIÓN CENIZAS VOLANTES	FECHA DE ENSAYO	EDAD	PESO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN		f'c
Nº	dd/mm/aa	psi	psi	%	dd/mm/aa	días	gramos	psi	PROMEDIO	psi
26	23/11/2016	3500	4071	0	21/12/2016	28	12565	4124	4131	4071
27		3500	4071	0	21/12/2016	28	11710	4093		
28		3500	4071	0	21/12/2016	28	12900	4174		
29		3500	4071	0	21/12/2016	28	12360	4120		
30		3500	4071	0	21/12/2016	28	12160	4141		
31	29/11/2016	4000	4571	0	06/12/2016	7	12450	3200	3267	3200
32		4000	4571	0	06/12/2016	7	12505	3344		
33		4000	4571	0	06/12/2016	7	12575	3186		
34		4000	4571	0	06/12/2016	7	12610	3251		
35		4000	4571	0	06/12/2016	7	12675	3353		
36	29/11/2016	4000	4571	0	13/12/2016	14	12255	3986	3939	3886
37		4000	4571	0	13/12/2016	14	12555	3797		
38		4000	4571	0	13/12/2016	14	12235	4254		
39		4000	4571	0	13/12/2016	14	11810	3916		
40		4000	4571	0	13/12/2016	14	12795	3740		
41	24/11/2016	4000	4571	0	22/12/2016	28	12580	4670	4664	4571
42		4000	4571	0	22/12/2016	28	12605	4719		
43		4000	4571	0	22/12/2016	28	12610	4636		
44		4000	4571	0	22/12/2016	28	12625	4650		
45		4000	4571	0	22/12/2016	28	12715	4644		
46	30/11/2016	3000	3571	3	07/12/2016	7	12755	2806	2878	2919
47		3000	3571	3	07/12/2016	7	12625	2869		
48		3000	3571	3	07/12/2016	7	12660	2870		
49		3000	3571	3	07/12/2016	7	12640	2933		
50		3000	3571	3	07/12/2016	7	11925	2914		

Nota: la resistencia teórica está basada en experiencias empíricas ($f'_{c7} = 0.7 * f'_{c28}$; $f'_{c14} = 0.85 * f'_{c28}$; $f'_{c28} = 1.0 * f'_{c28}$)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (ANEXO I)										
I.N.V.E. - 410 - 7										
RESISTENCIA ESPECIFICADA Y DE DISEÑO				RESISTENCIA OBTENIDA						RESISTENCIA TEÓRICA
MUESTRA	FECHA DE FUNDICIÓN	f'c	f'cr	ADICIÓN CENIZAS VOLANTES	FECHA DE ENSAYO	EDAD	PESO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN		f'c
Nº	dd/mm/aa	psi	psi	%	dd/mm/aa	días	gramos	psi	PROMEDIO	psi
51	30/11/2016	3000	3571	3	14/12/2016	14	12770	3520	3531	3544
52		3000	3571	3	14/12/2016	14	12395	3460		
53		3000	3571	3	14/12/2016	14	12610	3441		
54		3000	3571	3	14/12/2016	14	12710	3601		
55		3000	3571	3	14/12/2016	14	12390	3633		
56	29/11/2016	3000	3571	3	27/12/2016	28	12860	4169	4170	4170
57		3000	3571	3	27/12/2016	28	12865	4227		
58		3000	3571	3	27/12/2016	28	12715	3971		
59		3000	3571	3	27/12/2016	28	11835	4213		
60		3000	3571	3	27/12/2016	28	12695	4269		
61	02/12/2016	3500	4071	3	09/12/2016	7	12860	3717	3636	3610
62		3500	4071	3	09/12/2016	7	12585	3604		
63		3500	4071	3	09/12/2016	7	12800	3644		
64		3500	4071	3	09/12/2016	7	12850	3609		
65		3500	4071	3	09/12/2016	7	12980	3604		
66	05/12/2016	3500	4071	3	19/12/2016	14	12740	4357	4431	4383
67		3500	4071	3	19/12/2016	14	12955	4341		
68		3500	4071	3	19/12/2016	14	12715	4490		
69		3500	4071	3	19/12/2016	14	12585	4506		
70		3500	4071	3	19/12/2016	14	11940	4463		
71	05/12/2016	3500	4071	3	02/01/2017	28	12880	5134	5157	5157
72		3500	4071	3	02/01/2017	28	12655	5031		
73		3500	4071	3	02/01/2017	28	12410	5419		
74		3500	4071	3	02/01/2017	28	12705	5120		
75		3500	4071	3	02/01/2017	28	12920	5080		

