

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN
DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN UN $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$ VARIANDO
LA RELACIÓN DE ESBELTEZ ”**

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

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

HARRY ALFREDO CAMPOS VENTURA

ASESOR:

MCs. Ing. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS

CAJAMARCA - PERÚ

-2018-

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mis queridos padres, a mi mamá Flormira por su infinito amor y esfuerzo realizado para sacar adelante a la familia, por enseñarme a nunca rendirme a pesar de las adversidades que se presenten en la vida, que sin esfuerzo no hay victoria y aprender a levantarme cuando se crea todo perdido. A mi papá Arcadio, que desde el cielo me cuida y me guía por el camino del bien, que de pequeño me enseñó el arte de la responsabilidad y disciplina que ahora son mi mayor herencia.

AGRADECIMIENTO

A los docentes que me guiaron a lo largo de toda mi formación, a los amigos que pude encontrar en el camino, a esa personita especial que me acompañó durante los momentos buenos y malos en la universidad y por brindarme su amor incondicional. A mis familiares que me apoyaron y me alentaron a ser una mejor persona y seguir adelante en mi carrera profesional, a mis compañeros y jefes de trabajo que me brindaron la oportunidad de crecer e iniciarme en este bonito mundo de la ingeniería y hacer que me vuelva a enamorar de la carrera.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Hipótesis.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.4. Alcances De La Investigación.....	3
1.5. Justificación de la Investigación.....	3
1.6. Delimitaciones y Limitaciones De La Investigación.....	3
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación.....	5
2.2. Bases Teóricas.....	7
2.2.1. Concreto.....	7
2.2.2. Cemento.....	16
2.2.3. Agregados.....	22
2.2.4. El agua de mezcla.....	26
2.2.5. Pruebas del concreto endurecido.....	29
2.3. Definición De Términos Básicos.....	35
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODO.....	37
3.1. Ubicación Geográfica De La Investigación.....	37
3.2. Diseño de la investigación.....	37
3.2.1. Tipo.....	37
3.2.2. Diseño.....	38
3.2.3. Variables.....	38
3.2.4. Población.....	38
3.2.5. Muestra.....	38
3.3. Procedimiento de la investigación.....	38
3.3.1. Cantera de estudio.....	38
3.3.2. Características de los agregados para concreto.....	39

3.3.3. El cemento utilizado.....	54
3.3.4. Agua.....	54
3.3.5. Diseños de mezcla.....	54
3.3.6. Peso Unitario del concreto en estado fresco.....	61
3.3.7. Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto.....	62
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	64
4.1. Presentación y Discusión de las propiedades físico- mecánicas de los agregados.....	64
4.2. Resultado del diseño de mezcla de concreto.....	65
4.3. Resultados y análisis de la consistencia del concreto.....	66
4.4. Densidad de masa del concreto en estado fresco.....	68
4.5. Análisis de la densidad de masa del concreto en estado endurecido.....	69
4.6. Análisis de los resultados obtenidos del módulo de elasticidad.....	70
4.7. Presentación y discusión de resultados de los ensayos a compresión.....	71
4.8. Presentación y discusión de resultados, del factor de esbeltez y factor de corrección.....	76
4.9. Discusión de resultados contrastados con las bases teóricas.....	81
4.10. Prueba De Hipótesis.....	82
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
5.1. Conclusiones.....	84
5.2. Recomendaciones.....	85
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	86
ANEXO 01: Propiedades físico-mecánicas de los agregados.....	88
ANEXO 02: Ensayo de resistencia a la compresión axial.....	98
ANEXO 03: Cálculos, Resultados y Gráfica Esfuerzo – Deformación.....	110
ANEXO 04: Constancia de utilización de laboratorio de ensayo de materiales. .	120
ANEXO 05: Ficha técnica del cemento utilizado.	1201
ANEXO 06: Consideraciones estadísticas.....	122
ANEXO 07: Panel fotográfico.....	123
ANEXO 08: Plano de Ubicación de la cantera.....	140

ÍNDICE DE TABLAS

Título	Página
Tabla 1. <i>Porcentajes de los Compuestos químicos del cemento portland</i>	17
Tabla 2. <i>Porcentajes de los óxidos del cemento portland</i>	18
Tabla 3. <i>Compuestos que definen el comportamiento del cemento hidratado</i>	18
Tabla 4. <i>Límites de impurezas permitidos al agua de mezcla</i>	29
Tabla 5. <i>Factores de corrección según la relación de esbeltez</i>	31
Tabla 6. <i>Factores de corrección estándar para resistencia de cilindros con diferentes relaciones de altura respecto al diámetro</i>	32
Tabla 7. <i>Cantidad de muestra requerida para granulometría</i>	44
Tabla 8. <i>Requisito granulométrico del agregado fino</i>	45
Tabla 9. <i>Requisito granulométrico del agregado grueso</i>	46
Tabla 10. <i>Capacidad de los recipientes para realizar el ensayo de peso unitario.</i>	48
Tabla 11. <i>Masa de la carga dependiendo del tipo de gradación del agregado</i>	52
Tabla 12. <i>Gradación de las muestras de ensayo</i>	52
Tabla 13. <i>Propiedades físico-mecánicas del agregado fino y grueso</i>	55
Tabla 14. <i>f'_{cr} en función del grado de control de calidad en la obra</i>	55
Tabla 15. <i>Consistencia y Asentamiento.</i>	56
Tabla 16. <i>Volumen unitario de agua</i>	56
Tabla 17. <i>Determinación del aire atrapado según el tamaño máximo nominal.</i>	57
Tabla 18. <i>Relación agua/cemento y resistencia a la compresión requerida del concreto</i> .	57
Tabla 19. <i>Módulo de finura de la combinación de agregados</i>	58
Tabla 20. <i>Tiempo de prueba de los especímenes y tolerancia</i>	63
Tabla 21. <i>Propiedades físico-mecánicas de los agregados de la cantera “doña ramona”</i>	64
Tabla 22. <i>Asentamiento del concreto, en cada grupo experimental</i>	66
Tabla 23. <i>Peso unitario del concreto en estado fresco</i>	68
Tabla 24. <i>Peso unitario del concreto en estado seco, a la edad de 28 días</i>	69
Tabla 25. <i>Módulo de elasticidad del concreto, a la edad de 28 días</i>	70
Tabla 26. <i>Resistencia a la compresión del concreto de los seis grupos experimentales, a la edad de 7 días</i>	71
Tabla 27. <i>Resistencia a la compresión del concreto de los seis grupos experimentales, a la edad de 28 días</i>	74
Tabla 28. <i>Factor de esbeltez (L/D) y factor de corrección por esbeltez de los seis grupos experimentales, a la edad de 7 días</i>	77

Tabla 29. <i>Factor de esbeltez (L/D) y factor de corrección por esbeltez, para especímenes cilíndricos con edad de 7 días</i>	78
Tabla 30. <i>Factor de esbeltez (L/D) y factor de corrección por esbeltez de los seis grupos experimentales, a la edad de 28 días</i>	79
Tabla 31. <i>Factor de esbeltez (L/D) y factor de corrección por esbeltez, para especímenes cilíndricos con edad de 28 días</i>	81
Tabla 32. <i>Tabla ANOVA para los datos presentados en la tabla 27</i>	82
Tabla 33. <i>Análisis granulométrico del agregado fino de la muestra N° 01</i>	88
Tabla 34. <i>Análisis granulométrico del agregado fino de la muestra N° 02</i>	88
Tabla 35. <i>Análisis granulométrico del agregado fino de la muestra N° 03</i>	89
Tabla 36. <i>Módulo de finura del Agregado Fino</i>	90
Tabla 37. <i>Análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra N° 01</i>	90
Tabla 38. <i>Análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra N°02</i>	91
Tabla 39. <i>Análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra N°03</i>	91
Tabla 40. <i>Módulo de finura del Agregado Fino</i>	92
Tabla 41. <i>Peso específico del agua</i>	93
Tabla 42. <i>Factor f del molde para el peso unitario del agregado fino.</i>	93
Tabla 43. <i>Peso unitario seco suelto del agregado fino.</i>	93
Tabla 44. <i>Peso unitario seco compactado o varillado del agregado fino.</i>	93
Tabla 45. <i>Factor f del molde para el peso unitario del agregado grueso.</i>	94
Tabla 46. <i>Peso unitario seco suelto del agregado Grueso</i>	94
Tabla 47. <i>Peso unitario seco compactado o varillado del agregado Grueso</i>	94
Tabla 48. <i>Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino.</i>	94
Tabla 49. <i>Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado grueso</i>	95
Tabla 50. <i>Peso específico del Agregado Fino.</i>	95
Tabla 51. <i>Contenido de humedad del agregado fino.</i>	96
Tabla 52. <i>Contenido de humedad del agregado grueso</i>	96
Tabla 53. <i>Peso específico del Agregado Grueso.</i>	96
Tabla 54. <i>Desgaste a la abrasión del agregado grueso.</i>	97
Tabla 55. <i>Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.0, a la edad de 7 días</i>	98
Tabla 56. <i>Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.2, a la edad de 7 días</i>	99

Tabla 57. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.4, a la edad de 7 días	100
Tabla 58. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.6, a la edad de 7 días	101
Tabla 59. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.8, a la edad de 7 días	102
Tabla 60. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 2.0, a la edad de 7 días	103
Tabla 61. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.0, a la edad de 28 días	104
Tabla 62. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.2, a la edad de 28 días	105
Tabla 63. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.4, a la edad de 28 días	106
Tabla 64. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.6, a la edad de 28 días	107
Tabla 65. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.8, a la edad de 28 días	108
Tabla 66. Resistencia a compresión axial de Especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 2.0, a la edad de 28 días	109
Tabla 67. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 01	110
Tabla 68. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 02	111
Tabla 69. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 03	112
Tabla 70. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 04	113
Tabla 71. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 05	114
Tabla 72. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 06	115
Tabla 73. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 07	116
Tabla 74. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 08	117
Tabla 75. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 09	118
Tabla 76. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 10	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Título	Página
Figura 1. Variación de las proporciones usadas en el concreto en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.....	8
Figura 2. Sección transversal del concreto endurecido, confeccionado con grava arredondeada de silicio (izquierda) y calcáreo triturado (derecha)	8
Figura 3. Agua de exudación en la superficie del concreto recién colocado en losa	12
Figura 4. Desarrollo de la resistencia a compresión de varios concreto, expresado como porcentaje de la resistencia a compresión a los 28 días.....	13
Figura 5. Comparación entre resistencia de siete días y relación agua/cemento para concreto hecho con cemento portland de endurecimiento rápido.	14
Figura 6. Patrón general de influencia de la relación altura/diámetro sobre la resistencia evidente de un cilindro	33
Figura 7. La prueba de tensión indirecta	35
Figura 8. Ubicación de donde se realizó la investigación	37
Figura 9. Cantera doña Ramora.....	39
Figura 10. Consistencia de la mezcla en cada grupo experimental.....	67
Figura 11. Peso unitario del concreto en estado fresco	68
Figura 12. Peso unitario del concreto en estado seco	70
Figura 13. Gráfico de valores individuales de la resistencia a compresión VS. Relación de esbeltez (L/D) a la edad de 7 días.....	72
Figura 14. Gráfico de caja de la resistencia a compresión VS. Relación de esbeltez (L/D) a la edad de 7 días.....	73
Figura 15. Gráfico de valores individuales de la resistencia a compresión VS. Relación de esbeltez (L/D) a la edad de 28 días.....	75
Figura 16. Gráfico de caja de la resistencia a compresión VS. Relación de esbeltez (L/D) a la edad de 28 días.....	76
Figura 17. Gráfico de relación de esbeltez (L/D) VS. Factor de corrección, a la edad de 7 días.....	77
Figura 18. Gráfico de relación de esbeltez (L/D) VS. Factor de corrección, a la edad de 28 días.....	80

Figura 19. Gráfico de distribución F, para la toma de decisión	83
Figura 20. Curva de distribución granulométrica del agregado fino.....	89
Figura 21. Requisito granulométrico del agregado grueso.....	92
Figura 22. Grafica N°1, deformación unitaria VS. Esfuerzo	110
Figura 23. Grafica N°2, deformación unitaria VS. Esfuerzo	111
Figura 24. Grafica N°3, deformación unitaria VS. Esfuerzo	112
Figura 25. Grafica N°4, deformación unitaria VS. Esfuerzo	113
Figura 26. Grafica N°5, deformación unitaria VS. Esfuerzo	114
Figura 27. Grafica N°6, deformación unitaria VS. Esfuerzo	115
Figura 28. Grafica N°7, deformación unitaria VS. Esfuerzo	116
Figura 29. Grafica N°8, deformación unitaria VS. Esfuerzo	117
Figura 30. Grafica N°9, deformación unitaria VS. Esfuerzo	118
Figura 31. Grafica N°10, deformación unitaria VS. Esfuerzo	119
Figura 32. Cantera doña ramona ubicada hacia el lado izquierdo de la progresiva Km. 1209+370 de la Carretera Longitudinal de la Sierra	123
Figura 33. Río Condebamba donde se extraen los agregados	123
Figura 34. Chancadora de la cantera doña ramona.....	124
Figura 35. Cauce del Río Condebamba donde se encuentran dispersos los agregados ...	124
Figura 36. Pilas de Agregado grueso de perfil angular de la cantera Doña Ramona.....	125
Figura 37. Pilas de agregado fino de la cantera Doña Ramona.....	125
Figura 38. Cuarteo de los agregados para determinar sus diferentes propiedades físico- mecánicas.....	126
Figura 39. Ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso	126
Figura 40. Ensayo para determinar el peso específico del agregado fino	127
Figura 41. Análisis granulométrico del agregado fino mediante tamizado.....	127
Figura 42. Pesos retenidos por las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200	128
Figura 43. Análisis granulométrico del agregado grueso mediante tamizado	128
Figura 44. Pesos retenidos por las mallas, N° ¾”, N° ½”, N°3/8”, N°4 y , N°8 y N°16	129
Figura 45. Calculo del volumen del recipiente empleado para determinar el peso unitario del agregado fino.	129
Figura 46. Peso unitario del agregado fino.....	130
Figura 47. Calculo del volumen del recipiente empleado para determinar el peso unitario del agregado Grueso.	130

Figura 48. Peso unitario del agregado grueso	131
Figura 49. Ensayo de contenido de humedad de agregado fino y grueso	131
Figura 50. Preparación por tamizado de la muestra para el ensayo de abrasión	132
Figura 51. Máquina de los ángeles empleada para el ensayo de abrasión	132
Figura 52. Colocación de la muestra en el interior de la máquina de los ángeles.....	133
Figura 53. Muestra final, producto del ensayo de abrasión.....	133
Figura 54. Tamizado de la muestra por el tamiz N° 12 para determinar el desgaste a la abrasión.....	134
Figura 55. Mezcla de consistencia plástica elaborada para la fabricación de los especímenes de concreto con diferente esbeltez.....	134
Figura 56. Ensayo de asentamiento de cono de Abrams	135
Figura 57. Llenado y compactación de probetas.	135
Figura 58. Probetas llenas, de los diferentes grupos experimentales	136
Figura 59. Desencofrado y codificación de los especímenes cilíndricos de concreto.....	136
Figura 60. Codificación de los especímenes cilíndrico con diferente esbeltez	137
Figura 61. Curado de los especímenes cilíndricos de concreto.....	137
Figura 62. Registro del diámetro y altura de los especímenes de concreto.....	138
Figura 63. Lectura del deflectómetro para la elaboración de las curvas esfuerzo VS: deformación.....	138
Figura 64. Registro de carga última de rotura en los especímenes cilíndricos	139
Figura 65. Asesor, Tesista y Técnico de laboratorio realizando el ensayo de compresión axial	139

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, para calcular la variación de la resistencia a compresión del concreto (f'_c) variando la relación de esbeltez, se elaboraron una serie de probetas de concreto con $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$, para después someterlas a ensayos de compresión axial. Las probetas tienen diferentes alturas manipuladas intencionalmente para obtener relaciones de altura – diámetro (esbeltez) cercanas a 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 y 2.0. De estos seis grupos se elaboraron 30 especímenes de cada uno, para un total de 180 probetas, de las cuales 90 fueron ensayadas a los 7 días y las 90 restantes a los 28 días. La Norma Técnica Peruana (NTP 339.034) y su equivalente internacional ASTM C39, usan probetas que tengan una esbeltez estándar igual a 2, como es imposible que todas las probetas tengan esta esbeltez, las normas establecen coeficientes de corrección por esbeltez para probetas que tengan esbelteces mayores a 1 y menores que 2. Concluyéndose que existe una relación inversa ya que al reducir la esbeltez de 2 a 1, se obtiene un incremento de la resistencia a compresión de 35.84 kg/cm^2 (12.80%) a los 7 días y de 35.06 kg/cm^2 (12.52%) a los 28 días. Además, estos coeficientes fueron comparados con los coeficientes de las normas peruanas y extranjeras antes mencionadas presentando una insignificante variación.

Palabras clave: Especímenes cilíndricos de concreto, resistencia a la compresión, longitud, diámetro y relación de esbeltez.

ABSTRACT

In the present work of investigation, to calculate the variation of the compressive strength of the concrete (f_c) varying the slenderness ratio, a series of concrete specimens with $f_c = 280$ kg / cm² was elaborated, to later submit them to axial compression tests. The test pieces have different heights intentionally manipulated to obtain height - diameter (slenderness) ratios close to 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 and 2.0. Of these six groups, 30 specimens of each were made, for a total of 180 specimens, of which 90 were tested at 7 days and the remaining 90 at 28 days. The Peruvian Technical Standard (NTP 339.034) and its international equivalent ASTM C39, use specimens that have a standard slenderness equal to 2, since it is impossible that all specimens have this slenderness, the standards establish correction coefficients for slenderness for specimens that have slenderness greater than 1 and less than 2. Concluding that there is an inverse relationship since by reducing the slenderness of 2 to 1, an increase in the compressive strength of 35.84 kg / cm² (12.80%) is obtained after 7 days and of 35.06 kg / cm² (12.52%) at 28 days. In addition, these coefficients were compared with the coefficients of the Peruvian and foreign standards mentioned above, presenting an insignificant variation.

Keywords: Cylindrical concrete specimens, compressive strength, length, diameter and slenderness ratio.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1. Contextualización

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. El ensayo a la compresión del concreto es un método muy común empleado por los ingenieros porque a través de él pueden verificar si el concreto que están empleando en una obra con una proporción de materiales determinada logra alcanzar la resistencia exigida en dicha obra.

El ensayo a la compresión se considera un método destructivo porque es necesaria la rotura de probetas para determinar la resistencia a la compresión de estas, curadas en laboratorio y probando su resistencia a los 28 días. La forma de las probetas para el ensayo a compresión por lo general es cilíndrica, siendo sus dimensiones posibles las siguientes; probetas cilíndricas de 15cmx30cm o 10cmx20cm.

El tamaño estándar del testigo de diámetro de 150 mm con una esbeltez de 2, para no tener que introducir ningún coeficiente de corrección de forma, con respecto a la resistencia determinada sobre probetas estándar. Sin embargo, el obtener testigos de este tamaño no siempre es una opción practicable cuando se trata de un muestreo de concreto in-situ, debido a las limitaciones al recolectar las muestras, por ese motivo es necesario introducir determinados coeficientes de corrección, para poder comparar testigos de diferente esbeltez, o compensar la disminución o aumento de resistencia producida.

1.1.2. Descripción del problema

La norma NTP 339.034 y NTP 339.059 consideran factores de corrección para variaciones de la esbeltez en especímenes cilíndricos de concreto, pero estos valores presentan una carencia ya que los valores se encuentran en rangos demasiado amplios, estos de 12.5% de variación entre dos valores próximos, o en su defecto, de 3.75 cm de variación en la altura del espécimen. Sin embargo, los resultados que se obtienen en la practica son muy distintos, ya que al momento de realizar la toma de muestras de estos especímenes influyen una gran cantidad de factores externos como: tamaño del

molde, errores humanos en la toma de muestra, cambios de volumen del concreto durante el curado, etc. Por ello, es necesario incluir valores para diferentes relaciones de esbeltez para obtener una corrección más precisa.

1.1.3. Formulación del problema.

El tema objeto de la presente investigación se puede sintetizar en la siguiente interrogante:

¿Cuál es la variación de la resistencia a la compresión del concreto con un $f'c=280\text{kg/cm}^2$ a diferentes relaciones de esbeltez?

1.2. Hipótesis

1.2.1. Hipótesis general

- La resistencia a compresión en especímenes de concreto con un $f'c$ igual a 280 kg/cm^2 , aumenta a medida que la relación de esbeltez disminuye

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto con un $f'c$ igual a 280 kg/cm^2 variando su relación de esbeltez.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados de la cantera Doña Ramona localizada en el cauce del río Condebamba, hacia el lado izquierdo de la progresiva Km. 1209+370 de la Carretera Longitudinal de la Sierra.
- Determinar el diseño de mezcla para un concreto con una resistencia a la compresión igual a 280 kg/cm^2 .
- Determinar la influencia en la resistencia a compresión axial de los especímenes cilíndricos variando la relación de esbeltez de 2 a 1, a edades de 7 y 28 días.
- Determinar los factores de corrección por esbeltez a través de una ecuación para el cálculo del factor de corrección a partir de la línea de tendencia generada por los datos de las diferentes esbelteces.

1.4. Alcances De La Investigación.

El alcance del presente trabajo de investigación es realizar un análisis de la resistencia a compresión axial de especímenes de concreto con f'_c igual 280 kg/cm^2 , al hacer variar la relación de esbeltez de 2, 1.8, 1.6, 1.4, 1.2 y 1.0. Con la finalidad de generar las curvas y ecuaciones que determinen factores de corrección a cualquier esbeltez.

1.5. Justificación de la Investigación

La importancia de la presente investigación se fundamenta principalmente en la solución a los vacíos de las normas nacionales NTP 339.034 y NTP 339.059 contienen respecto a los coeficientes de corrección por esbeltez para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Por lo que en esta investigación se pretende encontrar de forma experimental los coeficientes de corrección por esbeltez adecuados a nuestra realidad y tener un conocimiento de cómo afecta a las probetas estándares evaluando la resistencia a compresión con diferentes relaciones de esbeltez.

La presente investigación se realizó para dar una solución de corrección por esbeltez al momento de evaluar la resistencia a la compresión axial en especímenes cilíndricos de concreto con un valor de esbeltez que no esté contenido, o sean valores intermedios, a los que tenemos en las normas peruanas; siempre y cuando el valor de la esbeltez este contenido entre 1 y 2. Ya que estos son eventos que los profesionales comúnmente pasan por alto al momento de realizar ensayos a los especímenes de obra.