Nota: la resistencia teórica está basada en experiencias empíricas ($f'_{c_{r7}} = 0.7 * f'_{c_{r28}}$; $f'_{c_{r14}} = 0.85 * f'_{c_{r28}}$; $f'_{c_{r28}} = 1.0 * f'_{c_{r28}}$)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (ANEXO I)										
I.N.V.E. - 410 - 7										
RESISTENCIA ESPECIFICADA Y DE DISEÑO				RESISTENCIA OBTENIDA						RESISTENCIA TEÓRICA
MUESTRA	FECHA DE FUNDICIÓN	f'c	f'cr	ADICIÓN CENIZAS VOLANTES	FECHA DE ENSAYO	EDAD	PESO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN		f'c
Nº	dd/mm/aa	psi	psi	%	dd/mm/aa	días	gramos	psi	PROMEDIO	psi
76	08/12/2016	4000	4571	3	15/12/2016	7	12935	3750	3821	3797
77		4000	4571	3	15/12/2016	7	12430	3780		
78		4000	4571	3	15/12/2016	7	12780	4034		
79		4000	4571	3	15/12/2016	7	11940	3754		
80		4000	4571	3	15/12/2016	7	12915	3787		
81	07/12/2016	4000	4571	3	21/12/2016	14	12770	4736	4773	4611
82		4000	4571	3	21/12/2016	14	12235	4764		
83		4000	4571	3	21/12/2016	14	13030	4796		
84		4000	4571	3	21/12/2016	14	12870	4766		
85		4000	4571	3	21/12/2016	14	12715	4803		
86	07/12/2016	4000	4571	3	04/01/2017	28	11830	5337	5425	5425
87		4000	4571	3	04/01/2017	28	12540	5207		
88		4000	4571	3	04/01/2017	28	12715	5469		
89		4000	4571	3	04/01/2017	28	12435	5534		
90		4000	4571	3	04/01/2017	28	12600	5579		
91	01/12/2016	3000	3571	6	08/12/2016	7	12055	3279	3238	3457
92		3000	3571	6	08/12/2016	7	12400	3464		
93		3000	3571	6	08/12/2016	7	12875	3220		
94		3000	3571	6	08/12/2016	7	12505	3236		
95		3000	3571	6	08/12/2016	7	12550	2990		
96	30/11/2016	3000	3571	6	14/12/2016	14	12705	4471	4271	4199
97		3000	3571	6	14/12/2016	14	12680	4396		
98		3000	3571	6	14/12/2016	14	12470	4167		
99		3000	3571	6	14/12/2016	14	12660	4120		
100		3000	3571	6	14/12/2016	14	12385	4201		

Nota: la resistencia teórica está basada en experiencias empíricas ($f'_{c7} = 0.7 * f'_{c28}$; $f'_{c14} = 0.85 * f'_{c28}$; $f'_{c28} = 1.0 * f'_{c28}$)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (ANEXO I)										
I.N.V.E. - 410 - 7										
RESISTENCIA ESPECIFICADA Y DE DISEÑO				RESISTENCIA OBTENIDA						RESISTENCIA TEÓRICA
MUESTRA	FECHA DE FUNDICIÓN	f'c	f'cr	ADICIÓN CENIZAS VOLANTES	FECHA DE ENSAYO	EDAD	PESO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN		f'c
Nº	dd/mm/aa	psi	psi	%	dd/mm/aa	días	gramos	psi	PROMEDIO	psi
101	30/11/2016	3000	3571	6	28/12/2016	28	12680	4981	4939	4939
102		3000	3571	6	28/12/2016	28	12285	4887		
103		3000	3571	6	28/12/2016	28	12550	4956		
104		3000	3571	6	28/12/2016	28	11850	4953		
105		3000	3571	6	28/12/2016	28	12655	4917		
106	06/12/2016	3500	4071	6	13/12/2016	7	12785	3946	3986	3786
107		3500	4071	6	13/12/2016	7	12845	3889		
108		3500	4071	6	13/12/2016	7	12710	3994		
109		3500	4071	6	13/12/2016	7	12810	3973		
110		3500	4071	6	13/12/2016	7	12730	4129		
111	05/12/2016	3500	4071	6	19/12/2016	14	12780	4640	4626	4597
112		3500	4071	6	19/12/2016	14	12280	4604		
113		3500	4071	6	19/12/2016	14	12700	4717		
114		3500	4071	6	19/12/2016	14	12900	4649		
115		3500	4071	6	19/12/2016	14	12870	4519		
116	05/12/2016	3500	4071	6	02/01/2017	28	12700	5369	5408	5408
117		3500	4071	6	02/01/2017	28	12725	5337		
118		3500	4071	6	02/01/2017	28	12650	5497		
119		3500	4071	6	02/01/2017	28	12870	5430		
120		3500	4071	6	02/01/2017	28	12615	5406		
121	09/12/2016	4000	4571	6	16/12/2016	7	12470	4146	4214	4363
122		4000	4571	6	16/12/2016	7	12825	4300		
123		4000	4571	6	16/12/2016	7	12765	4189		
124		4000	4571	6	16/12/2016	7	12725	4224		
125		4000	4571	6	16/12/2016	7	12675	4211		


Nota: la resistencia teórica está basada en experiencias empíricas ($f'_{c_{r7}} = 0.7 * f'_{c_{r28}}$; $f'_{c_{r14}} = 0.85 * f'_{c_{r28}}$; $f'_{c_{r28}} = 1.0 * f'_{c_{r28}}$)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (ANEXO I)										
I.N.V.E. - 410 - 7										
RESISTENCIA ESPECIFICADA Y DE DISEÑO				RESISTENCIA OBTENIDA						RESISTENCIA TEÓRICA
MUESTRA	FECHA DE FUNDICIÓN	f'c	f'cr	ADICIÓN CENIZAS VOLANTES	FECHA DE ENSAYO	EDAD	PESO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN		f'c
Nº	dd/mm/aa	psi	psi	%	dd/mm/aa	días	gramos	psi	PROMEDIO	psi
126	08/12/2016	4000	4571	6	22/12/2016	14	12710	5471	5401	5299
127		4000	4571	6	22/12/2016	14	12845	5469		
128		4000	4571	6	22/12/2016	14	12715	5413		
129		4000	4571	6	22/12/2016	14	12810	5310		
130		4000	4571	6	22/12/2016	14	12625	5341		
131	08/12/2016	4000	4571	6	05/01/2017	28	12510	6231	6233	6233
132		4000	4571	6	05/01/2017	28	12760	6210		
133		4000	4571	6	05/01/2017	28	12785	6291		
134		4000	4571	6	05/01/2017	28	12835	6137		
135		4000	4571	6	05/01/2017	28	12740	6294		
136	02/12/2016	3000	3571	9	09/12/2016	7	12080	3323	3382	3551
137		3000	3571	9	09/12/2016	7	12380	3371		
138		3000	3571	9	09/12/2016	7	12900	3431		
139		3000	3571	9	09/12/2016	7	12640	3436		
140		3000	3571	9	09/12/2016	7	12805	3350		
141	01/12/2016	3000	3571	9	15/12/2016	14	12310	4426	4395	4311
142		3000	3571	9	15/12/2016	14	12735	4360		
143		3000	3571	9	15/12/2016	14	12740	4510		
144		3000	3571	9	15/12/2016	14	12725	4309		
145		3000	3571	9	15/12/2016	14	12790	4370		
146	01/12/2016	3000	3571	9	29/12/2016	28	12835	5070	5073	5073
147		3000	3571	9	29/12/2016	28	12825	5117		
148		3000	3571	9	29/12/2016	28	12770	5046		
149		3000	3571	9	29/12/2016	28	12495	5060		
150		3000	3571	9	29/12/2016	28	12435	5070		