1.6. Delimitaciones y Limitaciones De La Investigación.

1.6.1. Delimitaciones

La investigación se realizó en la ciudad de Cajamarca, provincia de Cajamarca y región Cajamarca en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Merítales “Carlos Esparza Díaz – Edificio 1C” de la Facultad de Ingeniería de la Universitario de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Los ensayos se realizaron durante el periodo comprendido entre el 01 de febrero al 15 de abril del año 2018, utilizando probetas cilíndricas de concreto con $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ fabricadas en moldes estándar con un diámetro de 15cm y una altura que varía

intencionalmente entre 15 y 30 cm, estas probetas fueron elaboradas con agregados de la cantera Doña Ramona localizada en el cauce del río Condebamba, hacia el lado izquierdo de la progresiva Km. 1209+370 de la Carretera Longitudinal de la Sierra y cemento Portland Tipo I de la marca Pacasmayo.

Con éstas muestras se analizará la resistencia a compresión de estos especímenes, haciendo variar intencionalmente las alturas de estas probetas con la finalidad de obtener diferentes relaciones de esbeltez (L/D), para poder concluir analizando el comportamiento de la resistencia a compresión cuando las probetas de concreto no tienen las dimensiones estándar, y tengan relaciones de esbeltez comprendidas entre 1 y 2, y por intermedio de estos resultados poder determinar los coeficientes de corrección por esbeltez. La elección de los materiales estará de acuerdo con las normas internacionales (ASTM¹) y nacionales (NTP²). Del mismo modo los ensayos se llevarán a cabo siguiendo las normas técnicas ASTM, NTO y recomendaciones ACI³.

1.6.2. Limitaciones

Una de las limitaciones más importantes es que se está tomando únicamente el Cemento Portland Tipo I de la marca Pacasmayo y agregado de origen fluvial de la cantera Doña Ramora, no pudiendo generalizarse estos resultados para otros tipos de agregados, tipos de cemento y marcas de este.

Sólo se realizaron tratamientos de estudio de concreto con un diseño de mezclas para un $f'c$ igual a 280 kg/cm² y con una relación agua/cemento según el diseño de mezclas de 0.55. lo cual podría no coincidir cuando se utilicen diferentes resistencias de diseño o de concreto.

¹ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials) o ASTM International es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América.

²NTP: Normas Técnicas Peruanas

³ACI: American Concrete Institute, instituto Americano del Concreto, es una organización de Estados Unidos de América que publica normas y recomendaciones técnicas con referencia al concreto reforzado.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación

2.1.1. A nivel internacional.

- Hincapié, A y Valencia, J. En Colombia (2003). Resistencia al hormigón: Núcleos vs. Cilindros. *Revista Universidad EAFIT*, 39(131), 87,95. En el presente artículo menciona que verifica los diferentes resultados que se encuentran en la literatura nacional e internacional sobre la relación existente entre la resistencia de cilindros de hormigón curados en laboratorio en inmersión (cilindros normalizados), la resistencia de cilindros curados en obra (cilindro testigo) y la resistencia de núcleos extraídos de elementos estructurales fabricados en el laboratorio, pero curados con las mismas condiciones de obra. En este trabajo se midieron las propiedades de resistencia del hormigón tanto en los cilindros normalizados, en los cilindros testigos y en los núcleos.

La resistencia también se evaluó indirectamente por el método de ultrasonido para verificar y complementar los resultados. Las variables estudiadas fueron el *diámetro del núcleo, la altura de extracción*, la dirección de extracción y las condiciones de curado de los cilindros. Se ensayaron un total de 48 cilindros y 36 núcleos extraídos de vigas y columnas, encontrando que la resistencia del núcleo se afecta insignificadamente por las variables arriba mencionadas y que el método de ultrasonido es un complemento del estudio de la resistencia en estructuras terminadas. Concluyendo que como no se observaron diferencias en la resistencia de los núcleos con diferente diámetro, se puede concluir que este no tiene una influencia significativa en los valores de resistencia.

- Barbosa, E y Gallardo, R. En Colombia (2006). Comparación de resultados de resistencias a, compresión del hormigón empleando cilindros de dimensiones no estandarizadas. *Ingeniería e investigación*, 48(122), 41-55. En el presente artículo menciona que en la fase experimental se elaboraron tres diseños de mezcla para producir resistencias a la compresión del hormigón de 13.7MPa (140kg/cm²), 16.7MPa (170kg/cm²) y 19.6 MPa (200 kg/cm²), cada una con dos tamaños

máximos de agregado (1" y 3/4"), repitiendo cada mezcla una vez (dos por cada tamaño máximo de agregado, Mezcla A y Mezcla B), para un total de doce (12) mezclas y se utilizaron tres diferentes tamaños de cilindros, D7.5, D10 Y D15, fueron ensayados a 3, 7 Y 28 días, por cada tamaño se tomaron tres muestras, preparándose 27 cilindros por mezcla, para un total de 324 cilindros. Concluyendo que los coeficientes de variación de la resistencia aumentan con la disminución del diámetro del cilindro y decrecen cuando el TMN del agregado disminuye de 1" a 3/4". En otras palabras, el coeficiente de variación de las resistencias a la compresión del hormigón aumenta cuando decrece la relación D/d (Diámetro del cilindro / Tamaño máximo del agregado).

2.1.2. A nivel nacional.

- Bonilla, D. desarrollo un estudio en la universidad Pontificia Universidad Católica del Perú en el año (2006), referente a los factores de corrección de la resistencia en compresión de prismas de albañilería por efectos de esbeltez. En el presente trabajo de investigación Para conocer la resistencia a compresión de la albañilería ($f'm$) se construyen prismas o pilas, asentando unidades de albañilería una sobre otra con mortero, para después someterlas a ensayos de compresión axial. ***Las pilas pueden tener diferentes alturas***, dependiendo del número de unidades de albañilería que se use en su construcción; por este motivo se tienen diferentes relaciones altura – espesor del prisma (***esbeltez***). La Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (norma peruana) usa para fines estructurales pilas que tengan una esbeltez estándar igual a 5, como es imposible que todos los prismas tengan esta esbeltez, la norma establece coeficientes de corrección de $f'm$ por esbeltez (C_{ce}) para pilas que tengan esbelteces mayores que 2 y menores que 5. Concluyendo que Estos coeficientes fueron comparados con los coeficientes de las normas peruanas, extranjeras y con los coeficientes hallados de forma analítica usando el método de elementos finitos. Se concluyó, finalmente, que los valores C_{ce} dados por la norma E.070 son muy parecidos a los coeficientes hallados en esta investigación.

- Gonzales, R. Tesis en la Universidad Señor de Sipán (2017) “Análisis Comparativo De La Resistencia A Compresión De Un Concreto Convencional Utilizando Muestras Cilíndricas Y Cúbicas” La presente investigación está enfocada en el estudio comparativo de la resistencia a compresión en dos tipos de probetas, probetas cilíndricas y cúbicas, diseñadas a resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ las cuales fueron evaluadas y ensayadas en laboratorio siguiéndose las normas técnicas peruanas y guiándose de normas chilenas para cada tipo de probeta. Partiendo por la evaluación al concreto convencional, se considerarán como factores importantes el slump, el peso, la temperatura, y el peso específico del concreto fresco. Se evaluó también al concreto en su estado endurecido, factores y propiedades como la resistencia a compresión, el tipo de fracturamiento durante el ensayo. Teniendo como factor influyente el tiempo de curado (7, 14, 28 días) al que estarán sometidas ambos tipos de probetas, usando únicamente agua potable extraída del laboratorio. Como resultado se observó que al utilizar probetas cúbicas las resistencias a compresión alcanzadas son mayores en comparación con el uso de probetas cilíndricas. Realizada las conversiones notamos que la Norma Chile (NCh170.Of85) y su tabla de transformación a partir de probetas cúbicas de 20” es la que mejor se asemeja a los resultados obtenidos en esta investigación.

2.1.3. A nivel local.

No se encontraron antecedentes.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Concreto

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua (Figura 1). Otros materiales cementosos (cementantes) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta. (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

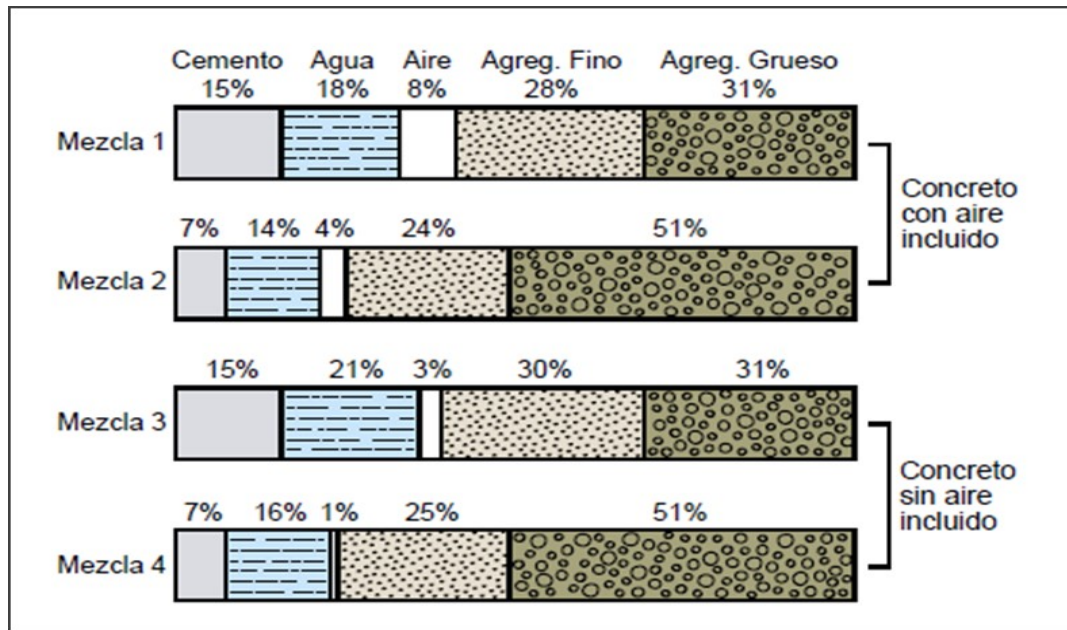


Figura 1. Variación de las proporciones usadas en el concreto en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes

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

Según Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi (2004) mencionan que la calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula del agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de los agregados se llenan totalmente con pasta, como se muestra en la figura 2.

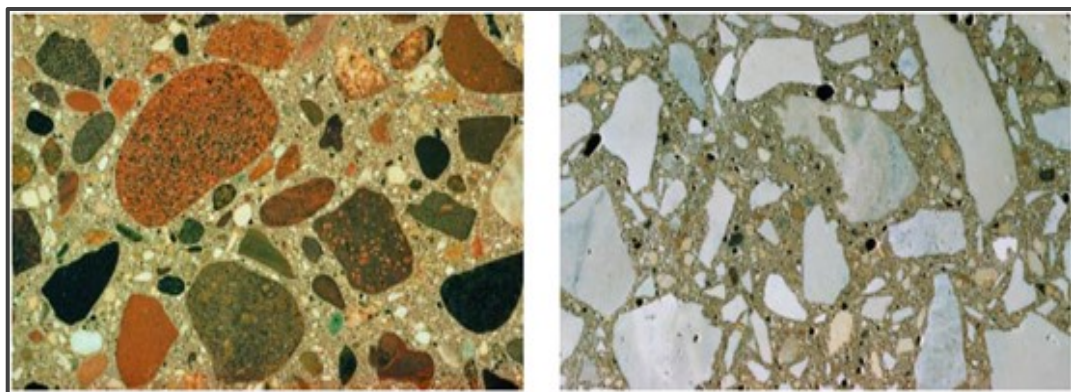


Figura 2. Sección transversal del concreto endurecido, confeccionado con grava arredondeada de silicio (izquierda) y calceó triturado (derecha)

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

El concreto es un producto artificial que está compuesto de (a) un medio ligante denominado pasta, y (b) de un medio ligado denominado “agregado” el cual se encuentran embebido dentro de la pasta, la pasta es el resultado de la combinación química del material cementante con el agua. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de éste (Rivva, 2004).

La pasta de concreto, según Rivva (2004) es aquella parte del concreto endurecido conocida como pasta comprende a cuatro elementos fundamentales: (a) El gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación⁴ del cemento, (b) Los poros incluidos en ella, (c) El cemento no hidratado, si lo hay, (d) Los cristales de hidróxido de calcio, o cal libre, que puedan haberse formado durante la hidratación del cemento. Estos cuatro elementos tienen un papel fundamental en el comportamiento del concreto.

Las propiedades de la pasta dependen de: (a) Las propiedades físicas y químicas del cemento, (b) Las proporciones relativas de cemento y agua en la mezcla, (c) El grado de hidratación del cemento, dado por la efectividad de la combinación química entre éste y el agua

De otro lado, la pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto que son: (a) Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido, (b) Separar las partículas de agregado, (c) Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas, (d) Proporcionar lubricación a la masa cuando ésta aún no ha endurecido. (Rivva, 2004).

⁴se define como hidratación al proceso de reacción química del cemento en presencia del agua. La hidratación requiere de presencia de humedad, condiciones de curado favorables, y tiempo.

2.2.1.1. Propiedades del concreto

Trabajabilidad

Según Rivva (2000) afirma que la trabajabilidad es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones, esta definición involucra conceptos tales como: capacidad de moldeo, cohesividad y capacidad de compactación. Igualmente, la trabajabilidad involucra el concepto de fluidez, con énfasis en la plasticidad y uniformidad dado que ambas tienen marcada influencia en el comportamiento y apariencia final de la estructura.

La trabajabilidad se puede definir como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación total. La trabajabilidad es una propiedad que no es mensurable dado que está referida a las características y perfil del encofrado; a la cantidad y distribución del acero de refuerzo y elementos embebidos; y al procedimiento empleado para compactar el concreto.

La trabajabilidad se ve afectada por: la fineza del cemento; la granulometría y las características físicas de los agregados; las partículas más finas que pasan por el tamiz N° 50 y N° 100; el perfil angular de la piedra partida; las partículas de agregado chatas y alargadas; la presencia de altos porcentajes de agregado de ¼" a 3/8"; la incorporación de aire; etc.

Consistencia

Está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose con ello que cuanto más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación. La consistencia, se refiere a la firmeza de la forma de una sustancia o a la facilidad con que fluye.

La consistencia está relacionada pero no es sinónimo de trabajabilidad. Así, por ejemplo, una mezcla muy trabajable para pavimentos puede ser muy consistente, en tanto que una mezcla poco trabajable en estructuras con alta concentración de acero puede ser de consistencia plástica. (Rivva, 2000)

Segregación

Según Rivva (2000) afirma que la segregación es una propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del Agregado Grueso del Mortero. Es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciendo en el elemento llenado, bolones de piedra, capas arenosas, cangrejeras, etc.

La segregación es una función de la consistencia de la mezcla, siendo el riesgo mayor cuanto más húmeda es esta y menor cuánto más seca lo es. En el proceso de diseño de mezclas, es necesario tener siempre presente el riesgo de segregación, pudiéndose disminuir este, mediante el aumento de finos (cemento o A. fino) y de la consistencia de la mezcla.

Generalmente procesos inadecuados de manipulación y colocación son las causas del fenómeno de segregación en las mezclas; la segregación ocurre cuando parte del concreto se mueve más rápido que el concreto adyacente, por ejemplo, el tanqueteo de las carretillas con ruedas metálicas tiende a producir que el agregado grueso se precipite al fondo mientras que la “lechada” asciende a la superficie. Cuando se suelta el concreto de alturas mayores de ½ metro el efecto es semejante, también se produce segregación cuando se permite que el concreto corra por canaletas, máximo si estas presentan cambios de dirección y el excesivo vibrado de la mezcla produce segregación.

Exudación

Se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos; este fenómeno se presenta momentos después de que el concreto ha sido colocado en el encofrado.

La exudación puede ser producto de una mala dosificación de la mezcla, de un exceso de agua en la misma, de la utilización de aditivos, y de la temperatura, en la medida en que a mayor temperatura mayor es la velocidad de exudación. La exudación es perjudicial para el concreto, pues como consecuencia de este fenómeno la superficie de contacto durante la colocación de una capa sobre otra puede disminuir su resistencia debido al incremento de la relación agua – cemento

en esta zona y como producto del ascenso de una parte del agua de mezclado, se puede obtener un concreto poroso y poco durable. (Rivera, 2013)

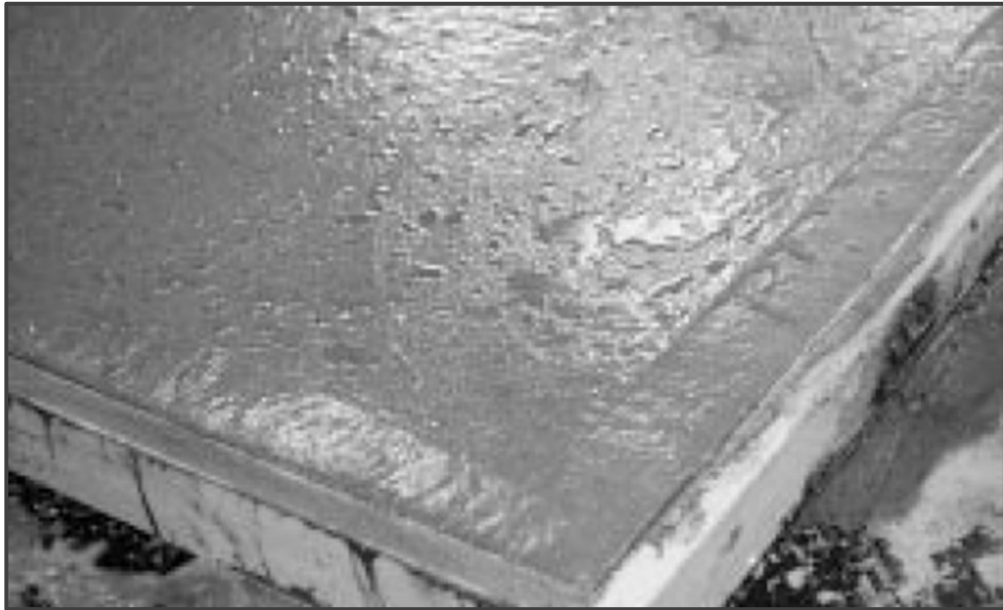


Figura 3. Agua de exudación en la superficie del concreto recién colocado en losa

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

Resistencia

Se considera comúnmente que la propiedad más valiosa del concreto es su resistencia, aunque en muchos casos prácticos, otras características tales como la durabilidad o la permeabilidad pueden ser más importantes. No obstante, la resistencia suele dar una imagen general de la calidad del concreto por estar directamente relacionada con la estructura de la pasta de cemento hidratada. Más aún, la resistencia del concreto es, casi invariablemente, un elemento vital del diseño estructural y se especifica con fines de cumplimiento. (Neville, 2013)

La resistencia del concreto no puede probarse en condición plástica, por lo que el procedimiento acostumbrado consiste en tomar muestras durante el mezclado las cuales después de curadas se someten a pruebas de compresión. Se emplea la resistencia a la compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de las propiedades del concreto mejoran al incrementarse esta resistencia. La resistencia en compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área soportada por una muestra, antes de fallar por compresión

(agrietamientos, roturas). La resistencia a la compresión de un concreto (f'_c) debe ser alcanzado a los 28 días, después de vaciado y realizado el curado respectivo. (Rivera, 2013)

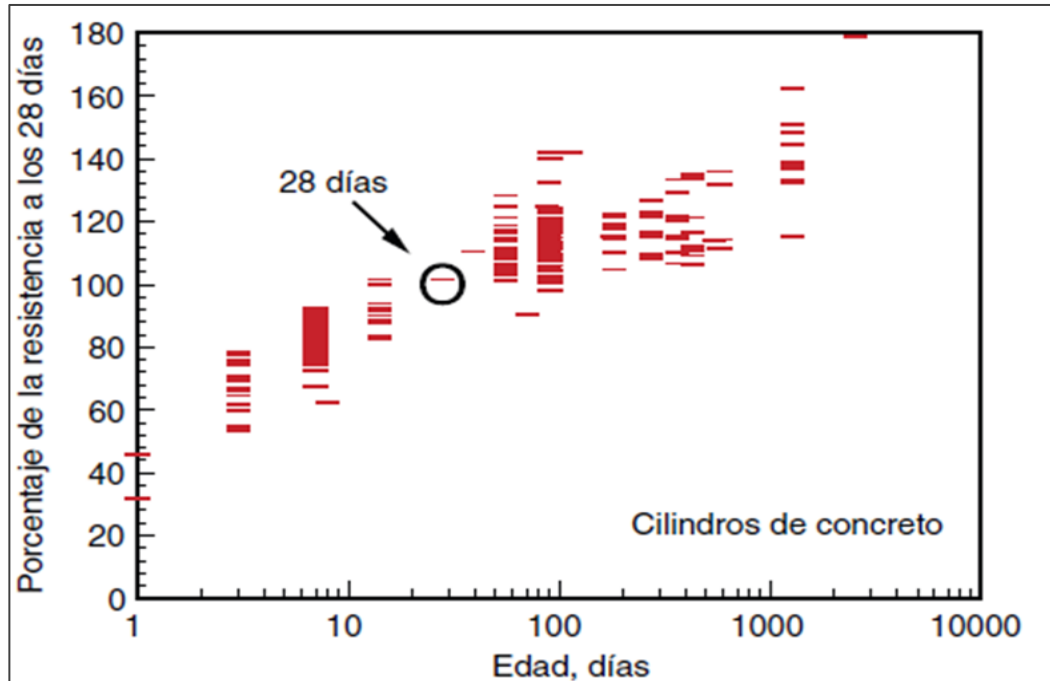


Figura 4. Desarrollo de la resistencia a compresión de varios concreto, expresado como porcentaje de la resistencia a compresión a los 28 días

Fuente: Lange, 1994

La resistencia a compresión del concreto se puede definir como la medida máxima de la resistencia a compresión axial de especímenes de concreto. Normalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2), mega pascales (MPa) o libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg^2 o psi) a una edad de 28 días. Un megapascal equivale a la fuerza de un newton por milímetro cuadrado (N/mm^2) o 10.2 kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado.

Se puede usar otras edades para pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. La resistencia a compresión a los 7 días normalmente se estima que es el 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días, como se puede observar en la figura 4. (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

A. Factores que afectan la Resistencia

a) **La relación agua – cemento (a/c).** Es el factor principal que influye en la resistencia del concreto. La relación a/c, afecta la resistencia a la compresión de los concretos con o sin aire incluido. La resistencia en ambos casos disminuye con el aumento de a/c. La figura 5 muestra que la gráfica de la resistencia contra relación agua/cemento se aproxima a la forma de una hipérbola.