Nota: la resistencia teórica está basada en experiencias empíricas ($f'_{c_{r7}} = 0.7 * f'_{c_{r28}}$; $f'_{c_{r14}} = 0.85 * f'_{c_{r28}}$; $f'_{c_{r28}} = 1.0 * f'_{c_{r28}}$)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (ANEXO I)										
I.N.V.E. - 410 - 7										
RESISTENCIA ESPECIFICADA Y DE DISEÑO				RESISTENCIA OBTENIDA						RESISTENCIA TEÓRICA
MUESTRA	FECHA DE FUNDICIÓN	f'c	f'cr	ADICIÓN CENIZAS VOLANTES	FECHA DE ENSAYO	EDAD	PESO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN		f'c
Nº	dd/mm/aa	psi	psi	%	dd/mm/aa	días	gramos	psi	PROMEDIO	psi
151	07/12/2016	3500	4071	9	14/12/2016	7	12775	4280	4197	3901
152		3500	4071	9	14/12/2016	7	12395	4109		
153		3500	4071	9	14/12/2016	7	12885	4040		
154		3500	4071	9	14/12/2016	7	12660	4367		
155		3500	4071	9	14/12/2016	7	12625	4187		
156	07/12/2016	3500	4071	9	21/12/2016	14	12400	5094	4904	4737
157		3500	4071	9	21/12/2016	14	12675	4764		
158		3500	4071	9	21/12/2016	14	12430	4851		
159		3500	4071	9	21/12/2016	14	12770	5064		
160		3500	4071	9	21/12/2016	14	12010	4747		
161	07/12/2016	3500	4071	9	04/01/2017	28	12550	5857	5573	5573
162		3500	4071	9	04/01/2017	28	12710	5500		
163		3500	4071	9	04/01/2017	28	12635	5491		
164		3500	4071	9	04/01/2017	28	12815	5511		
165		3500	4071	9	04/01/2017	28	12645	5507		
166	13/12/2016	4000	4571	9	20/12/2016	7	12520	4913	4940	4586
167		4000	4571	9	20/12/2016	7	12620	4940		
168		4000	4571	9	20/12/2016	7	12180	4941		
169		4000	4571	9	20/12/2016	7	12280	5009		
170		4000	4571	9	20/12/2016	7	12358	4896		
171	09/12/2016	4000	4571	9	23/12/2016	14	12895	5623	5561	5569
172		4000	4571	9	23/12/2016	14	12705	5513		
173		4000	4571	9	23/12/2016	14	12725	5479		
174		4000	4571	9	23/12/2016	14	12575	5603		
175		4000	4571	9	23/12/2016	14	12455	5589		
176	09/12/2016	4000	4571	9	06/01/2017	28	11970	6670	6551	6551
177		4000	4571	9	06/01/2017	28	12790	6643		
178		4000	4571	9	06/01/2017	28	12860	6636		
179		4000	4571	9	06/01/2017	28	12415	6247		
180		4000	4571	9	06/01/2017	28	12815	6560		

Anexo J. Losa aligerada, no incluye concreto.

 UNIVERSIDAD DE NARIÑO	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
	DEPARTAMENTO:	Nariño
	MUNICIPIO:	PASTO

FECHA: 2017
UNIDAD: m2

I. EQUIPO

Descripción	Tipo	Tarifa/hora	Rendimiento	Valor-Unitario	
Andamio multidireccional de carga certificado		\$ 2.656,00	0,100	\$ 265,60	
Mezcladora de concreto		\$ 7.969,00	0,100	\$ 796,90	
Vibrador con Motor Eléctrico		\$ 7.975,00	0,100	\$ 797,50	
Herramienta Menor			5,0%	\$ 2.747,71	
				Sub-total	\$ 4.607,71

II. MATERIALES EN OBRA

Descripción	Unidad	Precio-Unitario	Cantidad	Valor-Unitario	
Tabla común de 3x0,2x0,02 (Testerros)	und	\$ 9.000,00	0,420	\$ 3.757,23	
ACPM	gal	\$ 8.100,00	0,050	\$ 405,00	
Acero de Refuerzo	kg	\$ 2.347,42	20,00	\$ 46.948,36	
Alambre negro cal 18	kg	\$ 3.500,00	1,000	\$ 3.500,00	
Puntilla 2"	lb	\$ 2.000,00	0,205	\$ 410,00	
Casetón en icopor e=44cm - 108x246cm	m3	\$ 70.000,00	0,330	\$ 23.099,35	
Antisol blanco	kg	\$ 3.451,00	0,200	\$ 690,20	
				Sub-total	\$ 78.810,14

III. MANO DE OBRA

Descripción	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unitario	
Oficial (1)	\$ 49.181,13	90%	\$ 93.444,15	0,24	\$ 21.981,69	
Ayudante (3)	\$ 24.590,57	90%	\$ 46.722,08	0,71	\$ 32.972,53	
				Sub-total	\$ 54.954,22	
				Total Costo Directo	\$ 138.372	

Anexo K. Formaleta metálica

 UNIVERSIDAD DE NARIÑO	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
	DEPARTAMENTO:	Nariño
	MUNICIPIO:	PASTO

FECHA: 2017-09-06

UNIDAD: $m^2/día$

I. MATERIALES EN OBRA

Descripción	Unidad	Precio-Unitario	Cantidad	Valor-Unitario	
Gato Metálico o Puntal (2.8m-3.3m)	und	\$ 150,00	1,00	\$ 150,00	
Cercha Metálica L=3m	und	\$ 110,00	0,47	\$ 51,00	
Tijeras Largas y Cortas	und	\$ 70,00	0,50	\$ 35,00	
Camilla Pino Patula (1.4m * 0.7m)	und	\$ 125,00	1,14	\$ 142,00	
Sub-total					\$ 378,00

II. MANO DE OBRA

Descripción	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unitario	
Oficial (1)	\$ 49.181,13	90%	\$ 93.444,15	0,03	\$ 2.667,11	
Ayudante (2)	\$ 24.590,57	90%	\$ 46.722,08	0,03	\$ 2.667,12	
Sub-total						\$ 5.334,23

Total Costo Formaleta x área losa (día)

\$ 378,00

63,77

→

\$ 24.103,17

Anexo L. Análisis de precios de una losa aligerada con varios tipos de concretos y diferentes adiciones de cenizas volantes.