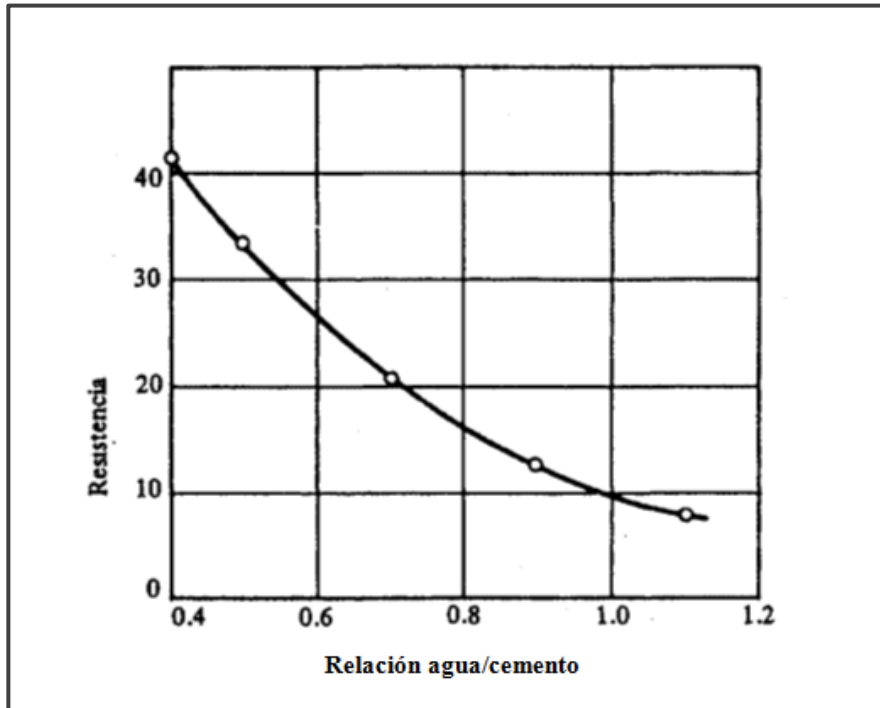


Figura 5. Comparación entre resistencia de siete días y relación agua/cemento para concreto hecho con cemento portland de endurecimiento rápido.

Fuente: Neville, 2004

b) **El contenido de cemento.** - La resistencia disminuye conforme se reduce el contenido de cemento.

c) **El tipo de cemento.** - La rapidez de desarrollo de resistencia varía para los concretos hechos con diferentes tipos de cemento.

d) **Las condiciones de curado.** - Dado que las reacciones de hidratación del cemento sólo ocurren en presencia de una cantidad adecuada de agua, se debe mantener la humedad en el concreto durante el periodo de curado, para que pueda incrementarse su resistencia con el tiempo. (Rivera, 2013)

Durabilidad

El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por intemperie sufridos por el concreto pueden atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia del concreto a esos daños puede mejorarse aumentando la impermeabilidad incluyendo 2 a 6% de aire con un agente inductor de aire, o aplicando un revestimiento protector a la superficie.

Los agentes químicos como ácidos inorgánicos, ácido acético y carbónico y los sulfatos de calcio, sodio, magnesio, potasio, aluminio, y hierro desintegran o dañan el concreto. Cuando puede ocurrir contacto entre estos agentes y el concreto, se debe proteger el concreto con un revestimiento resistente; para lograr resistencia a los sulfatos, se debe usar cemento Pórtland Tipo V. La resistencia al desgaste por lo general, se logra con un concreto denso, de alta resistencia, hecho con agregados duros. (Rivera, 2013)

Impermeabilidad

Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y, si están interconectadas, el agua puede penetrar o atravesar el concreto. La inclusión de aire (burbujas diminutas) así como un curado adecuado por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad. (Rivera, 2013)

Peso unitario

El concreto convencional, normalmente utilizado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400 Kg/m³. La densidad del concreto varía dependiendo de la calidad y densidad del agregado, la cantidad del aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad

2.2.2. Cemento

Neville (2013) en el sentido general de la palabra menciona que el cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Esta definición comprende una gran variedad de materiales cementantes.

Para efectos de construcción, el significado del término cemento se restringe a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción, etc. Los principales componentes de este tipo de cemento son compuestos de cal, de modo que en construcción e ingeniería civil se trabaja con cementos calcáreos. Los cementos que se utilizan en la fabricación del concreto tienen la propiedad de fraguar y endurecer bajo o sumergidos en agua, en virtud de que experimentan una reacción química con ésta y, por lo tanto, se denominan cementos hidráulicos. Los cementos hidráulicos están compuestos principalmente por silicatos y aluminatos de cal y pueden clasificarse, en general, como cementos naturales, cementos portland y cementos de alta alúmina. (Neville, 2013)

Rivva (2000) afirma que el cemento es el componente más activo del concreto y, generalmente, tiene el mayor costo unitario por ello, y considerando que las propiedades del concreto dependen tanto de la cantidad como de la calidad de sus componentes, la selección y uso adecuado del cemento son fundamentales para obtener en forma económica las propiedades deseadas para una mezcla dada.

La importancia de elaborar especificaciones adecuadas es obvia, ya que ellas deben garantizar que sólo se ha de emplear la cantidad y tipo de cemento adecuados para alcanzar los requisitos que se desea obtener en el concreto. La totalidad de los cementos empleados en el Perú son cementos portland que cumplen con los requisitos que especifica la NTP 334.009 o su equivalente, la norma ASTM C 150; o cementos combinados, que cumplen con lo indicado en la NTP 334.090 o su equivalente, la norma ASTM C 595.

2.2.2.1. Fabricación del el cemento Portland

Las materias primas, finamente molidas e íntimamente mezcladas, se calientan hasta principio de la fusión (1400 – 1450 ° C), usualmente en grandes hornos giratorios,

que pueden llegar a medir más de 200 mts. de longitud y 5.50 mts. de diámetro. Al material parcialmente fundido que sale del horno se le denomina Clínter (pequeñas esferas de color gris negruzco, duras y de diferentes tamaños); el Clínter enfriado y molido a polvo muy fino, es lo que constituye el cemento Portland comercial. Durante la molienda se agrega una pequeña cantidad de yeso (3 ó 4 %), para regular la fragua del cemento. (Rivva, 2000)

El cemento portland se produce por la pulverización del Clínter, el cual consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos. El Clínter también contiene algunos aluminatos de calcio y ferro aluminatos de calcio (yeso) que se muele juntamente con el Clínter para la fabricación del producto final. Los materiales usados en la producción del cemento portland deben contener cantidades apropiadas de los compuestos de calcio, sílice, alúmina y hierro. Durante la fabricación se hace análisis químico, frecuente de todos los materiales para que garantice una calidad alta y uniforme del cemento. (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

2.2.2.2. Compuestos químicos conforman al cemento Pórtland

Como el cemento es una mezcla de muchos compuestos, resulta impráctica su representación con una fórmula química. Los componentes principales de las materias primas para la fabricación del cemento son:

Tabla 1. *Porcentajes de los Compuestos químicos del cemento portland*

	Componente	Procedencia
95%	Oxido de Calcio (CaO)	Rocas calizas
	Oxido de Sílice (SiO ₂)	Areniscas
	Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, mineral de hierro, pirita
5 %	Óxidos de Magnesio, Sodio, 5% Potasio, Titanio, Azufre, Fosforo y Manganeso	Minerales Varios

Fuente: Pasquel, 2011

Los porcentajes típicos en que intervienen los óxidos mencionados en el cemento Pórtland son:

Tabla 2. *Porcentajes de los óxidos del cemento portland*

Compuesto	Porcentaje	Abreviatura
CaO	61% - 67%	C
SiO ₂	20% - 27%	S
Al ₂ O ₃	4% - 7%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 4%	F
SO ₃	1% - 3%	
MgO	1% - 5%	
K ₂ O y Na ₂ O	25% - 1.5%	

Fuente: Pasquel, 2011

Luego del proceso de formación del Clínter y molienda final, se obtienen los siguientes compuestos que son los que definen el comportamiento del cemento hidratado y que estableceremos con su fórmula química, abreviatura y nombre corriente

Tabla 3. *Compuestos que definen el comportamiento del cemento hidratado*

Descripción	Abreviación
a) Silicato tricálcico (3CaO.SiO ₂ ALITA)	C ₃ S
b) Silicato dicálcico (2CaO.SiO BELITA)	C ₂ S
c) Aluminato tricálcico (3CaO.Al ₂ O ₃)	C ₃ A
d) Aluminio ferrita tetracálcico (4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ CELITA)	C ₄ AF
e) Oxido de Magnesio	MgO
f) Óxidos de Potasio y Sodio (Álcalis)	K ₂ O, Na ₂ O
g) Óxidos de Manganeso y Titanio	Mn ₂ O ₃ , TiO ₂

Fuente: Pasquel, 2011

Según afirma Rivva (2000); cada uno de los compuestos principales del cemento Pórtland contribuye en el comportamiento del cemento, cuando pasa del estado plástico al endurecido después de la hidratación. Por ejemplo:

- **El silicato tricálcico (C₃S).** - Es el que produce la alta resistencia inicial del cemento Pórtland hidratado. La reacción del C₃S con agua desprende gran cantidad de calor (calor de hidratación). La rapidez de endurecimiento de la pasta de cemento es directamente proporcional con el calor de hidratación.
- **El silicato dicálcico (C₂S).** - Es el causante principal de la resistencia posterior de la pasta de cemento.
- **El aluminato tricálcico (C₃A).** - El yeso agregado al cemento Pórtland durante la trituración o molienda en el proceso de fabricación se combina con el C₃A para controlar el tiempo de fraguado. También es responsable de la resistencia del cemento a los sulfatos ya que al reaccionar con estos produce Sulfoaluminatos con propiedades expansivas.
- **La aluminio ferrita tetracálcica (C₄AF).** - Es semejante al C₃A, porque se hidrata con rapidez, desarrolla baja resistencia y secundariamente tiene trascendencia en el calor de hidratación.
- **Oxido de Magnesio (MgO).** - Pese a ser un componente menor, tiene importancia pues para contenidos mayores del 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida.
- **Óxidos de Potasio y Sodio (K₂O, Na₂O).** - Tiene importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados, y los solubles en agua contribuyen a producir eflorescencias con agregados calcáreos.
- **Óxidos de Manganeso y Titanio (Mn₂O₃, TiO₂).** - El primero no tiene significación especial en las propiedades del cemento, salvo en su coloración, que tiende a ser marrón si se tienen contenidos mayores del 3%. Se ha observado que en casos donde los contenidos superan el 5% se obtiene disminución de resistencia a largo plazo.

De los compuestos mencionados, los silicatos y aluminatos constituyen los componentes mayores habiendo sido establecidos por Le Chatelier en 1887. En 1929 R.H. Bogue define las fórmulas para el cálculo de los componentes del cemento en base a la composición de óxidos y que han sido asumidas como norma por ASTM C

-150, permitiendo una aproximación práctica al comportamiento potencial de cualquier cemento sin mezclas. (Rivva, 2000)

2.2.2.3. Clasificación del cemento Pórtland

Los cementos Pórtland, se fabrican en cinco tipos cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de la especificación ASTM de Normas para el cemento Pórtland (C 150).

- **TIPO I:** Es el cemento destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifica la utilización de los otros 4 tipos de cemento.
- **TIPO II:** Es el cemento destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación.
- **TIPO III:** Es el cemento de alta resistencia inicial. El concreto hecho con el cemento tipo III desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en 28 días por concretos hechos con cemento tipo I o tipo II.
- **TIPO IV:** Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación.
- **TIPO V:** Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar.

La Norma ASTM C – 1157 clasifica a los cementos Pórtland adicionados en:

- **TIPO MS:** De moderada resistencia a los sulfatos.
- **TIPO HS:** De alta resistencia a los sulfatos
- **TIPO MH: De moderado calor de hidratación**
- **TIPO LH: De bajo calor de hidratación**
- **TIPO EH: De alta resistencia inicial.**

2.2.2.4. Fraguado y endurecimiento

Este es el término utilizado para describir la rigidez de la pasta del cemento, aun cuando la definición de rigidez de la pasta puede considerarse un poco arbitraria. En términos generales, el fraguado se refiere a un cambio del estado fluido al estado rígido. Aunque durante el fraguado la pasta adquiere cierta resistencia, para efectos

prácticos es conveniente distinguir el fraguado o del endurecimiento, pues este último término se refiere al incremento de resistencia de una pasta de cemento fraguada. Parece que el fraguado es causado por una hidratación selectiva de algunos componentes del cemento: los dos primeros en reaccionar son C_3A y C_3S , pero la adición de yeso retrasa la formación del hidrato de aluminato de calcio y, por lo tanto, el C_3S fragua primero. El C_3S puro mezclado con agua también presenta un fraguado inicial, pero el C_2S se endurece en forma más gradual. (Neville, 2013)

2.2.2.5. Calor de Hidratación

De acuerdo con muchas reacciones químicas, la hidratación de compuestos del cemento es exotérmica, y pueden liberarse hasta 500 J/s (120 cal/g). Puesto que la conductividad del concreto es relativamente baja, actúa como aislante y, en el interior de una masa grande de concreto, la hidratación puede producir un fuerte aumento en la temperatura. Al mismo tiempo la masa exterior del concreto pierde algo de calor, de modo que se produce un fuerte gradiente de temperatura, y durante el subsecuente enfriamiento del interior, pueden tener lugar graves agrietamientos. Sin embargo, este comportamiento se modifica por la fluencia del concreto o por aislamiento de las superficies de la masa de concreto. (Neville, 2013)

Según afirma Rivva (2000); Durante el proceso de endurecimiento se producen reacciones que generan calor. Cuando las secciones son pequeñas y el calor puede liberarse, el calor de hidratación no es importante, pero al vaciar grandes volúmenes de concreto y cuando el calor no puede liberarse fácilmente, resulta un factor a tenerse muy en cuenta; la temperatura que genera la hidratación llega a los 50 °C en presas, algunos investigadores han observado temperaturas mayores. Como la temperatura ambiente es menor se producen descensos bruscos de ésta, ocasionando contracciones y en consecuencia rajaduras.

En el vaciado de grandes volúmenes es indispensable controlar este efecto si no se desea sufrir desagradables sorpresas. Se debe usar cemento de bajo calor de hidratación y/o puzolanas. El calor de hidratación del cemento se mide en calorías gramo, cuanto menor sea el calor de hidratación del cemento menor será la temperatura a que se eleve el concreto.

2.2.2.6. Función desempeña el yeso en el cemento.

La velocidad con que se desarrolla el endurecimiento del cemento, debe ser controlada dentro de ciertos límites para que este sea un producto útil en la construcción. Si las reacciones fuesen demasiado rápidas, el concreto endurecería rápidamente y no podría ser transportado y colocado sin ocasionarle daño. Si las reacciones fuesen demasiado lentas, la demora en adquirir resistencia sería objetable. Por lo tanto, la velocidad de reacción debe controlarse. Esto se logra dosificando cuidadosamente la cantidad de yeso que se agrega al Clínter durante la molienda. (Rivva, 2000)

2.2.2.7. El endurecimiento del cemento Portland

Cuando el cemento se mezcla con la cantidad suficiente de agua para formar una pasta, los compuestos del cemento reaccionan y se combinan con el agua para establecer un desarrollo lento de estructuras cristalinas cementantes que se adhieren a las partículas entremezcladas de arena y piedra. Esto une la masa al mismo tiempo, que desarrolla resistencia y adquiere gran dureza. Mientras haya humedad continúa la reacción, esa es la razón de la importancia del curado como se verá posteriormente, esta reacción puede durar años. (Rivva, 2000)

2.2.3. Agregados.

Material granular, que puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, etc., usado con un medio cementante para formar concreto o mortero; la calidad del agregado es de suma importancia, ya que le corresponde aproximadamente las tres cuartas partes del volumen del concreto. El agregado no sólo puede limitar la resistencia del concreto o mortero, si no que sus propiedades pueden afectar su durabilidad y desempeño.

Porque al menos tres cuartas partes del volumen del concreto están ocupadas por agregado, no es de extrañar de que la calidad de éste sea de suma importancia. Los agregados no sólo pueden limitar la resistencia del concreto, puesto que agregados débiles no pueden constituir un concreto resistente, sino que además sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad como el comportamiento estructural del concreto.

Originalmente, los agregados se consideraban un material inerte, que se repartía en toda la pasta de cemento, más que nada por razones económicas. Sin embargo, es posible asumir un punto de vista opuesto y pensar que los agregados son un material de construcción unido a un todo cohesivo por medio de la pasta de cemento, como sucede en las construcciones de mampostería. De hecho, los agregados. No son realmente inertes y sus propiedades físicas, térmicas y, a veces, químicas, influyen en el comportamiento del concreto. (Neville, 2013)

2.2.3.1. Clasificación de los agregados según su procedencia

De acuerdo con el origen de los agregados, según su procedencia ya sea de fuentes naturales o a partir de productos industriales, se pueden clasificar de la siguiente manera:

A. Agregados naturales.

Son aquellos procedentes de la explotación de fuentes naturales tales como: depósitos de arrastres fluviales (arenas y gravas de río) o glaciares (cantos rodados) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Pueden usarse tal como se hallen o variando la distribución de tamaños de sus partículas, si ello se requiere. Todas las partículas que provienen de los agregados tienen su origen en una masa mayor la que se ha fragmentado por procesos naturales como intemperismo y abrasión, o mediante trituración mecánica realizada por el hombre, por lo que gran parte de sus características vienen dadas por la roca madre que le dio su origen.

De acuerdo a la geología histórica; estos se transforman por fenómenos internos de la tierra, al solidificarse y enfriarse el magma (masa de materias en fusión), se forman las rocas originales o ígneas y posteriormente, por fenómenos geológicos externos, tales como la meteorización, con el tiempo se forman las rocas sedimentarias, al sufrir la acción de procesos de presión y temperatura forman el tercer grupo de las denominadas rocas metamórficas, esto se conoce como el ciclo geológico que está en permanente actividad. (Rivera, 2013)

B. Agregados artificiales.

Por lo general, los agregados artificiales se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro y otros, comúnmente estos son de mayor o menor densidad que los agregados corrientes

Actualmente se están utilizando concretos ligeros o ultraligeros, formados con algunos tipos de áridos los cuales deben presentar ciertas propiedades como son: forma de los granos compacta, redondeada con la superficie bien cerrada, ninguna reacción perjudicial con la pasta de cemento ni con el refuerzo, invariabilidad de volumen, suficiente resistencia a los fenómenos climatológicos; además deben de tener una densidad lo menor posible, con una rigidez y una resistencia propia suficientemente elevada y ser de calidad permanente y uniforme.

Los agregados ligeros más utilizados son los producidos con arcilla y pizarra expandida (incluyendo la arcilla pizarrosa y la pizarra arcillosa). Es de anotar que se han desarrollado con bastante éxito agregados ligeros en Alemania (con arcilla y pizarra), y España (con arcilla expandida conocida comercialmente como ARLITA). (Rivera, 2013)

2.2.3.2. Clasificación de los agregados según su tamaño

Según Rivera (2013), la forma más generalizada de clasificar los agregados es según su tamaño, el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros de sección; ésta distribución del tamaño de las partículas, es lo que se conoce con el nombre de Granulometría.

De acuerdo con la clasificación unificada, los suelos se dividen en suelos finos (material de tamaño inferior a 0,074 mm o 74 μ m-tamiz No. 200) y suelos gruesos (material de tamaño superior o igual a 0,074 mm o 74 μ m-tamiz No. 200); para la elaboración de mezclas de mortero o de concreto se emplean los suelos gruesos y se limita el contenido de suelo fino.

La fracción fina de los suelos gruesos, cuyas partículas tienen un tamaño inferior a 4,76 mm (tamiz No. 4) y no menor de 0,074 mm o 74 μ m (tamiz No. 200), es lo que comúnmente se denomina *Agregado Fino*; y la fracción gruesa, o sea aquellas partículas que tienen un tamaño superior a 4,76 mm (tamiz No. 4), es lo que normalmente se llama *Agregado Grueso*.

- *Grava*: Agregado grueso de tamaño máximo mayor o igual a 20 mm.
- *Gravilla*: Agregado grueso de tamaño máximo menor a 20 mm.

La grava y la gravilla son resultantes de la desintegración natural y abrasión de las rocas o del procesamiento de conglomerados débilmente ligados.

- *Arena*: Agregado fino resultante de la desintegración natural y abrasión de las rocas o del procesamiento de conglomerados débilmente ligados.
- *Grava Triturada o Triturado*: Agregado grueso resultante de la trituración artificial de la roca.
- *Arena manufacturada o arena triturada*: Agregado fino resultante de la trituración artificial de la roca, piedra o escoria (residuo mineral de hierro).
- *Escoria De Alto Horno*: Producto no metálico, constituido esencialmente por silicatos y aluminosilicatos de calcio y de otras bases, que se produce en forma líquida o fluida simultáneamente con el hierro en un alto horno.

2.2.3.3. Sustancias perjudiciales en el agregado

Según Neville (2013) menciona que existen tres amplias categorías de sustancias perjudiciales que pueden encontrarse en los agregados: impurezas, que interfieren en el proceso de hidratación del cemento; recubrimientos, que impiden el desarrollo de una buena adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, y algunas partículas individuales que son en sí mismas débiles o inestables. Un agregado puede ser también total o parcialmente dañino, debido a las reacciones químicas que ocurren entre el agregado y la pasta de cemento.

A. Impurezas orgánicas

Los agregados naturales pueden poseer suficiente resistencia y dureza para soportar el desgaste, pero no darán buenos resultados para producir concreto si contienen impurezas orgánicas que interfieran con las reacciones químicas de

hidratación. La materia orgánica que se encuentra en el agregado suele consistir en productos de la descomposición de materia vegetal (principalmente ácido tánico y sus derivados) y se manifiesta como humus o margas orgánicas. Hay más probabilidad de encontrar este tipo de materiales en la arena que en el agregado grueso, el cual se lava fácilmente.

B. Arcilla y otros materiales finos

La arcilla puede estar presente en el agregado en forma de recubrimiento superficial que interfiere en la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento. Puesto que es indispensable una buena adherencia para obtener una resistencia satisfactoria y buena durabilidad del concreto, el problema de los recubrimientos de arcilla resulta muy importante.

Hay otros dos tipos de material fino que pueden estar presentes en el agregado. limo y polvo de trituración. El limo es un material entre 2 μm y 60 μm , que ha sido reducido a este tamaño por los procesos naturales del intemperismo; no es raro, encontrar limo en agregados extraídos de depósitos naturales. Por otra parte, el polvo de trituración es un material fino que se forma durante el proceso de transformación de la roca en piedra triturada o, con menos frecuencia, de grava en agregado fino.

2.2.4. El agua de mezcla

Según Rivera (2013) menciona que el agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, permitir la hidratación del cemento y hacer la mezcla manejable. De toda el agua que se emplea en la preparación de un mortero o un concreto, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del mortero o del hormigón. La cantidad de agua que requiere el cemento para su hidratación se encuentra alrededor del 25% al 30% de la masa del cemento, pero con esta cantidad la mezcla no es manejable, para que la mezcla empiece a dejarse trabajar, se requiere como mínimo una cantidad de agua del orden del 40% de la masa del cemento, por lo tanto, de acuerdo con lo

anterior como una regla práctica, se debe colocar la menor cantidad de agua en la mezcla, pero teniendo en cuenta que el mortero o el hormigón queden trabajables.

Como norma general se considera que el agua es adecuada para producir mortero u hormigón si su composición química indica que es apta para el consumo humano, sin importar si ha tenido un tratamiento preliminar o no; es decir, casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para mezclar el mortero o el concreto. Sin embargo, el agua que sirve para preparar estas mezclas, puede no servir para beberla

El agua puede extraerse de fuentes naturales cuando no se tienen redes de acueducto y puede contener elementos orgánicos indeseables o un alto contenido inaceptable de sales inorgánicas. Las aguas superficiales en particular, a menudo contienen materia en suspensión tales como: aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales; lo cual puede hacerla inadecuada para emplearla sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para permitir que dicha materia en suspensión se elimine

2.2.4.1. Impurezas orgánicas

Las sustancias orgánicas contenidas en aguas naturales, afectan considerablemente el tiempo de fraguado inicial del cemento y la resistencia última del hormigón.

Las aguas que tengan un color oscuro, un olor pronunciado, o aquellas en las cuales sean visibles lamas de algas en formación de color verde o café, deben ensayarse. Se debe tener especial cuidado con los altos contenidos de azúcar en el agua porque pueden ocasionar retardo en el fraguado.(Rivera, 2013)

2.2.4.2. mpurezas inorgánicas

Los límites permisibles para contenidos inorgánicos son algo amplios, pero en algunas partes, éstos pueden presentarse en cantidades suficientes para causar un deterioro gradual del hormigón. La información disponible respecto al efecto de los sólidos disueltos en la resistencia y durabilidad del hormigón es insuficiente para

poder establecer unos límites numéricos con base en un sistema comprensible, pero se puede proporcionar una guía sobre niveles permisibles de ciertas impurezas.

Los mayores iones que se presentan usualmente en aguas naturales son calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruro, nitrato, y menos frecuente carbonato. Las aguas que contengan un total combinado de estos iones comunes que no sea mayor de 2 g/l (2000ppm), son generalmente adecuadas como agua de mezcla.

La presencia de cloruros en el hormigón, ya sea que provengan del agua de mezcla, o de otras fuentes, puede presentar problemas potenciales con algunos cementos (generalmente con cantidades apreciables de aluminato tricálcico - C3A) o cuando se tienen metales embebidos en el hormigón. La cantidad de cloruros que pueden permitirse en el agua de mezcla, depende de la cantidad total de cloruros en el hormigón considerando las demás fuentes. Como una guía, el contenido total de cloruros del agua no debe exceder generalmente de 0,5 g/l. Algunas veces es necesario aceptar concentraciones más altas, como en ciertas regiones áridas donde las aguas naturales son bastantes salinas.

El agua que contiene carbonatos y bicarbonatos de álcalis puede afectar el tiempo de fraguado del cemento y la resistencia del hormigón. Su presencia puede ser perjudicial si existe un riesgo de reacción álcalis-agregado. En general, su total combinado no debe exceder 1 g/l de agua. (Rivera, 2013)

2.2.4.3. Contaminación por desechos industriales

Se debe tener cuidado cuando se empleen aguas que pueden estar contaminadas por afluentes industriales o por drenaje de minas y depósitos de minerales entre otros; estas aguas deben ensayarse tal como se indica más adelante.

2.2.4.4. Requisitos de calidad

Como una guía, de ser posible realizar un análisis químico, se recomienda que el agua utilizada en la preparación de mezclas de mortero o concreto, cumpla los requisitos de la tabla 4. Sin embargo, es preferible ensayar el agua que se va a emplear

en la preparación de la mezcla y comparar los resultados con los de un agua testigo (de comportamiento conocido como por ejemplo agua destilada). (Rivera, 2013)

Tabla 4. Límites de impurezas permitidos al agua de mezcla

Tipo de Impureza	Valor Máximo Recomendado
Ácidos orgánicos (ácido sulfúrico)	10000 ppm
Aceite mineral (por masa de cemento)	2 %
Agua con algas	no recomendable
Agua de mar:	
- Para concreto no reforzado	35000 ppm
- Para concreto reforzado o pretensado	no recomendable
Aguas sanitarias	20 ppm
Azúcar	500 ppm
Carbonato de calcio y magnesio	400 ppm
Carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio	1000 ppm
Cloruro de calcio	30000 ppm
Cloruro de magnesio	40000 ppm
Cloruros:	20000 ppm
- Estructuras con bajo potencial de corrosión y condiciones secas	
- Concreto pretensado	500 ppm
- Estruct. con elementos galvaniz. y de aluminio	1000 ppm
Hidróxido de potasio (por masa de cemento)	1,2%
Hidróxido de sodio (por masa de cemento)	0,5%
Partículas en suspensión	2000 ppm
PH	6 - 8
Sales de hierro	40000 ppm
Sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo	500 ppm
Sulfato de magnesio	25000 ppm
Sulfato de sodio	1000 ppm
Sulfito de sodio	100 ppm

Fuente: Rivera, 2013

El contenido máximo de iones combinados de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruro, nitrato y carbonato es 20000ppm

2.2.5. Pruebas del concreto endurecido

Hemos visto que las propiedades del concreto son una función del tiempo y de la humedad del ambiente, y esta es la razón de que, con el objeto de que sean de valor, tengan que realizarse pruebas al concreto en condiciones especificadas o conocidas. Se han utilizado diferentes métodos y técnicas de prueba en diversos países e incluso, algunas veces, hasta en el mismo país. Puesto que muchas de estas pruebas se realizan en trabajo de laboratorio, y especialmente en investigación, tiene importancia el

conocimiento de la influencia de los métodos de prueba sobre la propiedad medida. Por supuesto, es esencial distinguir entre los efectos de las condiciones de prueba y las diferencias intrínsecas de los concretos que se están poniendo a prueba.

Pueden hacerse pruebas para diferentes propósitos, pero los dos objetivos principales de una prueba son el control de calidad y el cumplimiento con las especificaciones. Pueden efectuarse pruebas adicionales para propósitos específicos, por ejemplo pruebas de resistencia a la compresión para determinar la resistencia del concreto al transferir presfuerzo o en el momento de remover la cimbra. Debe recordarse que las pruebas no son un fin en sí mismas: en muchos casos prácticos, ellas no se prestan a una interpretación concisa y clara, de manera que, para que tengan valor real, las pruebas siempre deberán utilizarse con base en los antecedentes de la experiencia. No obstante, puesto que las pruebas generalmente se efectúan con el propósito de comparar con un valor especificado, o algún otro, cualquier desviación del procedimiento estandarizado es inconveniente ya que puede conducir a una disputa o a confusión.

Las pruebas pueden clasificarse de manera general en pruebas mecánicas destructivas y pruebas no destructivas las cuales permiten pruebas repetidas del mismo espécimen y de esa manera hacen posible un estudio del cambio en las propiedades con el tiempo. Las pruebas no destructivas también permiten pruebas del concreto en una estructura real. (Neville, 2013)

2.2.5.1. Pruebas para resistencia a la compresión

La más común de todas las pruebas sobre concreto endurecido es la prueba de resistencia a la compresión, en parte porque es fácil de practicarse, y en parte porque muchas, aunque no todas, de las características deseables del concreto están relacionadas cualitativamente con su resistencia; pero fundamentalmente por la importancia intrínseca de la resistencia a la compresión del concreto en el diseño estructural.

Los resultados de las pruebas de resistencia pueden ser afectados por variaciones en el tipo del espécimen de prueba; tamaño del espécimen; tipo de molde; curado;

preparación de la superficie del extremo; rigidez de la máquina de pruebas; y rapidez de la aplicación de esfuerzo. Por esta razón, las pruebas deberán seguir una norma individual, sin desviación de los procedimientos prescritos.

A. Efecto de la relación altura/diámetro en la resistencia de cilindros

En la Norma Técnica Peruana NTP 339.034 se presenta factores de corrección según su esbeltez para el cálculo de la resistencia de especímenes de concreto, la norma nos dice lo siguiente:

Si la relación de longitud del espécimen al diámetro de es 1.75 o menor, corregir el resultado obtenido por un factor de corrección mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 5. Factores de corrección según la relación de esbeltez

L/D	Factor
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Fuente: NTP 339.034, 2016

La norma nos dice además que los factores de corrección dependerán de condiciones como la humedad, nivel de resistencia y módulo de elasticidad. Los valores promedios están indicados en la tabla.

Estos factores se aplican a concretos de baja densidad que pesan entre 1600 kg/m³ y 1920 kg/m³ y a concretos de densidad. Ellos son aplicables a concretos secos o húmedos y con una resistencia nominal de 14 MPa a 42 MPa.

Neville (2004) menciona que los cilindros normalizados son de una altura (h) igual al doble del diámetro (d), pero algunas veces se encuentran especímenes de otras proporciones. Éste es particularmente el caso de los núcleos o corazones extraídos del concreto en la misma obra: el diámetro depende del tamaño de la herramienta de corte del núcleo mientras que la altura del núcleo varía con el espesor de la losa o miembro. Si el corazón es demasiado largo, puede ser recortado hasta la relación h/d de 2 antes de la prueba pero, con un corazón demasiado corto, es necesario estimar

la resistencia del mismo concreto como si hubiera sido determinado en un espécimen con $h/d = 2$

La norma ASTM C 42-90 y BS 1881: Parte 1 20: 1 983 (la última por implicación) dan factores de corrección (tabla 6) pero Murdock y Kesler hallaron que la corrección también depende del nivel de resistencia del concreto (figura 6). El concreto de alta resistencia es menos afectado por la relación altura/diámetro del espécimen, y dicho concreto es también menos influido por la forma del espécimen; los dos factores deberán estar relacionados ya que existe comparativamente poca diferencia entre las resistencias de un cubo y de un cilindro con $h/d = 1$.

Tabla 6. Factores de corrección estándar para resistencia de cilindros con diferentes relaciones de altura respecto al diámetro

Relación de altura con respecto a diámetro (h/d)	Factor de corrección normal	
	ASTM C 42	BS 1881: parte 12:1983
2	1.00	1.00
1:75	0.98	0.97
1:50	0.96	0.92
1:25	0.93	0.87
1:00	0.87	0.80

Fuente: Neville, 2004

El modelo general de la influencia de h/d sobre la resistencia del concreto de baja y mediana resistencia se muestra en la figura 6. Para valores de h/d menores de 1.5, la resistencia medida aumenta rápidamente debido al efecto restringente de las platinas de la máquina de pruebas. Cuando h/d varía entre aproximadamente 1.5 y 4, la resistencia es poco afectada y, para valores h/d entre 1.5 y 2.5, la resistencia está no más allá de 5 por ciento de la resistencia de especímenes normales ($h/d = 2$). Para valores de h/d mayores de 5, la resistencia cae más rápidamente, llegando a ser evidente el efecto de la relación de esbeltez. (Neville, 2004)

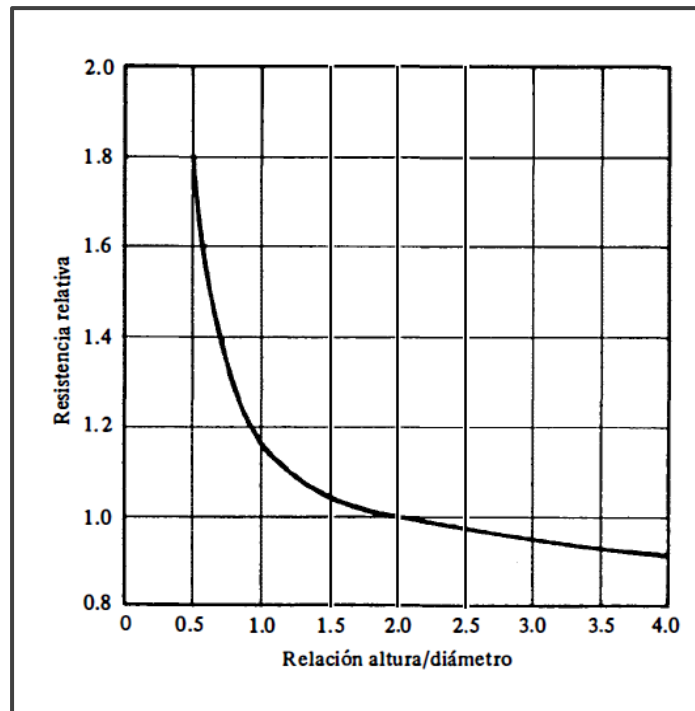


Figura 6. Patrón general de influencia de la relación altura/diámetro sobre la resistencia evidente de un cilindro

Fuente: Neville, 2004

2.2.5.2. Pruebas para resistencia en tensión

Aunque normalmente el concreto no se diseña para resistir tensión directa, es valioso el conocimiento de la resistencia a la tensión al estimar la carga bajo la cual se desarrollará el agrietamiento. La ausencia de agrietamiento es de importancia considerable en el mantenimiento de la continuidad de una estructura de concreto y, en muchos casos, en la prevención de la corrosión del acero de refuerzo.

Los problemas de agrietamiento se presentan cuando se desarrolla tensión diagonal por medio de esfuerzos cortantes, pero el caso más frecuente de agrietamiento es causado por contracción restringida y por gradientes de temperatura. Una apreciación de la resistencia a la tensión del concreto ayuda a comprender el comportamiento del concreto reforzado incluso aunque los cálculos reales de diseño no tomen explícitamente en cuenta, en muchos casos, la resistencia a la tensión

La resistencia en tensión es también de interés en estructuras de concreto sin refuerzo tales como presas, en condiciones de sismos. Otras estructuras, por ejemplo pavimentos de carreteras y de aeropistas, se proyectan sobre la base de resistencia a

la flexión, lo que implica resistencia en tensión. Hay tres tipos de prueba para resistencia en tensión: prueba de tensión directa, prueba de flexión y prueba de tensión indirecta.

A. Pruebas de resistencia en flexión

En estas pruebas, una simple viga de concreto (sin refuerzo) se sujeta a flexión usando carga de dos puntos y simétrica hasta que ocurre la falla. Puesto que los puntos de carga están espaciados a un tercio del claro libre, la prueba es llamada prueba de carga en los tercios. El esfuerzo a tensión máximo teórico alcanzado en la fibra inferior de la viga de prueba es conocido como el módulo de ruptura.

Los requisitos de la norma ASTM C 78. Si ocurre la fractura dentro del tercio central de la viga, el módulo de ruptura se calcula sobre la base de la teoría elástica ordinaria, y es entonces igual a:

$$\frac{PL}{bd^2} \quad (2.1)$$

Dónde:

P = carga máxima total sobre la viga

L = claro libre

b = ancho de la viga, y

d = peralte de la viga.

B. Prueba de tensión indirecta

En esta prueba, se coloca un cilindro de concreto, del tipo utilizado para pruebas de compresión, con su eje horizontal entre las platinas de una máquina de pruebas, y se aumenta la carga hasta que ocurre falla por tensión indirecta en forma de separación a lo largo del diámetro vertical. Si la carga es aplicada a lo largo de la generatriz, entonces un elemento en el diámetro vertical del cilindro (figura 2 .9) se sujeta a un esfuerzo a compresión vertical de:

$$\frac{2P}{\pi LD} \left(\frac{D^2}{r(d-r)} - 1 \right)$$

y un esfuerzo de tensión horizontal de $2P /(\pi LD)$

Dónde:

P = carga de compresión sobre el cilindro

L = longitud del cilindro

D = diámetro, y

r y $(D-r)$ = distancias del elemento a partir de las dos cargas respectivamente.

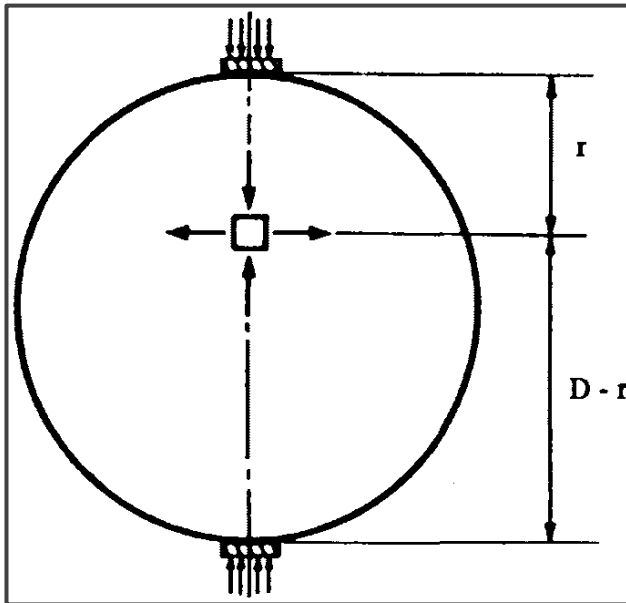


Figura 7. La prueba de tensión indirecta

Fuente: Neville, 2004

2.3. Definición De Términos Básicos.

- **Esbeltez:** La esbeltez mecánica, también denominada esbeltez, es una característica mecánica de las barras estructurales o prismas mecánicos que relaciona la rigidez de la sección transversal de una pieza prismática con su longitud total. Se caracteriza por un parámetro adimensional que interviene en el cálculo de las tensiones y predice las inestabilidades elásticas de las barras. Generalmente, y en muchos edificios, los pilares de la planta baja poseen mayor longitud por tener más altura estos locales. Por esta razón, los pilares poseen un mayor riesgo de pandeo, tengamos en cuenta que son los más cargados y su esbeltez los vuelve más susceptibles a pandear.

- **Resistencia a la compresión:** Consiste en la aplicación de una carga de compresión uniaxial a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad de carga especificada (0.25 ± 0.05 MPa/s). La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen.
- **Especímenes Cilíndricos:** Los especímenes de resistencia a la compresión o a la tracción por hendimiento deben ser cilindros colados y fraguados en una posición vertical. La longitud debe ser dos veces el diámetro. El diámetro del cilindro debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso excede 2in. [50 mm], la muestra de concreto debe ser tratada mediante tamizado de concreto fresco a través de un tamiz de 2in. [50 mm] como se describe en la Práctica C 172. Para ensayos de aceptación respecto a una resistencia a la compresión especificada, los cilindros deben ser de 6 por 12 in. [150 por 300 mm] o 4 × 8 in. [100 × 200 mm]

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Ubicación Geográfica De La Investigación

La investigación se realizó en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, en el laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz – Edificio 1C” de la Universidad Nacional de Cajamarca –Facultad de ingeniería. La investigación se realizó en el periodo de enero - junio del año 2018

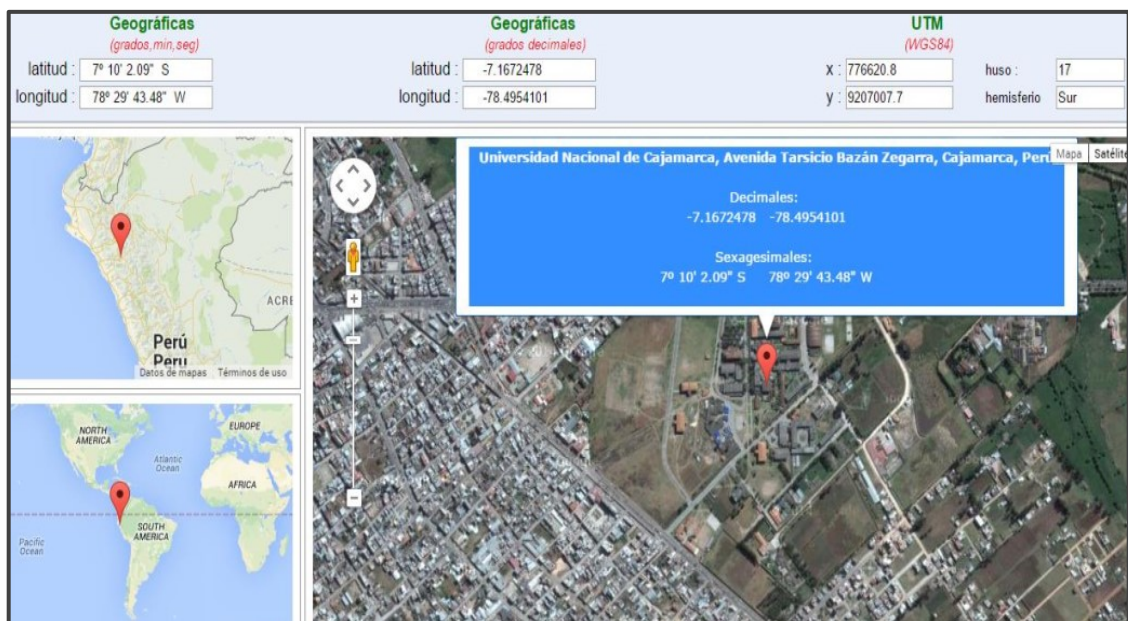


Figura 8. Ubicación de donde se realizó la investigación

Fuente: <https://www.google.com.pe/maps>

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Tipo

De acuerdo con los propósitos de la investigación y a la naturaleza de los problemas:
Investigación aplicada

3.2.2. Diseño

La presente investigación fue Experimental Pura ya que se manipulo de manera intencional una variable (variación de la relación de esbeltez de los especímenes cilíndricos de concreto) para poder estudiar sus consecuencias sobre mas variables dependientes en una situación de control.

3.2.3. Variables

- **Variable independiente:** Relación de esbeltez de los especímenes cilíndricos de concreto
- **Variables dependientes:** Resistencia a compresión del concreto.

3.2.4. Población.

Se considera como población las probetas cilíndricas de concreto, diseñadas y elaboradas para un $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

3.2.5. Muestra

Para la elección de la muestra se tomó 180 especímenes de concreto para su respectivo análisis, los cuales fueron divididos en seis grupos para su respectiva comparación.

- 30 especímenes de concreto con una relación de esbeltez de 2
- 30 especímenes de concreto con una relación de esbeltez de 1.8
- 30 especímenes de concreto con una relación de esbeltez de 1.6
- 30 especímenes de concreto con una relación de esbeltez de 1.4
- 30 especímenes de concreto con una relación de esbeltez de 1.2
- 30 especímenes de concreto con una relación de esbeltez de 1.0

3.3. Procedimiento de la investigación.

3.3.1. Cantera de estudio.

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

a. Ubicación.

Se encuentra localizada en el cauce del río Condebamba, hacia el lado izquierdo de la progresiva Km. 1209+370 de la Carretera Longitudinal de la Sierra Norte y ubicada en las siguientes coordenadas.