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO			Valor Concreto (m3)	Losa Aligerada (m2)	Formaleta (día)	Mano de obra formaleta (m2)	Vigilante (día)	Ingeniero (día)	Total
f'Cr (psi)	ADICIÓN (%)	EDAD (días)							
f'c = 3000 psi									
3000	3	8	\$ 4.602.880,80	\$ 8.823.295,04	\$ 192.825,36	\$ 340.137,18	\$ 424.924,91	\$ 663.945,30	\$ 15.048.008,59
3500	0	28	\$ 3.670.163,84	\$ 8.823.295,04	\$ 674.888,76	\$ 340.137,18	\$ 1.487.237,17	\$ 1.217.233,05	\$ 16.212.955,04
	3	14	\$ 4.602.880,80	\$ 8.823.295,04	\$ 337.444,38	\$ 340.137,18	\$ 743.618,59	\$ 829.931,63	\$ 15.677.307,61
	6	9	\$ 5.535.608,60	\$ 8.823.295,04	\$ 216.928,53	\$ 340.137,18	\$ 478.040,52	\$ 691.609,69	\$ 16.085.619,56
4000	9	8	\$ 6.468.325,56	\$ 8.823.295,04	\$ 192.825,36	\$ 340.137,18	\$ 424.924,91	\$ 663.945,30	\$ 16.913.453,35
	3	25	\$ 4.602.880,80	\$ 8.823.295,04	\$ 602.579,25	\$ 340.137,18	\$ 1.327.890,33	\$ 1.134.239,89	\$ 16.831.022,49
	6	12	\$ 5.535.608,60	\$ 8.823.295,04	\$ 289.238,04	\$ 340.137,18	\$ 637.387,36	\$ 774.602,85	\$ 16.400.269,07
4500	9	11	\$ 6.468.325,56	\$ 8.823.295,04	\$ 265.134,87	\$ 340.137,18	\$ 584.271,75	\$ 746.938,46	\$ 17.228.102,86
	6	19	\$ 5.535.608,60	\$ 8.823.295,04	\$ 457.960,23	\$ 340.137,18	\$ 1.009.196,65	\$ 968.253,56	\$ 17.134.451,27
5000	9	16	\$ 6.468.325,56	\$ 8.823.295,04	\$ 385.650,72	\$ 340.137,18	\$ 849.849,81	\$ 885.260,40	\$ 17.752.518,71
5000	9	27	\$ 6.468.325,56	\$ 8.823.295,04	\$ 650.785,59	\$ 340.137,18	\$ 1.434.121,56	\$ 1.189.568,66	\$ 18.906.233,59
f'c = 3500 psi									
3000	0	9	\$ 4.001.174,08	\$ 8.823.295,04	\$ 216.928,53	\$ 340.137,18	\$ 478.040,52	\$ 691.609,69	\$ 14.551.185,04
3500	0	14	\$ 4.001.174,08	\$ 8.823.295,04	\$ 337.444,38	\$ 340.137,18	\$ 743.618,59	\$ 829.931,63	\$ 15.075.600,89
	3	7	\$ 5.096.740,36	\$ 8.823.295,04	\$ 168.722,19	\$ 340.137,18	\$ 371.809,29	\$ 636.280,91	\$ 15.436.984,98
4000	0	26	\$ 4.001.174,08	\$ 8.823.295,04	\$ 626.682,42	\$ 340.137,18	\$ 1.381.005,95	\$ 1.161.904,28	\$ 16.334.198,94
	3	10	\$ 5.096.740,36	\$ 8.823.295,04	\$ 241.031,70	\$ 340.137,18	\$ 531.156,13	\$ 719.274,08	\$ 15.751.634,49
	6	7	\$ 6.192.306,64	\$ 8.823.295,04	\$ 168.722,19	\$ 340.137,18	\$ 371.809,29	\$ 636.280,91	\$ 16.532.551,26
4500	3	15	\$ 5.096.740,36	\$ 8.823.295,04	\$ 361.547,55	\$ 340.137,18	\$ 796.734,20	\$ 857.596,01	\$ 16.276.050,34
	6	13	\$ 6.192.306,64	\$ 8.823.295,04	\$ 313.341,21	\$ 340.137,18	\$ 690.502,97	\$ 802.267,24	\$ 17.161.850,28
	9	10	\$ 7.287.872,92	\$ 8.823.295,04	\$ 241.031,70	\$ 340.137,18	\$ 531.156,13	\$ 719.274,08	\$ 17.942.767,05
5000	3	25	\$ 5.096.740,36	\$ 8.823.295,04	\$ 602.579,25	\$ 340.137,18	\$ 1.327.890,33	\$ 1.134.239,89	\$ 17.324.882,05
	6	21	\$ 6.192.306,64	\$ 8.823.295,04	\$ 506.166,57	\$ 340.137,18	\$ 1.115.427,88	\$ 1.023.582,34	\$ 18.000.915,65
	9	16	\$ 7.287.872,92	\$ 8.823.295,04	\$ 385.650,72	\$ 340.137,18	\$ 849.849,81	\$ 885.260,40	\$ 18.572.066,07
5500	9	27	\$ 7.287.872,92	\$ 8.823.295,04	\$ 650.785,59	\$ 340.137,18	\$ 1.434.121,56	\$ 1.189.568,66	\$ 19.725.780,95