- Este: 815276 m E
- Norte: 9161811 m S
- Zona: 17M
- Altitud: 2094 m.s.n.m



Figura 9. *Cantera doña Ramora*

Los agregados que se encontraron fueron agregado fino y agregado grueso (de perfil redondeado y angular con TMN de 1/2", 3/4" y 1")

3.3.2. Características de los agregados para concreto.

3.3.2.1. Peso específico y absorción del agregado grueso.

El ensayo se realizó según la norma NTP 400.021 y la ASTM C127. La presente norma establece un método de ensayo para determinar el peso específico aparente, el peso específico de masa, peso específico saturado superficialmente seco y porcentaje de absorción

A) Aparatos

- Balanza. Con una aproximación de 5kg y aproximación de 0.1g.
- Cesta de malla de alambre. Con una abertura correspondiente al tamiz (N°6) 3mm o menor
- Envase. Adecuado para sumergir la cesta de alambre al agua y un dispositivo para suspender del centro de la escala de la balanza.
- Estufa. Capaz de mantener la temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

B) Preparación de la muestra.

Se selecciona por el método del cuarteo, aproximadamente 5 kg., del agregado que se desea ensayar, rechazando todo el material que pase el tamiz NTP 4.75 mm (N°4)

C) Procedimiento.

- Se realizó un lavado completo de la muestra de ensayo para eliminar todo el polvo u otras impurezas superficiales de las partículas
- Después del lavado se procedió a secar la muestra hasta peso constante a una temperatura de 100°C a 110°C
- Después que la muestra fue sacada del horno esta se sumergió en el agua por un período de 24h.
- Sacar la muestra del agua y se hace rodar por un paño grande absorbente hasta hacer desaparecer toda la película de agua visible, aunque las superficies de las partículas permanezcan húmedas, se secan separadamente los fragmentos más grandes. Se tiene cuidado con la evaporación durante el secado.
- Después de la determinación de la masa en aire, se colocó inmediatamente la muestra saturada superficialmente seca en el recipiente de la muestra y se determinó su masa aparente en agua luego de 3 horas de sumersión

D) Cálculos.

D.1. Peso específico aparente (PEA)

$$\text{PEA} = A/(A - B) \quad (3.1)$$

D.2. Peso específico de masa (PEM)

$$\text{PEM} = A / (B - C) \quad (3.2)$$

D.3. Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pesss)

$$\text{Pesss} = B / (B - C) \quad (3.3)$$

D.4. Absorción (Abs)

$$\text{Abs (\%)} = (B - A) / A \quad (3.4)$$

Dónde:

A: Peso en el aire en g., de la muestra secada al horno

B: Peso en el aire en g., de la muestra secada con superficie seca.

C: Peso en el agua en g., de la muestra saturada

Determinaciones por partida doble no deben diferir en ± 0.01 en el caso de peso específico y ± 0.1 , en el caso de porcentaje de absorción, de no cumplirse con esta condición los ensayos deben realizarse de nuevo.

3.3.2.2. Peso específico y absorción del agregado fino

El método que se empleó para el desarrollo de este ensayo es el establecido en la NTP 400.02 en correspondencia con la ASTM C 128.

A) Materiales.

Muestra extraída de cantera según la ASTM C 79 y cuarteada según la ASTM C 702 (agregado fino)

B) Equipo

- Balanza con aproximación de 0.1 g, y capacidad no menor de 1 kg
- Frasco Volumétrico, capacidad de 500 cm³
- Molde cónico, metálico, diámetro menor 4 cm y diámetro mayor de 9 cm con altura de 7 cm.
- Varilla de metal, con un extremo redondeado de 25 ± 3 mm de diámetro y 340 ± 15 g.
- Estufa que mantenga una temperatura de 110 ± 5 °C

C) Procedimiento.

- De la muestra obtenida con humedad natural, la cuarteamos y pesamos de 1 a 2 kg.
- Lo vaciamos en un depósito metálico con agua hasta que quede totalmente sumergida.
- Dejamos la muestra sumergida durante 24 h.
- Después de la 24h colocamos la muestra sobre una lona o un papel o cartón, lo extendemos y lo exponemos al ambiente para que pierda humedad (pierde el agua libre).
- Para comprobar si se ha evaporado el agua libre, hacemos un ensayo con un pequeño cono; el cual consiste en llenar la tercera parte y dar 8 golpes con la varilla, el mismo procedimiento para el siguiente. Y finalmente llenamos y damos 9 golpes.
- Cortamos y enrasamos con la varilla; levantamos verticalmente el cono a la cual la arena deberá desboronares, si no es así se sigue secando hasta lograr lo cometido.
- Del material en condición de las sss (saturado superficialmente seco), pesamos 500g el cual corresponde al peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca (1° peso).
- Con la ayuda de un embudo metemos el material en una fiola, echamos un poco de agua que sepulte a la muestra y agitamos por un período de 2 minutos hasta que salgan todas las burbujas de aire atrapadas en el material
- Luego agregamos agua hasta los 500 cm cúbicos.
- Pesamos la muestra sumergida en el agua; el cual corresponde al peso sumergido en agua de la muestra saturada superficialmente seca (segundo peso).
- El material de la fiola lo depositamos en un recipiente y lo llevamos al horno durante 24 horas después de ese tiempo obtenemos el 3° peso importante de la muestra (peso seco al horno de la arena).
- Los pesos específicos y la absorción se calcularan de acuerdo a las siguientes formulas.

D) Cálculos.

D.1. Peso específico de la masa:

$$Pe = \frac{W_0}{V - V_a} \quad (3.5)$$

D.2. Peso específico de la masa saturada con superficie seca.

$$P_{SSS} = \frac{500}{V - V_a} \quad (3.6)$$

P.e.s.s.s.= Peso específico de masa saturada con superficie.

D.3. Peso específico aparente

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \quad (3.7)$$

D.4. Porcentaje de absorción.

$$Abs (\%) = \frac{500 - W_0}{W_0} * 10 \quad (3.8)$$

En dónde:

W₀= Es el peso en el aire de la muestra secada al horno (g)

V= Volumen del Frasco (cm³)

V_a= Peso en (g) o Volumen (cm³) del Agua añadida al frasco

Los cálculos y resultados se encuentran en el **ANEXO 01**

3.3.2.3. Análisis granulométrico

Realizado según la NTP 400.012 y la ASTM C 136 96 en la presente norma se establece el método de ensayo a seguir y las operaciones de tamizado de agregados, con el fin de determinar su composición granulométrica

A) Aparatos

- Balanza. Con una aproximación de 1% de peso de la muestra que se va a ensayar.
- Tamices. Los tamices deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma NTP 350.001

- Horno. Capaz de mantener la temperatura circundante a la muestra en (110 ± 5°C).
- Equipo adicional. Cucharas metálicas, recipientes.

B) Preparación de la muestra.

La muestra será extraída de acuerdo con NTP 400.010, reducida según la N.T.P 400.043. El peso de la muestra de ensayo para agregado grueso debe ser el que corresponda al tamaño máximo de las partículas, según se establece en la **Tabla 7**, el peso de la muestra para agregado fino debe ser de 300 g., como mínimo según NTP 400.012-2001.

Tabla 7. Cantidad de muestra requerida para granulometría

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad de la muestra de ensayo mínimo (kg)
9.5 mm (3/8")	1
12.5 mm (1/2")	2
19 mm (3/4")	5
25 mm (1")	10
37.5 mm (1 1/2")	15
50 mm (2")	20
63 mm (2 1/2")	35
75 mm (3")	60
90 mm (3 1/2")")	100
100 mm (4")	150
125 mm (5")	300

Fuente: NTP 400.012-2001

Nota: Para muestras que pesan 5 kg, o más recomienda el empleo de zaranda de 40 cm., de diámetro.

C) Procedimiento.

- Se secó la muestra a 110 °C ± 5°C hasta que dos pesadas sucesivas y separadas por una hora de secado en la estufa no difieran más de 0.1 %
- El tamizado se realizó a través de tamices que cumplan con la norma NTP 350.001

- El material a tamizarse se colocó en la malla superior, las que estarán dispuestas en orden decreciente según tamaño de abertura.
- El tamizado se puede hacer a mano o mediante el empleo de maquina adecuada, sin embargo, en caso de duda, se toma por valido el tamizado a mano
- En ningún caso se facilita con la mano, el pasaje de una partícula a través del tamiz
- Se dará por finalizado la operación de tamizado cuando en el transcurso de un minuto no pase más de 1% en peso del material retenido sobre el tamiz

D) Resultados y requisitos granulométricos

El resultado del tamizado se expresa indicando el porcentaje retenido en cada tamiz referido al total de la muestra, los porcentajes se deben redondear a números enteros, excepto en los correspondientes al tamiz NTP 74 μ m. (N°200) que se da con una aproximación de 0.1%. Los cálculos y resultados se encuentran en el **ANEXO 01**

El agregado fino debe tener una granulometría comprendida dentro de los límites indicados en las Normas NTP 400.037 o la ASTM C33. La granulometría seleccionada será preferentemente uniforme y continua, con valores retenidos en las mallas N°4 a N°100. Se recomienda para el agregado los siguientes límites

Tabla 8. *Requisito granulométrico del agregado fino*

Tamiz	Porcentaje que Pasa
9.5 mm (3/8 pulg.)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 μ m (N° 30)	25 a 60
300 μ m (N° 50)	05 a 30
150 μ m (N° 100)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037-2016

El agregado grueso debe tener una granulometría comprendida dentro de los límites indicados en las Normas NTP 400.037 o la ASTM C33.

Tabla 9. Requisito granulométrico del agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1 ½ pulg)	25.0 mm (1 pulg)	19.0 mm (¾ pulg)	12.5 mm (½ pulg)	9.5 mm (¾ pulg)	4.75 mm (Nº 4)	2.36 mm (Nº 8)	1.18 mm (Nº 16)	300 µm (Nº 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 15	...	...	...	...	...
2	63 mm a 37.5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	50 mm a 25.0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	50 mm a 4.75 mm (2 pulg a Nº 4)	...	...	...	100	90 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37.5 mm a 4.75 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 ½ pulg a Nº 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	25 mm a 12.5 mm (1 pulg a ½ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	25 mm a 9.5 mm (1 pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25 mm a 4.75 mm (1 pulg a Nº 4)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19.0 mm a 9.5 mm (¾ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	0 a 5	...	...
67	19.0 mm a 4.75 mm (¾ pulg a Nº 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	12.5 mm a 4.75 mm (½ pulg a Nº 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	9.5 mm a 2.36 mm (¾ pulg a Nº 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	9.5 mm a 1.18 mm (¾ pulg a Nº 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10
9	4.75 mm a 1.18 mm (Nº 4 a Nº 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10

Se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes que aseguren que el material producirá hormigón (concreto) de la calidad requerida.

3.3.2.4. Módulo de Finura

El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar (nombrados más abajo) y dividiendo la suma entre 100.

A) Cálculo

Se determina como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, dividida entre 100

$$MF = \frac{\Sigma \% PAR(3'', 1\frac{1}{2}'', \frac{3}{4}'', \frac{3}{8}'', N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100} \quad (3.9)$$

3.3.2.5. Peso Unitario (Densidad Bruta) de los Agregados

Se realizó el ensayo de acuerdo con lo establecido en la NTP 400.017 en correspondencia con la ASTM C 29; este método de ensayo cubre la determinación de la densidad bulk (“peso unitario”) del agregado en una condición compactada o suelta. Este método de ensayo es aplicable a agregados que no excedan las 5 pulg. (125 mm) de tamaño nominal máximo.

A) Preparación de la muestra.

La muestra será extraída de acuerdo con NTP 400.010, reducida según la N.T.P 400.043 y posteriormente secar el agregado aproximadamente 125 a 200 % de la cantidad requerida para llenar el depósito medidor a peso constante en un horno preferiblemente a 110 °C ±5°C

B) Aparatos

- Balanza. - Que permita lecturas con exactitud de 0.10% del peso de la muestra
- Barra compactadora. - Barra circular recta de acero de 16mm (5/8”) de diámetro y aproximadamente 6000mm., de largo, con un extremo redondeado en forma de punta semiesférica
- Recipiente. - De metal preferiblemente con asas, impermeable con tapa y fondo firme y parejo, con precisión e sus dimensiones interiores y suficientemente rígidas, para mantener su forma en condiciones de trabajo duras.

Tabla 10. Capacidad de los recipientes para realizar el ensayo de peso unitario.

Capacidad		Diámetro Inferior		Altura Inferior		Espesor del Metal		TMN del Agregado	
pie ³	dm ³	pulg	mm	pulg	mm	fondo	pared	pulg	mm
1/10	3	6±0.1	155±0.1	6.1±0.1	160±0.1	5	2.5	1/2	12.5
1/3	10	8±0.1	205±0.1	11.5±0.1	305±0.1	5	2.5	1	25
½	15	10±0.1	255±0.1	11.0±0.1	295±0.1	5	2.5	1 1/2	40
1	30	14±0.1	355±0.1	11.2±0.1	305±0.1	5	2.5	1	100

Fuente: NTP. 400.017

C) Procedimiento

C.1. Determinación de la densidad del agua

- Se llenó el picnómetro hasta la línea de calibración
- Se pesó del picnómetro con agua con una exactitud de 0.1 g
- Se pesó el picnómetro con agua con una exactitud de 0.1 g

C.2. Calibración del recipiente

El recipiente se calibró determinando con exactitud el peso del agua necesaria para llenarlo a 16.7°C. Para cualquier unidad el factor (f) se obtiene dividiendo el peso unitario del agua a 16.7°C (kg. /m²) para el peso del agua a 16.7°C necesario para llenarlo.

C.3. Determinación del peso unitario seco suelto

El procedimiento con pala se aplica a agregados que tienen un tamaño máximo no mayor a 100mm.

- El recipiente se llena con una pala hasta rebosar, descargando el agregado desde una altura no mayor de 50mm. por encima de la parte superior del recipiente.
- Se deben tomar precauciones para impedir en lo posible la segregación de las partículas. El agregado sobrante se elimina con una regla.
- Se determina el peso neto del agregado en el recipiente. Luego se obtiene el peso unitario suelto del agregado multiplicado el peso neto por el factor calculado en la calibración.

C.4. Determinación del peso unitario seco compactado

Se llena la tercera parte del recipiente y se nivela la superficie con la mano, se apisona la masa con la barra compactadora, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie, este procedimiento se realiza para las dos capas siguientes.

Se determina el peso neto del agregado en el recipiente. El peso unitario se obtiene al multiplicar el peso neto por el factor (f) calculado según lo descrito en la calibración.

D) Cálculos.

D.1. Densidad del agua. Se calcula con la siguiente expresión.

$$D = \frac{P1 - P2}{V} \quad (3.10)$$

Dónde:

D = Densidad del agua a la temperatura trabajada (g/cm³)

P1 = Masa del picnómetro más agua hasta el menisco (g)

P2 = Masa del picnómetro (g)

V = Volumen del picnómetro hasta la línea de calibración (cm³)

D.2. Volumen y factor del recipiente. Se calcula con la siguiente expresión.

$$f = \frac{D}{M} \quad (3.11)$$

Dónde:

D = Densidad del agua a la temperatura trabajada (Kg /m³)

M = masa del agua en el recipiente (Kg)

f = factor para el recipiente (1/m³)

D.3. Peso unitario: La expresión es útil para el cálculo del peso unitario seco suelto y compactado

$$PU = (G - T) * f \quad (3.12)$$

Dónde:

PU = Peso Unitario del agregado en kg/m³

G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg.

T = Peso del recipiente de medida en kg.

f = Factor de la medida en m⁻³

3.3.2.6. Contenido de humedad.

Realizado según lo que estipula la norma NTP 339.185, lo cual establece lo siguiente:

A) Aparatos

- Balanza con precisión de 0.1g.
- Horno capaz de mantener la temperatura circundante a la muestra en (110 ± 5°C).
- Recipientes para muestras (taras).

B) Preparación de la muestra

La muestra será extraída de acuerdo a NTP 400.010, reducida según la N.T.P 400.043

C) Procedimiento

- Se selecciona una muestra representativa mayor 500g según la
- ASTM C 566 mediante el método del cuarteo ASTM C 702 METODO B.
- Registrar la masa del recipiente (tara) el cual debe estar limpio y seco.
- Colocamos la muestra en el recipiente y registramos su masa.
- Luego se lleva a un proceso de secado en el horno por un tiempo de 24 h a la T° aproximada de en (110 ± 5°C).
- Luego de 24 h se registra la masa del recipiente con el suelo seco.
- Determinar la masa de la muestra con una aproximación al 0.1g.
- Con los datos obtenidos calculamos el contenido de humedad.

D) Cálculo

Se expresa como.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.13)$$

Dónde:

W_w: Peso del agua

W_s: Peso del agregado seco

3.3.2.7. Materiales más finos que pasan por el tamiz N°200.

El ensayo es realizado según la NTP 400.018/ASTM C117 lo cual menciona lo siguiente:

A) Materiales.

Muestra extraída de cantera según la ASTM C 79 y cuarteada según la ASTM C 702 (agregado fino)

B) Equipo.

- Balanza con precisión de 0.1g
- Tamiz N° 200
- Estufa que mantenga una temperatura de 110 ± 5 °C

C) Procedimiento.

- Secar la muestra en la estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C
- Pesar 500g de la muestra seca y lavar por el tamiz N° 200.
- El material lavado colocar en un recipiente y secar la muestra en la estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C y registrar su masa.

D) Cálculos.

$$\% \text{ de finos} = ((W \text{ inicial} - W \text{ seco lavado}) / W \text{ seco lavado}) * 100 \quad (3.14)$$

3.3.2.8. Desgaste a la Abrasión.

Realizado según la NTP 400.019 y ASTM C 131; el objetivo de la prueba es medir el desgaste producido por una combinación de impacto y rozamiento superficial en una muestra de agregado de granulometría preparada.

A) Aparatos

- Balanza. Con capacidad de 20Kg.
- Tamices. Los tamices deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma NTP 350.001 (1",³/₄",¹/₂",³/₈",N°4, y N°12)
- Máquina de los Ángeles. De dimensiones especificadas
- Charolas Rectangulares
- Cucharon

B) Preparación de la muestra.

- La muestra de agregado que se empleara para el ensayo de resistencia a la abrasión deberá:
- Cribarse para separar las fracciones de distintos tamaños ya sea para eliminar finos y partículas ajenas.
- Secar la muestra a peso constante en el horno a una temperatura de 105 °C A 110 °C.
- Una vez obtenidas las fracciones de distintos tamaños, se combinaran las cantidades necesarias para la gradación especificada en la **Tabla 11 y 12.**

Tabla 11. Masa de la carga dependiendo del tipo de gradación del agregado

GRADACIÓN	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±25
D	6	2500±25

Fuente: NTP. 400.019

Tabla 12. Gradación de las muestras de ensayo

Tamices		Peso de los tamaños indicados (gr.)			
Pasa	Retiene	A	B	C	D
1 ½"	1"	1250 ± 25	---	---	---
1"	¾"	1250 ± 25	---	---	---
¾"	½"	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
½"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
3/8"	¼"	---	---	2500 ± 10	---
¼"	N° 4	---	---	2500 ± 10	---
N° 4	N° 8	---	---	---	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: NTP. 400.019-2002

El peso de la muestra se determinará antes de la prueba, con la máquina de los ángeles con una aproximación de 1 gramo.

C) Procedimiento.

- De acuerdo con la granulometría previamente obtenida y de acuerdo al tamaño máximo consultar la **Tabla 11 y 12**, para ver la gradación del material y elegir el número de esferas (carga abrasiva) y el peso de la muestra.
- Colocar la muestra a probar y la carga abrasiva en la maquina
- Accionar la máquina para que gire a 500 revoluciones a una velocidad de 30 a 33 r. p. m.
- Después del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y retirar las esferas
- Hacer una separación preliminar del material cribándolo por la malla N°4.
- El material que paso la malla N°4, cribarlo por la malla N°12.
- El material que se retuvo en la malla N°4, mezclarlo con el que se retuvo en la N°12.
- El material que se retuvo en la malla N°12, lavarle los finos adheridos a las partículas.
- Una vez lavado el material, colocarlo en el horno durante 24 horas secarse a peso constante a una temperatura de 105 °C A 110 °C. y se pesa con una aproximación de 1 gramo.

D) Calculo

Se expresa como:

$$\% \text{ de abrasión} = \frac{P1-P2}{P1} \times 100 \quad (3.15)$$

Dónde:

P1 = Masa de la muestra antes del ensayo, kg

P2 = Masa de la muestra después del ensayo, kg

3.3.3. El cemento utilizado.

El cemento que se utilizó en la presente investigación es el Cemento Portland Tipo I- Pacasmayo de la norma ASTM C-150/ NTP 334.009 para elaborar los especímenes de concreto. En el ANEXO 04 se presenta la ficha técnica del cemento portland Tipo I de Cementos Pacasmayo S.A.A.

3.3.4. Agua.

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

3.3.5. Diseños de mezcla

El método que se escogió para realizar los diseños de concreto es el método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados. Los pasos para realizar el diseño de mezcla de prueba se describen a continuación:

1. especificaciones

Se desea determinar las proporciones de los materiales integrantes de una mezcla de concreto para un $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

2. Materiales

A) Cemento.

- Cemento Portland Tipo I - Pacasmayo de la norma ASTM C-150/ NTP 334.009
- Peso específico3.08 g/cm³

B) Agua.

- Potable, de la red de servicio de la ciudad universitaria
- Peso específico0.998 g/cm³

C) Agregado fino y agregado grueso

Tabla 13. *Propiedades físico-mecánicas del agregado fino y grueso*

Propiedad físico-mecánica	Agregado Fino	Agregado Grueso
Perfil	-.-	Angular
Tamaño máximo nominal	-.-	3/4"
Peso específico de masa	2.612 g/cm ³	2.625 g/cm ³
Peso específico sss	2.645 g/cm ³	2.654 g/cm ³
Peso específico aparente	2.701 g/cm ³	2.703 g/cm ³
Peso unitario suelto	1636 Kg/m ³	1350 Kg/m ³
Peso unitario compactado	1784 Kg/m ³	1514 Kg/m ³
Contenido de humedad (%)	5.405	0.33
Absorción (%)	1.248	1.10
Módulo de finura	2.945	6.85
Abrasión (%)	-.-	26.00
Porcentaje que pasa malla N° 200	2.47	0.36

3. Determinación de la resistencia promedio

Utilizaremos el valor de Condiciones excelentes por la calidad de los materiales puesto que la elaboración de mezclas se realizó solo en laboratorio. El f'_{cr} se determina de acuerdo a la **Tabla 14**

Tabla 14. *f'_{cr} en función del grado de control de calidad en la obra*

Nivel de control	f'_{cr}
Excelente	1.1* f'_c
Buena	1.2* f'_c
Regular o mala	1.3 a 1.5* f'_c

Fuente: Rivva (2007).

$$f_{cr} = 1.10 \times f_c$$

$$f_{cr} = 1.10 \times 280$$

$$f'_{cr} = 308 \text{ Kg/cm}^2$$

4. Selección del tamaño máximo nominal del agregado.

De acuerdo con la granulometría del agregado grueso le corresponde un tamaño máximo nominal de 3/4"

5. Selección del asentamiento.

Utilizaremos la **Tabla 11** para determinar asentamiento requerido. Para nuestro caso la consistencia plástica

Tabla 15. *Consistencia y Asentamiento.*

Consistencia	Asentamiento
Seca	0 "(0mm) a 2" (50mm)
Plástica	3" (75mm) a 4" (100mm)
Húmeda	≥5" (125mm)

Fuente: Rivva (2007).

Asentamiento = 3" a 4"

Consistencia = Plástica

6. Volumen unitario de agua.

Según la **Tabla 16**. Para nuestro caso: Slump = 3" - 4", TMN = 3/4", sin aire incorporado y agregado de perfil Angular. **Cantidad de Agua requerida = 204 Lt/m³**

Tabla 16. *Volumen unitario de agua*

Tamaño Máximo Nominal	Volumen unitario de agua expresado en lt/m ³					
	Slump: 1" a 2"		Slump: 3" a 4"		Slump: 6" a 7"	
	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular
3/8 "	185	212	201	227	230	250
1/2 "	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197

Fuente: Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI

7. Volumen unitario de agua.

De la **tabla 17** se determina que el contenido de aire atrapado para un agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4", es de **2%**

Tabla 17. Determinación del aire atrapado según el tamaño máximo nominal.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%

Fuente: Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI

8. Relación agua/cemento

Entrando a la tabla 18 para una resistencia promedio correspondiente a 308 kg/cm² en un concreto sin aire incorporado. Se encuentra que la relación agua cemento es **0.55**

Tabla 18. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión requerida del concreto

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

9. Factor cemento

Tenemos la relación agua cemento de 0.555 y el contenido de agua que es 204 Lt/m³, calculamos el cemento.

$$a/c = 0.55$$

$$\text{Cemento} = 204/0.555 = 370.91 \text{ Kg} = 8.73 \text{ Bolsas/m}^3$$

10. Cálculo del volumen de la pasta de cemento sin incluir los agregados.

Conocido los pesos del cemento, agua y volumen del aire atrapado, se procede a calcular la suma de los volúmenes absolutos de estos ingredientes los cuales resultan de dividir el peso de cada componente entre su peso específico.

$$\text{Cemento} = 0.120425 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua de mezclado} = 0.204 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire (\%)} = 0.0200 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total de la pasta de cemento} = 0.344425 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de los agregados: } 1 - 0.344425 = 0.655575 \text{ m}^3$$

11. Cálculo del módulo de fineza de la combinación de agregados y el valor de rf

Utilizaremos la **Tabla 19** para calcular el valor de **mc**

Tabla 19. Módulo de finura de la combinación de agregados

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

Fuente: Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI

El **mc** calculado corresponde a un contenido de vacíos del orden del 35%. Los valores indicados deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos.

Se entra con los siguientes datos.

$$\text{TMN} = 3/4''$$

$$\text{Factor cemento} = 8.73 \text{ bolsas}$$

<u>N° de bolsas</u>	<u>mc</u>
8	5.11
8.73	mc
9	5.19

Interpolando

mc : 5.17

Corrección del mc.

$$\text{Vacíos reales} = \frac{\text{Peso específico de masa} - \text{Peso unitario seco compactado}}{\text{Peso específico de masa}} * 100 \quad (3.16)$$

$$\text{Vacíos reales} = \frac{2625 - 1514}{2625} * 100$$

$$\text{Vacíos reales} = 42.32 \%$$

El **mc** calculado corresponde a un contenido de vacíos del orden del 35%. Los valores indicados deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos.

$$5 \% \text{-----} \quad 0.1$$

$$(42.32 \% - 35\%) = 7.324 \text{-----} \quad x$$

$$X = 0.15$$

$$\text{mc (corregido)} = 5.17 - 0.15 = \mathbf{5.02}$$

12. Cálculo del valor de *rf*

Cálculo de la incidencia del agregado fino y grueso respecto del agregado global

$$rf = \frac{mg - mc}{mg - mf} * 100 \quad (3.17)$$

$$rf = \frac{6.85 - 5.02}{6.85 - 2.945} * 100$$

Reemplazando valores

$$rf = 46.77\% \text{ (porcentaje de AF)}$$

$$rg = 100 - rf = 53.23 \% \text{ (porcentaje de AG)}$$

13. Cálculo de los Volumen absoluto de los agregados

Teniendo los porcentajes de agregado fino y grueso se determina el volumen absoluto del agredo Fino y Grueso

$$\text{Volumen absoluto del Agregado Fino} \dots\dots\dots 0.4677 * 0.655575 = 0.306601 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto del Agregado Grueso} \dots\dots\dots 0.5323 * 0.655575 = 0.348974 \text{ m}^3$$

14. Pesos secos de los agregados

Calculo de los pesos secos o de diseño, estos resultan de multiplicar el peso específico de los agregados por su volumen absoluto

$$\text{Peso Seco del Agregado Fino} \dots\dots\dots 2648 * 0.306601 = 839.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso Seco del agregado Grueso} \dots\dots\dots 2630 * 0.348974 = 959.00 \text{ Kg/m}^3$$

15. Dosificación de la mezcla para un metro Cúbico

$$\text{Cemento} \dots\dots\dots 370.91 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agua de diseño} \dots\dots\dots 204.00 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino} \dots\dots\dots 801.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso} \dots\dots\dots 916.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Aire Total} \dots\dots\dots 2.0 \%$$

16. Aporte de humedad de los agregados para un concreto normal

$$\text{Aporte de humedad del agregado fino} \dots\dots\dots 801 * \frac{(5.405 - 1.248)}{100} = 33.30 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Aporte de humedad del agregado grueso} \dots\dots\dots 916 * \frac{(0.33 - 1.10)}{100} = -7.06 \text{ Lt/m}^3$$

De la humedad y absorción de los agregados se tiene que el aporte de agua es de
 $33.30 - 7.06 = 26.24 \text{ Lt}$

17. corrección por humedad del agregado

$$\text{Cemento} \dots\dots\dots 370.91 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agua Efectiva} \dots\dots\dots 185 - 26.24 = 177.76 \text{ Lt /m}^3$$

$$\text{Agregado Fino} \dots\dots\dots 801 * (1 + 5.405 / 100) = 844.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso} \dots\dots\dots 916 * (1 + 0.33 / 100) = 919.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Aire Total} \dots\dots\dots 2.0 \%$$

3.3.6. Peso Unitario del concreto en estado fresco

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

A) Aparatos:

- Balanzas. Una balanza con error de 1g
- Varilla de apisonado. Una varilla lisa de acero, redondeada de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo un extremo o ambos extremos de forma redondeada tipo semi-esférica, con 16 mm de diámetro.
- Recipiente. Un recipiente cilíndrico de metal. Será hermético a prueba de agua, con bordes superior e inferior firmes y parejos con precisión en sus dimensiones interiores y suficientemente rígidas para mantener su forma en condiciones severas de uso. El recipiente tendrá una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso tendrá una altura de menos del 80% ni más del 150% del diámetro.
- Mazo. Con cabeza de hule de peso aproximado a 0.8 Kg.
- Herramientas manuales. Cucharón y plancha.

B) Procedimiento:

- Se colocó los moldes en una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones.
- Se colocó el concreto en el recipiente de medición usando una cuchara metálica. Se movió la cuchara alrededor del perímetro interno del recipiente de medición para asegurar una distribución homogénea del concreto con segregación mínima.
- El llenado del molde se realizó en tres capas de igual volumen, en la última capa se agregó una cantidad de mezcla suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación.
- La compactación se realizó en cada capa con 25 penetraciones de la varilla, distribuyendo las penetraciones de forma uniforme. La compactación de la primera capa fue en todo su espesor, y la segunda y tercera capa penetrando 25 mm en la capa anterior.

- Después de compactar cada capa, se golpeó los lados del molde ligeramente por 12 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas que pueden quedar atrapadas.
- Se enrasó el exceso de mezcla con la varilla de compactación y se dio un acabado con una espátula, procurando dar el menor número de pasadas para producir una superficie lisa y plana.
- Se limpió el exceso de concreto que quedó en la pestaña del molde.
- Se determinó la masa del molde más la muestra.

C) Cálculos:

$$\text{Peso Unitario} = (M_c - M_m) / V_m \quad (3.18)$$

En donde:

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

W_m = Peso del recipiente vacío, kg

V_m = Volumen del recipiente, m³

3.3.7. Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto

El procedimiento para realizar el ensayo de resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto se detalla en la norma NTP 339.034 en concordancia con la ASTM C 39.

A) Aparatos:

- Máquina universal a compresión
- Platos retenedores con discos de neopreno:
- Vernier. Con precisión de 0.01 mm.
- Regla. Instrumento de metal con precisión de 0.5 mm.

B) Procedimiento

Todos los cilindros de ensayo para una determinada edad de ensayo fueron fracturados dentro el tiempo permisible de tolerancias prescritas como sigue:

Tabla 20. *Tiempo de prueba de los especímenes y tolerancia*

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	± 0.5 h ó 2.1 %
03 d	± 2 h ó 2.8 %
07 d	± 6 h ó 3.6 %
28 d	± 20 h ó 3.0 %

Fuente: NTP 339.034 – 2008

- Las dimensiones de los especímenes: Se midió cuatro diámetros con el calibrador vernier en las dos por cada cara del espécimen, las mediciones fueron tomadas en forma perpendicular una de la otra, también se midió la altura del espécimen en dos de sus lados con ayuda de una regla metálica.
- Colocación de los especímenes en la máquina compresora: Se limpió la superficie de los soportes inferiores y superiores de la compresora, se colocó el espécimen con los platos contenedores con neopreno en ambas caras de éste, alineando los ejes del espécimen con el centro del bloque de empuje inferior y el bloque movable superior, se descendió el bloque movable superior lentamente hasta poner en contacto con el plato contenedor superior. Luego, se verificó que el indicador de carga se encuentre en cero, para poder empezar a aplicar la compresión.
- Aplicación de cargas: La carga se aplicó continuamente con una aproximación de 2.5 kg/cm² por segundo lo que aproximadamente para estos especímenes de diámetro de 150 mm la aplicación de carga será de 0.5 Toneladas por segundo. Durante el ensayo se ajustó la válvula de inyección de aceite suavemente con el objeto de mantener constante la velocidad de aplicación de la carga. Se aplicó la carga hasta que el espécimen falló y se registró la máxima carga soportada por el espécimen.

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

4.1. Presentación y Discusión de las propiedades físico- mecánicas de los agregados

La cantera utilizada para la obtención de agregado fino y grueso fue elegida a criterio por presentar agregados limpios y de buena calidad. A continuación, se detallan las propiedades físico-mecánicas de los agregados extraídos de la cantera Doña Ramona localizada en el cauce del río Condebamba, hacia el lado izquierdo de la progresiva Km. 1209+370 de la Carretera Longitudinal de la Sierra. Dichos resultados son el promedio de tres ensayos realizados por cada propiedad requerida, según como lo menciona las normas NTP y ASTM

Tabla 21. *Propiedades físico-mecánicas de los agregados de la cantera “doña ramona”*

Propiedad Físico-Mecánica	Agregado Fino	Agregado Grueso
Perfil	.-	Angular
Tamaño máximo nominal	.-	3/4"
Peso específico de masa	2.612 g/cm ³	2.625 g/cm ³
Peso específico sss	2.645 g/cm ³	2.654 g/cm ³
Peso específico aparente	2.701 g/cm ³	2.703 g/cm ³
Peso unitario suelto	1636 Kg/m ³	1350 Kg/m ³
Peso unitario compactado	1784 Kg/m ³	1514 Kg/m ³
Contenido de humedad (%)	5.405	0.33
Absorción (%)	1.248	1.10
Módulo de finura	2.945	6.85
Abrasión (%)	.-	26.00
Porcentaje que pasa malla N° 200	2.47	0.36

La granulometría del agregado fino se ajustó dentro del Huso M establecido por la norma NTP 400.037, por lo tanto el agregado fino utilizado presenta buena gradación de sus partículas y su módulo de fineza cumplió con los requerimientos establecidos por la norma NTP 400.037 acercándose dicho valor al límite superior.

La granulometría del agregado Grueso se ajustó aproximadamente dentro del Huso M establecido por la norma N° 67 de la norma A.S.T.M. C 33, dando a entender que el agregado grueso utilizado presenta una buena gradación de sus partículas

El peso específico y absorción, tanto del agregado fino como del grueso se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma NTP 400.037, indicando de esta manera, que el agregado utilizado es apto para la elaboración de mezclas de concreto.

El peso unitario tanto suelto como compactado del agregado grueso cumplió adecuadamente con lo establecido en la NTP 400.037, mientras que en agregado fino experimentó ligeras variaciones, muy cercanas al límite superior en lo que respecta al peso unitario suelto.

La resistencia a la abrasión del agregado grueso cumple los requerimientos de la NTP 400.037 y fue del 26% el cual es menor al 50%, indicando que el agregado utilizado posee partículas compactas y resistentes

El porcentaje de partículas menores que el tamiz N° 200 tanto del agregado fino como del agregado grueso, cumplió con lo especificado en la norma 400.037.

4.2. Resultado del diseño de mezcla de concreto

Siguiendo el método del Módulo de Fineza de la Combinación de agregados, se determinó las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto. Los materiales de diseño y materiales corregidos por humedad, para un concreto de $f'c$ igual a 280 kg/cm^2 son los que se muestran a continuación.

Los materiales de diseño para un concreto de $f'c$ igual a 280 kg/cm^2 , son los que se detallan a continuación:

Cemento.....	371.00 Kg/m ³
Agua de diseño.....	204.00 Lt/m ³
Agregado Fino.....	801.00 Kg/m ³
Agregado Grueso.....	916.00 Kg/m ³
Aire Total.....	2.0 %

Los materiales corregidos por humedad para un concreto de $f'c$ igual a 280 kg/cm^2 , son los que se detallan a continuación:

Cemento.....	371.00 Kg/m^3
Agua Efectiva.....	177.76 Lt /m^3
Agregado Fino.....	844.00 Kg/m^3
Agregado Grueso	919.00 Kg/m^3
Aire Total.....	2.0 %

4.3. Resultados y análisis de la consistencia del concreto

Se realizaron ensayos para determinar la consistencia de la mezcla del concreto de los seis grupos experimentales, uno por cada grupo. Los resultados se muestran a continuación en la siguiente tabla

Tabla 22. *Asentamiento del concreto, en cada grupo experimental*

Especímenes cilíndricos con relación de esbeltez	Cercana o igual a 2	Cercana o igual a 1.8	Cercana o igual a 1.6	Cercana o igual a 1.4	Cercana o igual a 1.2	Cercana o igual a 1.0
Asentamiento (cm)	8.7	8.5	8.6	9.0	8.5	8.7

Con los datos de la tabla 22, se construye el siguiente gráfico para poder visualizar que no existen variaciones abismales en el asentamiento y la consistencia en cada grupo experimental

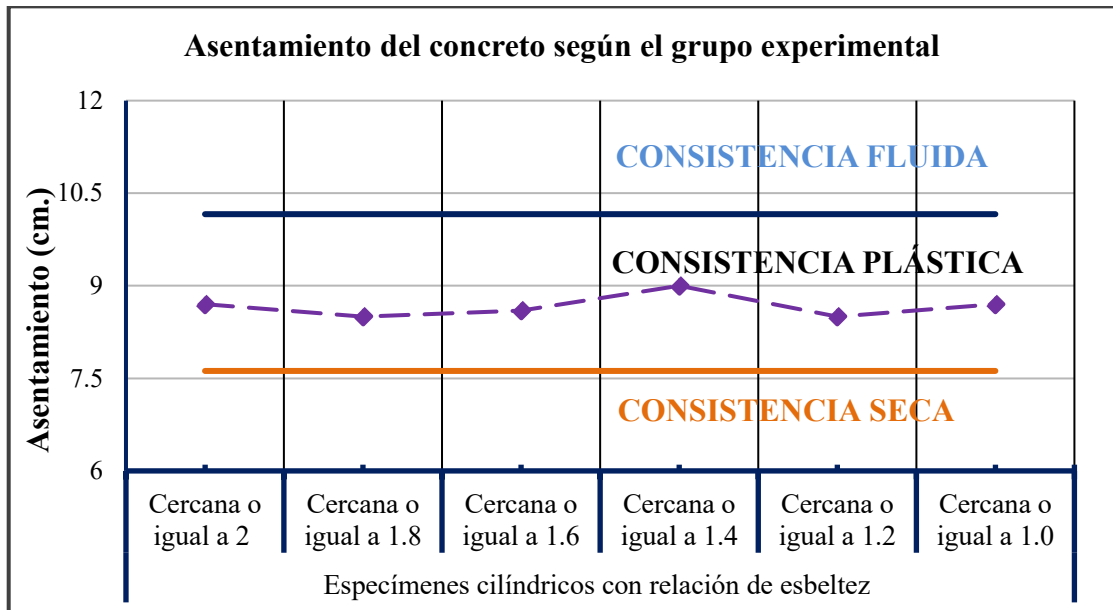


Figura 10. Consistencia de la mezcla en cada grupo experimental

Como se observa en la Tabla 22 y en el Gráfico de la figura 10, las 6 tandas de concreto fresco presentan asentamientos similares, esto debido a que el diseño de mezcla es el mismo. Así tenemos que la mezcla de concreto en la tanda para los especímenes cilíndricos estándar con una relación de esbeltez cercana o igual a 2 presentó un asentamiento de 8.7cm con una consistencia plástica, para la tanda de los especímenes cilíndricos con una relación de esbeltez cercana o igual a 1.8 presentó un asentamiento de 8.5 cm también una consistencia plástica. La mezcla de concreto para las siguientes tandas de los especímenes cilíndricos con una relación de esbeltez cercana o igual a 1.6, 1.4, 1.2 y 1.0 fueron de 8.6cm, 9cm, 8.5cm y 8.7 cm respectivamente; y todas estas tandas presentaron una consistencia plástica

Según fuentes bibliográficas se considera que el agua no tendrá efecto adverso en la resistencia a compresión simple del concreto siempre y cuando se trate de mantener y/o no existan variaciones abismales en la consistencia y la relación agua cemento de diseño en la mezcla. Según los datos anteriores se puede verificar que ninguna de las tandas de concreto se ubicó fuera del rango plástico elegido al momento del diseño, es por lo que se considera aceptable y se garantiza que no existirán variaciones abismales en la resistencia a compresión del concreto por el exceso o defecto de agua en la mezcla al momento de elaborar los especímenes cilíndricos con diferentes relaciones de esbeltez

4.4. Densidad de masa del concreto en estado fresco

Se realizaron ensayos para determinar la densidad de masa del concreto en estado fresco. Los resultados se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 23. *Peso unitario del concreto en estado fresco*

Nº de ensayo	Peso unitario del Concreto en estado fresco
1	2329 Kg/m ³
2	2322 Kg/m ³
3	2338 Kg/m ³
4	2351 Kg/m ³
5	2335 Kg/m ³
6	2321 Kg/m ³
7	2337 Kg/m ³
8	2345 Kg/m ³
9	2315 Kg/m ³
10	2350 Kg/m ³
Promedio	2334 Kg/m³

En la anterior tabla se puede observar los pesos unitarios del concreto en su estado fresco, dichos valores fueron obtenidos de 10 ensayos de las diferentes tandas y los diferentes grupos experimentales. El peso unitario promedio alcanzado es de 2334 kg/m³.

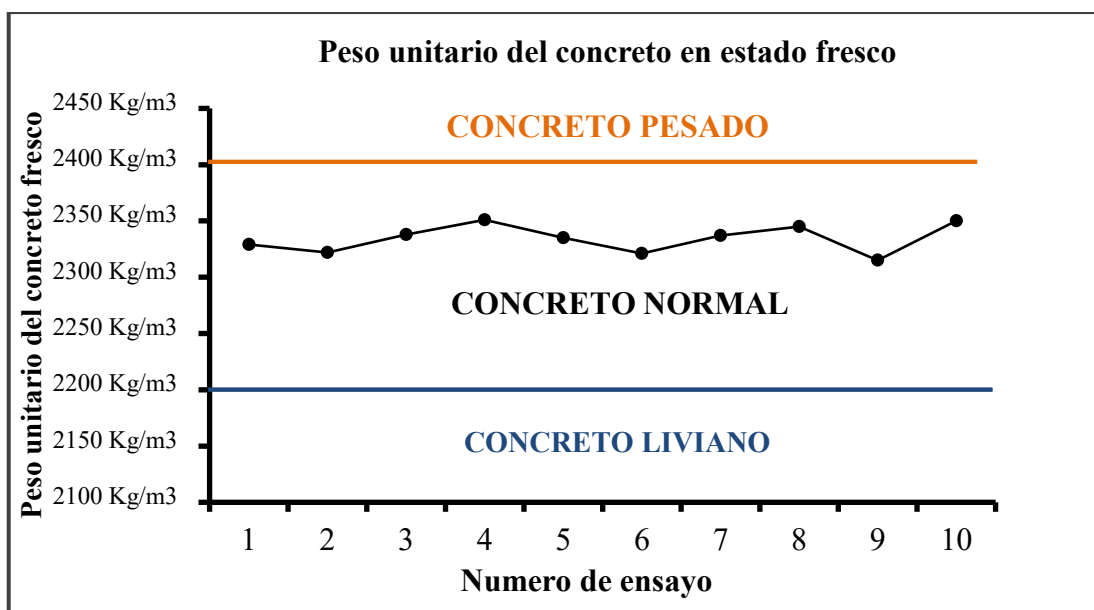


Figura 11. *Peso unitario del concreto en estado fresco*

Según el gráfico de la figura anterior se puede apreciar, que no existen variaciones considerables en los diferentes ensayos de peso unitario del concreto en su estado fresco. Además, se puede clasificar al concreto obtenido en la presente investigación como un “concreto normal”, por encontrarse dicho valor promedio entre 2200 kg/m³ y 2400 kg/m³.