ANÁLISIS DE PRECIOS DE UNA LOSA ALIGERADA CON VARIOS TIPOS DE CONCRETOS Y DIFERENTES ADICIONES DE CENIZAS VOLANTES. (ANEXO L)									
CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO			Valor Concreto (m3)	Losa Aligerada (m2)	Formaleta (día)	Mano de obra formaleta (m2)	Vigilante (día)	Ingeniero(día)	Total
f'Cr (psi)	ADICIÓN (%)	EDA D (días)							
f'c = 4000 psi									
3500	0	9	\$ 4.512.421,00	\$ 8.823.295,04	\$ 216.928,53	\$ 340.137,18	\$ 478.040,52	\$ 691.609,69	\$ 15.062.431,96
4000	0	15	\$ 4.512.421,00	\$ 8.823.295,04	\$ 361.547,55	\$ 340.137,18	\$ 796.734,20	\$ 857.596,01	\$ 15.691.730,98
	3	8	\$ 5.718.078,32	\$ 8.823.295,04	\$ 192.825,36	\$ 340.137,18	\$ 424.924,91	\$ 663.945,30	\$ 16.163.206,11
4500	0	26	\$ 4.512.421,00	\$ 8.823.295,04	\$ 626.682,42	\$ 340.137,18	\$ 1.381.005,95	\$ 1.161.904,28	\$ 16.845.445,86
	3	12	\$ 5.718.078,32	\$ 8.823.295,04	\$ 289.238,04	\$ 340.137,18	\$ 637.387,36	\$ 774.602,85	\$ 16.582.738,79
	6	9	\$ 6.923.735,64	\$ 8.823.295,04	\$ 216.928,53	\$ 340.137,18	\$ 478.040,52	\$ 691.609,69	\$ 17.473.746,60
5000	3	19	\$ 5.718.078,32	\$ 8.823.295,04	\$ 457.960,23	\$ 340.137,18	\$ 1.009.196,65	\$ 968.253,56	\$ 17.316.920,99
	6	12	\$ 6.923.735,64	\$ 8.823.295,04	\$ 289.238,04	\$ 340.137,18	\$ 637.387,36	\$ 774.602,85	\$ 17.788.396,11
	9	8	\$ 8.129.392,96	\$ 8.823.295,04	\$ 192.825,36	\$ 340.137,18	\$ 424.924,91	\$ 663.945,30	\$ 18.574.520,75
5500	6	16	\$ 6.923.735,64	\$ 8.823.295,04	\$ 385.650,72	\$ 340.137,18	\$ 849.849,81	\$ 885.260,40	\$ 18.207.928,79
	9	14	\$ 8.129.392,96	\$ 8.823.295,04	\$ 337.444,38	\$ 340.137,18	\$ 743.618,59	\$ 829.931,63	\$ 19.203.819,77
6000	6	25	\$ 6.923.735,64	\$ 8.823.295,04	\$ 602.579,25	\$ 340.137,18	\$ 1.327.890,33	\$ 1.134.239,89	\$ 19.151.877,33
	9	21	\$ 8.129.392,96	\$ 8.823.295,04	\$ 506.166,57	\$ 340.137,18	\$ 1.115.427,88	\$ 1.023.582,34	\$ 19.938.001,97
6500	9	28	\$ 8.129.392,96	\$ 8.823.295,04	\$ 674.888,76	\$ 340.137,18	\$ 1.487.237,17	\$ 1.217.233,05	\$ 20.672.184,16