4.5. Análisis de la densidad de masa del concreto en estado endurecido

Se realizaron 15 ensayos para determinar la densidad de masa del concreto en su estado endurecido. Los resultados se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 24. *Peso unitario del concreto en estado seco, a la edad de 28 días*

Código del espécimen	Peso unitario del Concreto en estado seco
M 2.0 - 1	2313 Kg/m ³
M 2.0 - 2	2304 Kg/m ³
M 2.0 - 3	2331 Kg/m ³
M 2.0 - 4	2314 Kg/m ³
M 2.0 - 5	2328 Kg/m ³
M 2.0 - 6	2295 Kg/m ³
M 2.0 - 7	2319 Kg/m ³
M 2.0 - 8	2287 Kg/m ³
M 2.0 - 9	2287 Kg/m ³
M 2.0 - 10	2283 Kg/m ³
M 2.0 - 11	2329 Kg/m ³
M 2.0 - 12	2308 Kg/m ³
M 2.0 - 13	2303 Kg/m ³
M 2.0 - 14	2292 Kg/m ³
M 2.0 - 15	2303 Kg/m ³
Promedio	2306 Kg/m³

En la anterior tabla se observa los pesos unitarios del concreto en estado seco a la edad de 28 días. El peso unitario promedio alcanzado es de 2306 kg/m³.

Según el gráfico de la figura 12 se apreciar, que no existen variaciones considerables en los diferentes ensayos realizados para determinar el peso unitario del concreto en su estado seco. Además, se puede clasificar al concreto obtenido en la presente investigación como un “concreto normal”, por encontrarse dicho valor promedio entre 2200 kg/m³ y 2400 kg/m³.

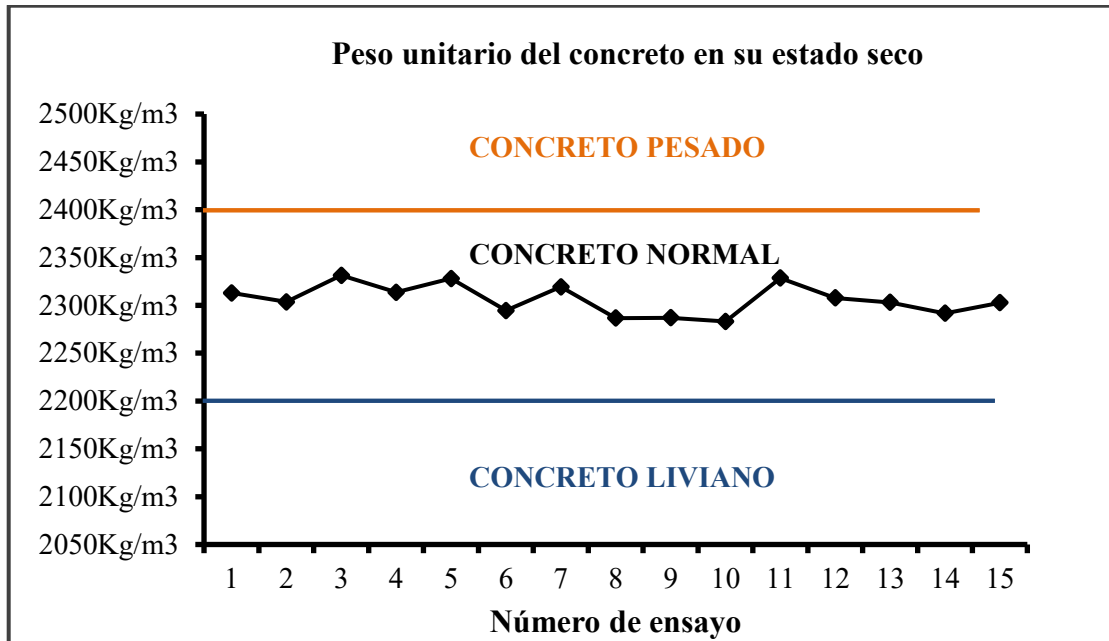


Figura 12. *Peso unitario del concreto en estado seco*

4.6. Análisis de los resultados obtenidos del módulo de elasticidad

Se realizó el cálculo del módulo de elasticidad a partir de la rotura a la compresión axial de 10 especímenes cilíndricos de concreto con relación de esbeltez igual a 2, los gráficos de esfuerzo deformación de dichos ensayos se detallan en el anexo 03. A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada espécimen:

Tabla 25. *Módulo de elasticidad del concreto, a la edad de 28 días*

CÓDIGO DEL ESPÉCIMEN	MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)
M 2.0 - 1	251822 Kg/cm ²
M 2.0 - 2	252315 Kg/cm ²
M 2.0 - 3	257982 Kg/cm ²
M 2.0 - 4	255670 Kg/cm ²
M 2.0 - 5	251467 Kg/cm ²
M 2.0 - 6	259153 Kg/cm ²
M 2.0 - 7	256357 Kg/cm ²
M 2.0 - 8	247389 Kg/cm ²
M 2.0 - 9	255488 Kg/cm ²
M 2.0 - 10	250623 Kg/cm ²
PROMEDIO	253827 Kg/cm²

Según la tabla anterior se dice que el concreto objeto de estudio en la presente investigación tiene como un módulo de elasticidad promedio de **253827 Kg/cm²**

4.7. Presentación y discusión de resultados de los ensayos a compresión

El ensayo de resistencia a la compresión se llevó a cabo a las edades de 7 y 28 días de elaborados los especímenes cilíndricos. Se registró datos durante el ensayo como: diámetro de la probeta, altura y carga última de rotura de acuerdo a la norma NTP 339.034; dichos datos se encuentran detallados en el anexo 2.

En la siguiente tabla se presenta la resistencia a compresión obtenida a la edad de 7 días; de cada uno de los especímenes elaborados en los seis grupos experimentales con relación de esbeltez (L/D) de 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, y 2 para un $f'c$ de diseño igual a 280 kg/cm²

Tabla 26. Resistencia a la compresión del concreto de los seis grupos experimentales, a la edad de 7 días

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN (Kg/cm ²) DE PROBETAS CON					
L/D = 1.0	L/D = 1.2	L/D = 1.4	L/D = 1.6	L/D = 1.8	L/D = 2.0
237.55	222.59	244.47	218.46	219.33	215.45
236.62	229.00	218.18	220.46	217.55	216.33
236.04	232.49	229.26	214.38	216.18	229.83
239.84	230.70	208.53	217.97	214.09	222.59
235.77	229.84	230.07	219.25	219.16	206.98
240.99	230.88	224.08	222.21	217.09	209.43
248.26	229.21	223.61	215.38	227.81	211.61
236.66	223.15	217.91	219.67	215.61	213.76
236.69	233.44	226.35	218.63	218.16	213.64
240.59	243.40	230.53	219.27	222.08	203.62
246.61	228.38	225.13	226.14	216.02	208.22
245.17	237.63	228.82	213.59	215.67	211.76
242.79	229.37	225.74	214.90	221.52	210.19
238.95	231.98	220.75	221.46	214.64	212.42
243.15	239.16	236.87	215.23	206.05	210.61

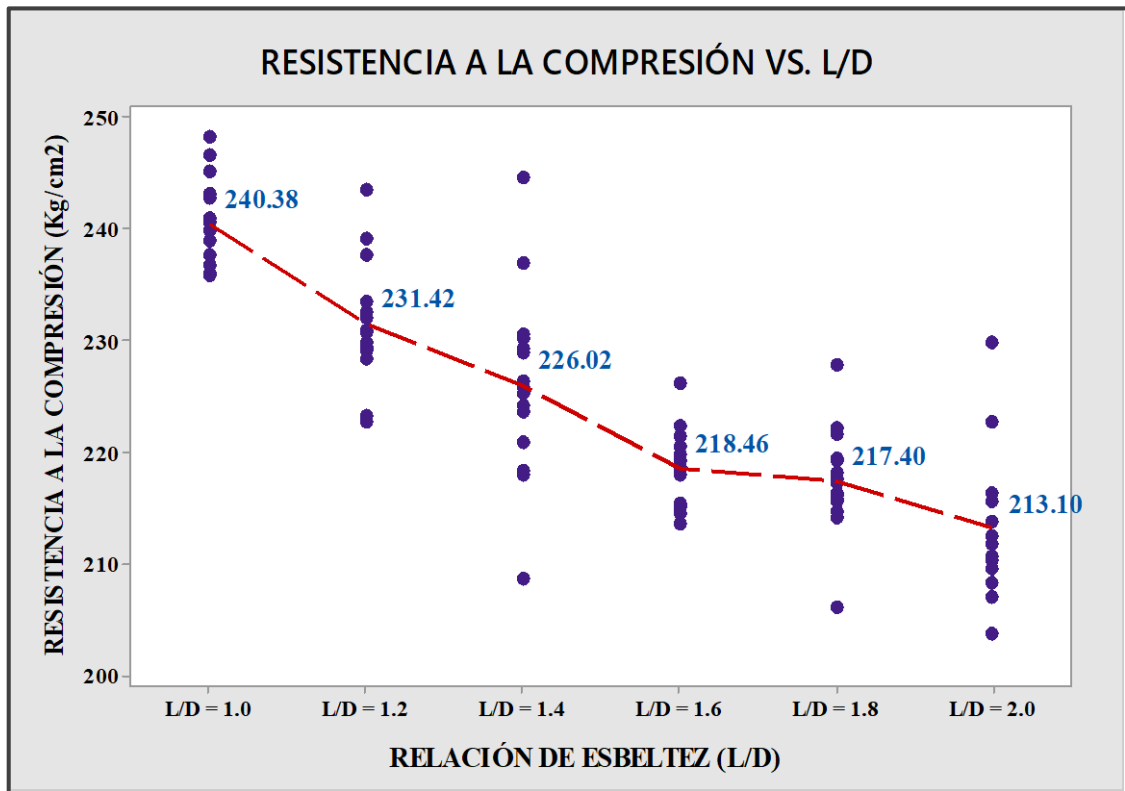


Figura 13. Gráfico de valores individuales de la resistencia a compresión VS. Relación de esbeltez (L/D) a la edad de 7 días

En la gráfica de la figura 13, se observa los valores individuales de las resistencias alcanzadas por cada espécimen de los seis grupos experimentales. A la edad de 7 días para los especímenes cilíndricos con una relación de esbeltez igual a 1.0 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 240.38 kg/cm², para los especímenes cilíndricos con una relación de esbeltez igual a 1.2 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 231.42 kg/cm², para los especímenes cilíndricos con una relación de esbeltez igual a 1.4 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 226.02 kg/cm², para los especímenes cilíndricos con una relación de esbeltez igual a 1.6 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 218.46 kg/cm², para los especímenes cilíndricos con una relación de esbeltez igual a 1.8 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 217.40 kg/cm² y para los especímenes cilíndricos con una relación de esbeltez igual a 2.0 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 213.10 kg/cm²

Según la gráfica de la figura 13, se dice que la resistencia a compresión axial de los especímenes cilíndricos a la edad de 7 días tiende a ser menor, a medida que la relación de esbeltez (L/D) se acerca a 2.0; mientras cuando (L/D) es cercano a 1.0 la resistencia a compresión aumenta. Dejándose notar claramente que la relación de esbeltez tiene efecto significativo en la resistencia a compresión en especímenes cilíndricos que no mantengas una relación de esbeltez igual a 2 como lo establece la norma ASTM C39/NTP 339.034

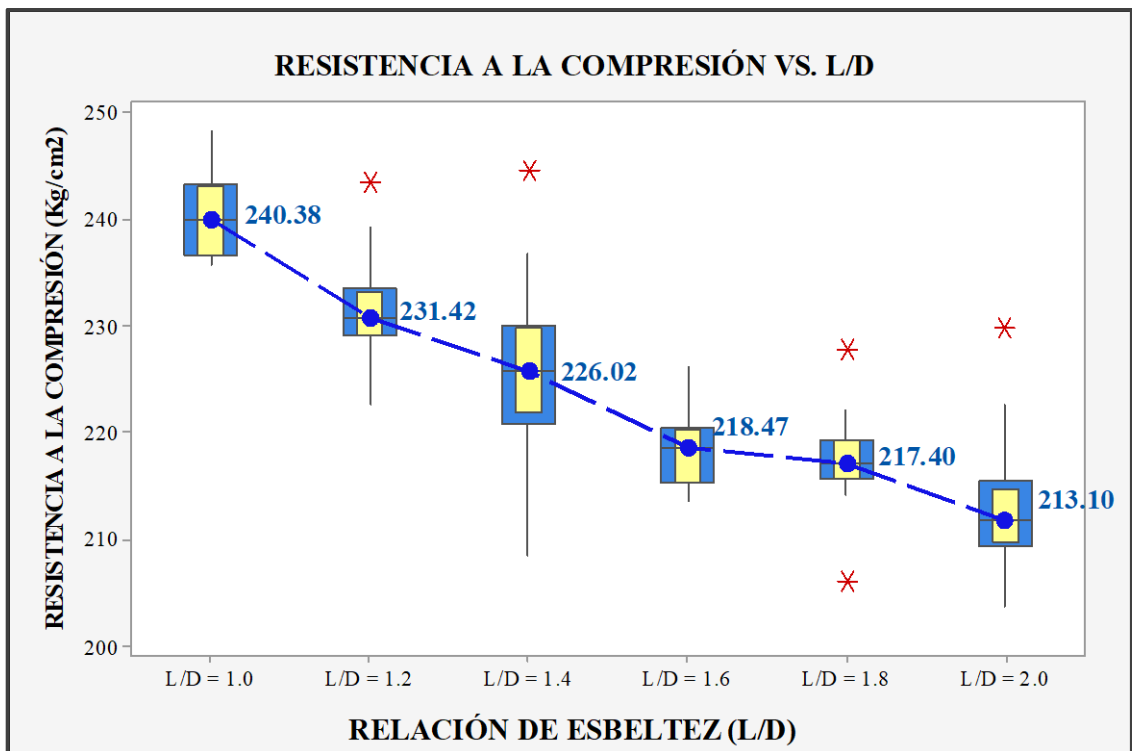


Figura 14. Gráfico de caja de la resistencia a compresión VS. Relación de esbeltez (L/D) a la edad de 7 días

En la gráfica de la figura 14, la gráfica de caja muestra las cajas de intervalos de confianza para la mediana (*cajas de color amarillo*) dentro de cajas de rango intercuartil (*cajas de color azul*). Las cajas de intervalos de confianza para la mediana representan los intervalos de confianza de 95% para la mediana de las resistencias a compresión con seis diferentes relaciones de esbeltez. También se puede notar que los valores atípicos (*) que se obtuvieron durante la investigación fueron un total de 6 para la muestra de 90 especímenes, siendo estos valores atípicos insignificantes para los tratamientos que se realicen más posteriormente.

En la siguiente tabla se presenta la resistencia a compresión obtenida a la edad de 28 días; de cada uno de los especímenes cilíndricos elaborados en los seis grupos experimentales con relación de esbeltez (L/D) de 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, y 2.0 para un $f'c$ de diseño igual a 280 kg/cm^2

Tabla 27. Resistencia a la compresión del concreto de los seis grupos experimentales, a la edad de 28 días

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN (Kg/cm²) DE PROBETAS CON					
L/D = 1.0	L/D = 1.2	L/D = 1.4	L/D = 1.6	L/D = 1.8	L/D = 2.0
319.73	311.78	305.13	292.71	293.89	290.09
327.44	323.89	299.13	302.55	290.68	288.99
317.28	325.09	301.89	304.37	314.39	305.16
326.20	323.08	313.72	310.09	313.05	300.29
341.26	310.96	293.73	298.98	290.36	285.82
331.38	322.90	302.08	292.56	281.24	288.29
313.70	321.44	309.56	297.78	303.72	290.60
326.39	309.17	296.72	300.31	300.12	289.85
325.80	326.37	302.40	293.32	287.32	288.82
329.67	325.37	303.40	287.78	292.76	286.65
326.03	302.67	307.05	293.74	301.17	284.81
326.01	325.75	306.20	295.89	307.77	289.65
332.62	315.63	303.98	288.22	287.19	286.52
322.86	325.23	304.02	300.99	297.05	288.86
333.71	326.29	315.30	305.99	293.00	290.23

En la gráfica de la figura 15, se observa los valores individuales de las resistencias alcanzadas por cada espécimen de los seis grupos experimentales. A la edad de 7 días para los especímenes cilíndricos con una relación de esbeltez igual a 1.0 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 326.67 kg/cm^2 , para los especímenes con una relación de esbeltez igual a 1.2 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 319.71 kg/cm^2 , para los especímenes con una relación de esbeltez igual a 1.4 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 304.29 kg/cm^2 , para los especímenes con una relación de esbeltez igual a 1.6 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 297.68 kg/cm^2 , para los especímenes con una relación de esbeltez igual a 1.8 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 296.61 kg/cm^2 y para los

especímenes con una relación de esbeltez igual a 2.0 se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 290.31 kg/cm²

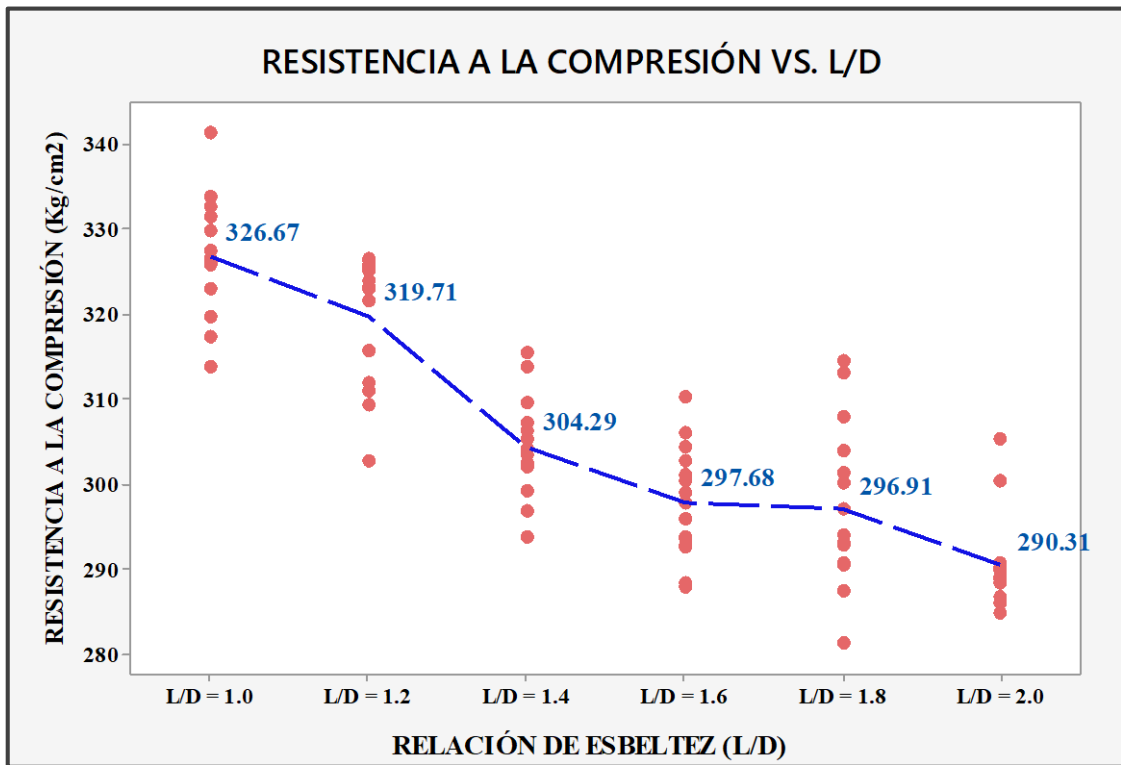


Figura 15. Gráfico de valores individuales de la resistencia a compresión VS. Relación de esbeltez (L/D) a la edad de 28 días

Según la gráfica de la figura 13 y 15, se dice que la resistencia a compresión axial de los especímenes cilíndricos sigue conservando esa relación, a medida que la relación de esbeltez (L/D) es acerca a 2.0 la resistencia a compresión tiende a ser menor o decrece, en comparación cuando (L/D) es cercano a 1.0 la resistencia a compresión tiende a ser mayor o crece significativamente. Dejándose notar claramente que la relación de esbeltez tiene efecto elocuente en la resistencia a compresión en especímenes cilíndricos que no mantengas una relación de esbeltez igual a 2 como lo establece la norma ASTM C39/NTP 339.034

En la gráfica de la figura 16, la gráfica de caja muestra las cajas de intervalos de confianza para la mediana (*cajas de color amarillo*) dentro de cajas de rango intercuartil (*cajas de color azul*). Las cajas de intervalos de confianza para la mediana representan los intervalos de confianza de 95% para la mediana de las resistencias a compresión con seis diferentes relación de esbeltez. También se puede notar que los valores atípicos (*) que se obtuvieron durante la investigación fueron un total de 4 para la muestra de 90 especímenes, siendo

estos valores atípicos insignificantes para los tratamientos que se realicen más posteriormente.

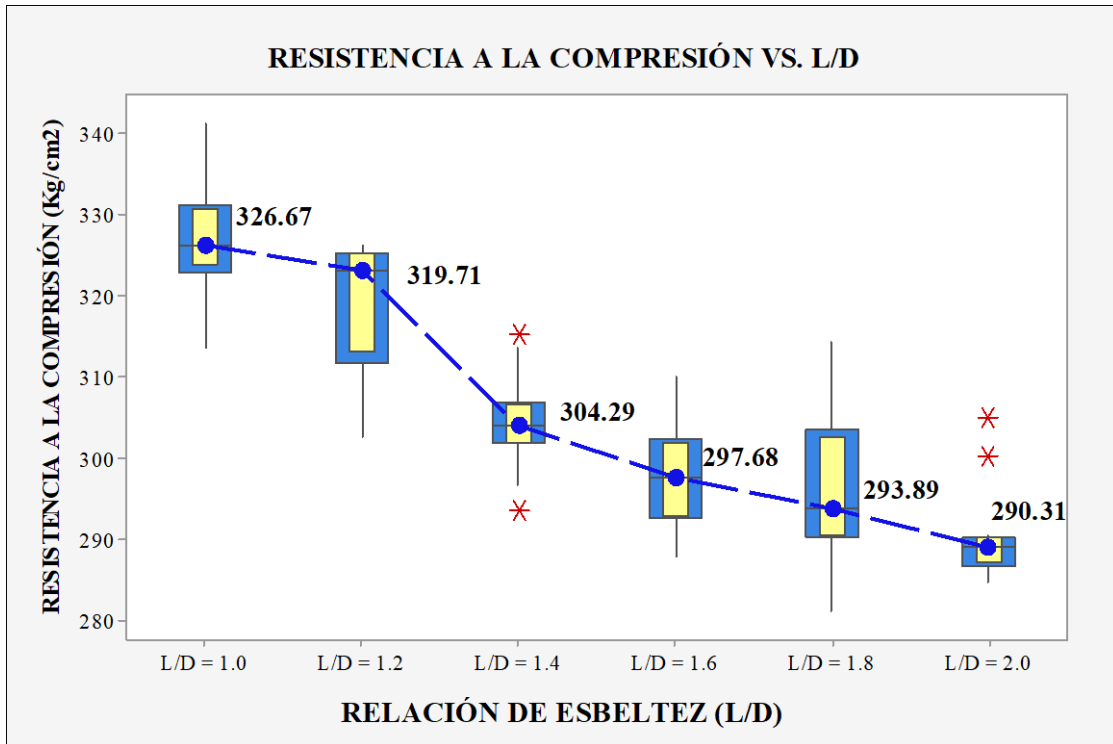


Figura 16. Gráfico de caja de la resistencia a compresión VS. Relación de esbeltez (L/D) a la edad de 28 días

4.8. Presentación y discusión de resultados, del factor de esbeltez y factor de corrección

Para el cálculo del factor de corrección, se lo determino al dividir cada valor obtenido, entre la resistencia a compresión promedio a los 7 días a de los especímenes con relación de esbeltez igual a 2, los cuales fueron considerados como patrón.

Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos a compresión de los 6 grupos experimentales y una vez calculada la relación de esbeltez y el factor de corrección por esbeltez, elaboramos una gráfica, a partir de la cual determinamos la línea de tendencia que presenta y su respectiva ecuación para lograr determinar el factor de corrección por esbeltez en función de la relación de esbeltez del espécimen cilíndrico. Los resultados a compresión a tomar en cuenta para este análisis son aquellos que se obtuvieron para edad de 7 días y a continuación se muestra un consolidado de la relación de esbeltez y su factor de corrección

Tabla 28. Factor de esbeltez (L/D) y factor de corrección por esbeltez de los seis grupos experimentales, a la edad de 7 días

PROB. CON L/D = 1.0		PROB. CON L/D = 1.2		PROB. CON L/D = 1.4		PROB. CON L/D = 1.0		PROB. CON L/D = 1.6		PROB. CON L/D = 1.8	
L/D	Factor	L/D	Factor	L/D	Factor	L/D	Factor	L/D	Factor	L/D	Factor
1.09	0.897	1.22	0.957	1.43	0.872	1.60	0.975	1.81	0.972	2.00	0.989
1.05	0.901	1.23	0.931	1.43	0.977	1.63	0.967	1.81	0.980	1.98	0.985
1.03	0.903	1.23	0.917	1.42	0.929	1.60	0.994	1.79	0.986	1.98	0.927
1.07	0.888	1.25	0.924	1.43	1.022	1.62	0.978	1.80	0.995	1.98	0.957
1.06	0.904	1.24	0.927	1.41	0.926	1.63	0.972	1.80	0.972	1.99	1.030
1.08	0.884	1.21	0.923	1.40	0.951	1.59	0.959	1.79	0.982	1.97	1.018
1.04	0.858	1.21	0.930	1.41	0.953	1.59	0.989	1.81	0.935	1.97	1.007
1.01	0.900	1.21	0.955	1.38	0.978	1.59	0.970	1.80	0.988	1.97	0.997
1.07	0.900	1.23	0.913	1.41	0.941	1.61	0.975	1.80	0.977	2.05	0.997
1.03	0.886	1.22	0.876	1.41	0.924	1.61	0.972	1.80	0.960	2.02	1.047
1.08	0.864	1.19	0.933	1.41	0.947	1.61	0.942	1.81	0.986	1.97	1.023
1.05	0.869	1.21	0.897	1.41	0.931	1.66	0.998	1.80	0.988	1.98	1.006
1.02	0.878	1.23	0.929	1.40	0.944	1.60	0.992	1.80	0.962	1.98	1.014
1.06	0.892	1.24	0.919	1.40	0.965	1.66	0.962	1.80	0.993	2.04	1.003
1.06	0.876	1.20	0.891	1.41	0.900	1.61	0.990	1.79	1.034	2.02	1.012

Con estos valores de la tabla 28 se elabora la gráfica que se presenta a continuación

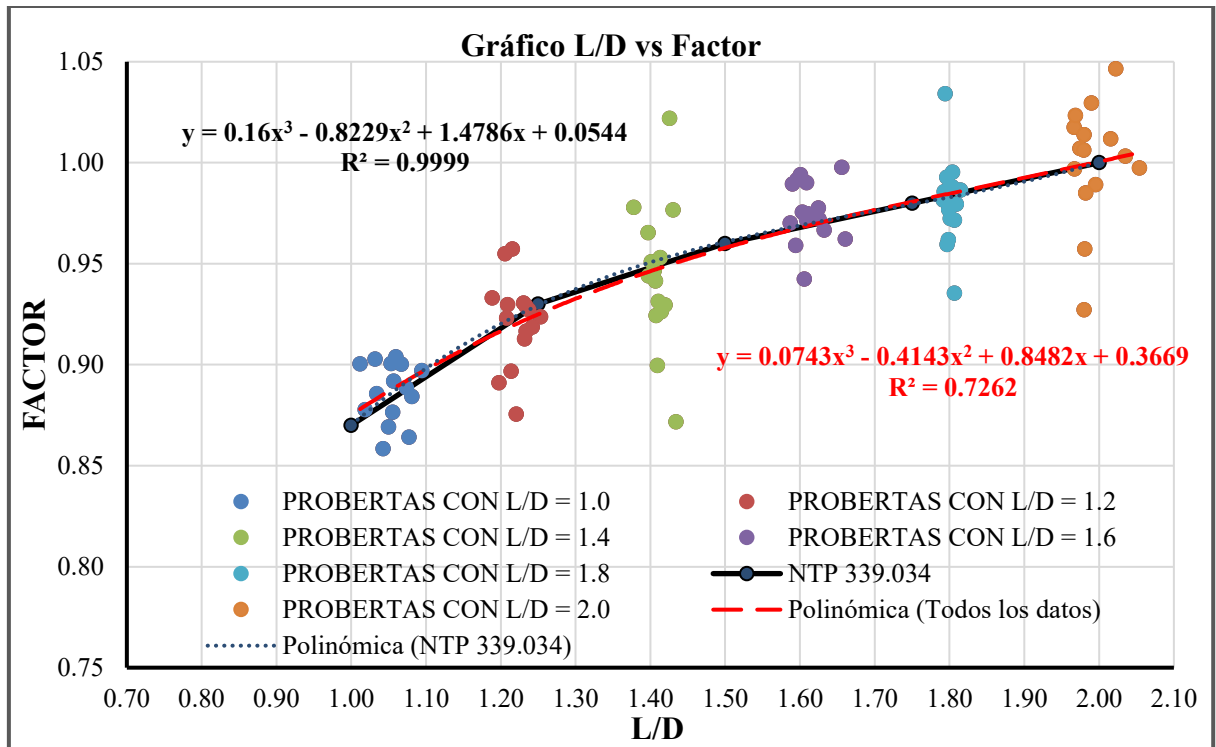


Figura 17. Gráfico de relación de esbeltez (L/D) VS. Factor de corrección, a la edad de 7 días

En el gráfico de la figura 17 se pueden apreciar dos líneas de tendencia; la línea de color negro que representa los valores propuestos por la NTP 334.034 y la línea de color rojo representa una línea de tendencia resultados de todos los valores encontrados en la presente investigación. Las ecuaciones cubicas de las dos curvas, son las que se presentan a continuación:

Ecuación cubica de la línea de tendencia de los valores propuestos por la NTP 334.034:

$$Y = 0.16x^3 - 0.8229x^2 + 1.4786x + 0.0544 \quad (4.1)$$

Con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.9999$

Ecuación cubica de la línea de tendencia de los valores encontrados en la presente investigación:

$$Y = 0.0743x^3 - 0.4143x^2 + 0.8482x + 0.3669 \quad (4.2)$$

Con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.7262$

Al emplear la formula (4.2), calculamos el factor de corrección para los siguientes valores de (L/D) tal como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 29. Factor de esbeltez (L/D) y factor de corrección por esbeltez, para especímenes cilíndricos con edad de 7 días

L/D	FACTOR DE CORRECCIÓN
2.00	1.00
1.80	0.98
1.75	0.98
1.60	0.97
1.50	0.96
1.40	0.95
1.25	0.92
1.20	0.92
1.00	0.88

La utilización de la ecuación 4.2 o la tabla 29 es válida para una relación de esbeltez que se encuentre comprendida entre 1.00 y 2.00 y especímenes cilíndricos que tengan una edad de curado de 7 días

Para el cálculo del factor de corrección a la edad de 28 días, se lo determino al dividir cada valor obtenido, entre la resistencia a compresión promedio a los 28 días a de los especímenes con relación de esbeltez igual a 2, los cuales fueron considerados como patrón.

Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos a compresión de los 6 grupos experimentales y una vez calculada la relación de esbeltez y el factor de corrección por esbeltez, elaboramos una gráfica a partir de la cual determinamos la línea de tendencia que presenta y su respectiva ecuación para lograr determinar el factor de corrección por esbeltez en función a la relación de esbeltez del espécimen cilíndrico. Los resultados a compresión a tomar en cuenta para este análisis son aquellos que se obtuvieron para edad de 28 días y a continuación se muestra un resumen de la relación de esbeltez y su factor de corrección

Tabla 30. Factor de esbeltez (L/D) y factor de corrección por esbeltez de los seis grupos experimentales, a la edad de 28 días

PROB. CON L/D = 1.0		PROB. CON L/D = 1.2		PROB. CON L/D = 1.4		PROB. CON L/D = 1.0		PROB. CON L/D = 1.6		PROB. CON L/D = 1.8	
L/D	Factor	L/D	Factor	L/D	Factor	L/D	Factor	L/D	Factor	L/D	Factor
1.09	0.908	1.22	0.931	1.41	0.951	1.58	0.992	1.80	0.988	2.00	1.001
1.03	0.887	1.25	0.896	1.40	0.970	1.64	0.960	1.82	0.999	1.99	1.005
1.01	0.915	1.24	0.893	1.43	0.962	1.59	0.954	1.81	0.923	2.00	0.951
1.03	0.890	1.26	0.899	1.41	0.925	1.62	0.936	1.82	0.927	1.99	0.967
1.05	0.851	1.21	0.934	1.41	0.988	1.63	0.971	1.81	1.000	1.98	1.016
1.01	0.876	1.21	0.899	1.40	0.961	1.59	0.992	1.81	1.032	1.98	1.007
1.01	0.925	1.22	0.903	1.41	0.938	1.59	0.975	1.82	0.956	1.99	0.999
1.00	0.889	1.21	0.939	1.42	0.978	1.59	0.967	1.81	0.967	2.03	1.002
1.00	0.891	1.23	0.889	1.38	0.960	1.61	0.990	1.82	1.010	1.98	1.005
1.02	0.881	1.20	0.892	1.38	0.957	1.61	1.009	1.84	0.992	2.00	1.013
1.02	0.890	1.19	0.959	1.40	0.945	1.60	0.988	1.80	0.964	1.98	1.019
1.03	0.891	1.21	0.891	1.40	0.948	1.65	0.981	1.82	0.943	1.99	1.002
1.00	0.873	1.24	0.920	1.40	0.955	1.59	1.007	1.81	1.011	2.03	1.013
1.04	0.899	1.24	0.893	1.40	0.955	1.66	0.965	1.82	0.977	1.98	1.005
1.02	0.870	1.19	0.890	1.41	0.921	1.61	0.949	1.77	0.991	2.00	1.000

Con estos valores de la tabla 30 se elabora la gráfica que se presenta a continuación

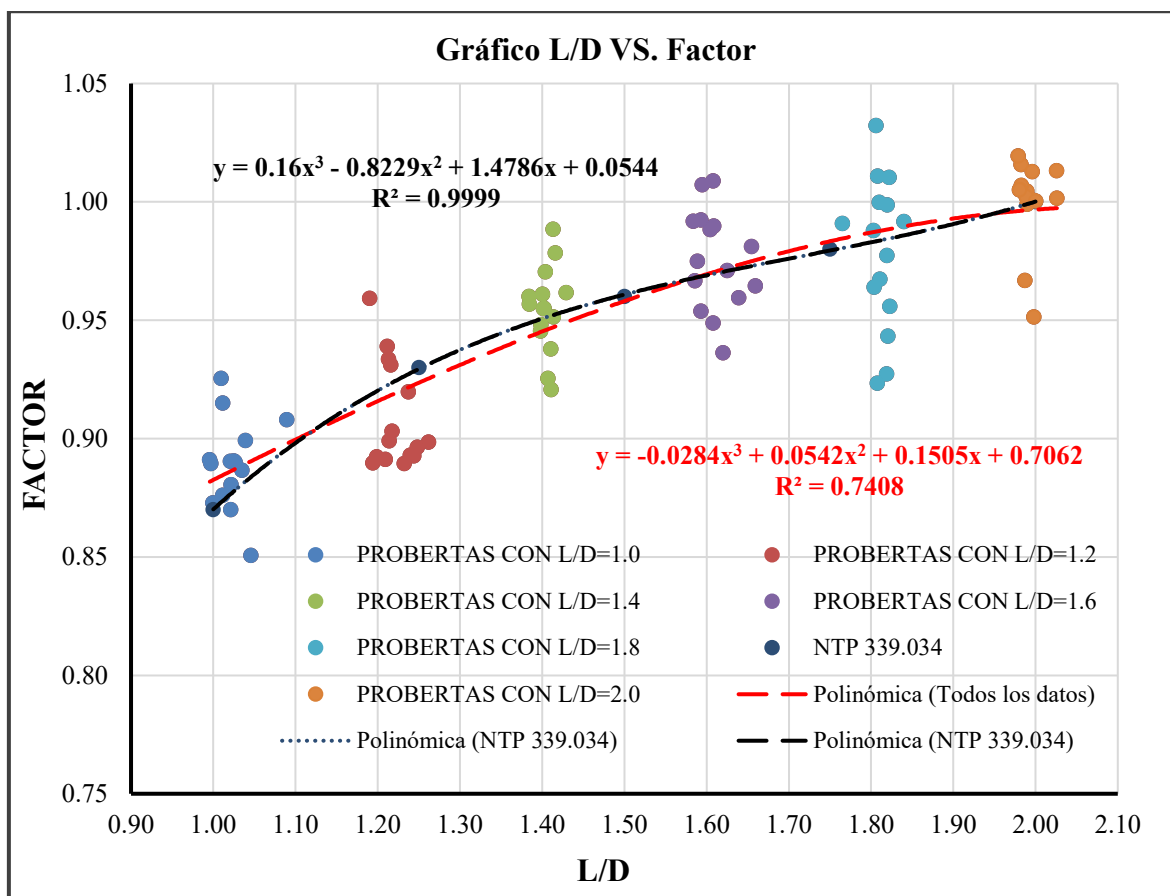


Figura 18. Gráfico de relación de esbeltez (L/D) VS. Factor de corrección, a la edad de 28 días

En el gráfico de la figura 18, se pueden apreciar dos líneas de tendencia; la de color negro la cual representa, a los valores propuestos por la NTP 334.034 y la línea de color rojo representa una línea de tendencia resultados de todos los valores encontrados en la presente investigación. Las ecuaciones cubicas de las dos curvas, son las que se presentan a continuación:

Ecuación cubica de la línea de tendencia de los valores propuestos por la NTP 334.034 es la misma ya descrita anteriormente en la ecuación 4.1

Ecuación cubica de la línea de tendencia de los valores encontrados en la presente investigación:

$$Y = -0.0284x^3 + 0.0542x^2 + 0.1505x + 0.7062 \tag{4.3}$$

Con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.7408$

Al emplear la fórmula (4.3), calculamos el factor de corrección para los siguientes valores de (L/D) tal como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 31. Factor de esbeltez (L/D) y factor de corrección por esbeltez, para especímenes cilíndricos con edad de 28 días

L/D	FACTOR DE CORRECCIÓN
2.00	1.00
1.80	0.99
1.75	0.98
1.60	0.97
1.50	0.96
1.40	0.95
1.25	0.92
1.20	0.92
1.00	0.88

La utilización de la ecuación 4.3 o la tabla 31 es válida para una relación de esbeltez que se encuentre comprendida entre 1.00 y 2.00 y especímenes cilíndricos que tengan una edad de curado de 28 días. Además, el concreto a ser afectado por el factor de corrección por esbeltez, debe ser un concreto normal, que dicho valor de peso unitario en estado seco este comprendido entre 2200 kg/m^3 y 2400 kg/m^3 . Se excluyen concretos pesados y livianos

4.9. Discusión de resultados contrastados con las bases teóricas

Los valores presentados en las tablas 29 y 31, muestran los factores de corrección por esbeltez para especímenes cilíndricos con edades de curado de 7 y 28 días. Los valores dados en la tabla 31 son para una edad de 28 días, donde el concreto logra alcanzar por lo menos el 100% de su resistencia a compresión de diseño, estos factores de corrección indican una discordancia mínima para las relaciones de esbeltez de 1.25 y 1.00 dadas por la norma ASTM C39/NTP 339.034

4.10. Prueba De Hipótesis

Para llevar a cabo la prueba de hipótesis, se lo realizó mediante el análisis de varianza (ANOVA). Los datos para la variable de resistencia a compresión fueron tomados de la tabla 27 a la edad de 28 días.

a) Planteo de hipótesis

H_0 : La resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto es igual al disminuir su relación de esbeltez

H_1 : La resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto se incrementa al disminuir su relación de esbeltez

b) Tabla Anova

En la tabla 32, se muestra un consolidado de la tabla ANOVA obtenida al utilizar el programa estadístico Minitab 17, para los valores de resistencia a compresión que se presentaron en la tabla 27

Tabla 32. Tabla ANOVA para los datos presentados en la tabla 27

Fuente	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	F
Factor	15241.73	5.00	3048.35	60.44
Error	4236.83	84.00	50.44	2.32
Total	19478.56	89.00	-.-	-.-

c) Toma de decisión estadística

- Rechace H_0 si $F_{obs} \geq F(\alpha)$
- No rechace H_0 si $F_{obs} < F(\alpha)$
- $gl_F(k-1) = 5$
- $gl_R(n-k) = 84$
- Probabilidad de rechazo del 5%
- $F(5, 84, 0.05) = 2.32$

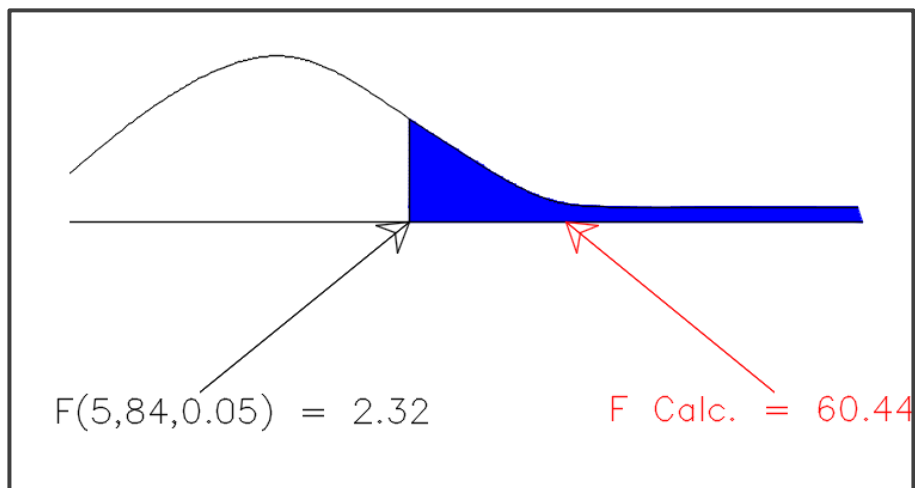


Figura 19. Gráfico de distribución F, para la toma de decisión

Según el gráfico de la figura 19, se observa que el valor F calculado se encuentra dentro del rango de aceptabilidad de la hipótesis alternativa, se rechaza H_0 y se acepta que la resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto se incrementa al disminuir relación de esbeltez (L/D) desde 2.0, 1.8, 1.6, 1.4, 1.2 hasta 1.0

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Después de realizar los ensayos y determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados de la cantera Doña Ramona, se obtuvo que el agregado tanto finos como gruesos, se encuentran dentro de los parámetros y requerimientos de acuerdo con las normas técnicas NTP Y ASTM.
- Luego de realizar el diseño de mezclas con los agregados de la cantera Doña Ramona y cemento Portland Tipo I de la marca Pacasmayo, se obtuvo la siguiente dosificación en kg por m³ de concreto: C:AF:AG:A 371:844:919:177.76.
- La influencia que se presenta al disminuir la relación de esbeltez en especímenes cilíndricos en un concreto con densidad normal, es de manera indirecta a la resistencia del concreto, teniéndose un aumento progresivo en la resistencia a compresión a medida que dicha relación disminuye, alcanzando valores de aumento en la resistencia a la compresión de hasta 12.80% a edad de 7 días y 12.52% a edad de 28 días cuando la relación de esbeltez (L/D) es de 1.0; comprobando de esta manera la hipótesis planteada en la investigación.
- Adicionalmente podemos contribuir con las ecuaciones para calcular el factor de corrección para esbelteces comprendidas entre 1 y 2, las cuales son: $Y = 0.0743x^3 - 0.4143x^2 + 0.8482x + 0.3669$ para edad de 7 días y $Y = -0.0284x^3 + 0.0542x^2 + 0.1505x + 0.7062$, para edad de 28 días. Donde “Y” es el factor de corrección y “x” es la relación de esbeltez L/D. Además.

5.2. Recomendaciones

- Evaluar la variación de la resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concretos de alta resistencia (mayores a 40MPa o 407 kg/cm²), haciendo variar la relación de esbeltez desde 1.0 a 2.0
- Determinar la variación de la resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto liviano y pesado, con pesos unitarios secos menores a 2200 kg/m³ y pesos unitarios secos mayores a 2400 kg/m³, haciendo variar la relación de esbeltez desde 1.0 a 2.0.
- Evaluar la presente tesis con diferentes tipos de cemento y diferentes marcas de cemento, las cuales tienen diferentes comportamientos y usos.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Rivva López, E. 2000. Naturaleza y materiales del concreto. Lima-Perú. Hozlo S.C.R.L.
- Pasquel Carbajal, E. 1998. Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú. Colegio de Ingenieros del Perú – Consejo Nacional.
- Neville, A.M. y Brooks, J.J. 2013. Tecnología del Concreto. Editorial Trillas. México D.F.
- Kosmatka, Steven, y otros. 2004. Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Illinois, EE.UU. Portland Cement Association,
- Rivva López, E. 2004. Naturaleza y materiales del concreto. Lima-Perú. Hozlo S.C.R.L.
- Lange, David A. 1994. Long-Term Strength Development of Concrete (Desarrollo de la Resistencia del Concreto a Largo Plazo). USA: Portland Cement Association
- Rivera Lopez, G.A. 2013. Concreto Simple. Editorial Blume. Barcelona-España
- American Concrete Institute. Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-11)
- ASOCEM. 2013. Boletín informativo ASOCEM 2013. Catálogo de normas técnicas peruanas de agregados, hormigón (Concreto).
- CARDONA, B., GOMEZ, I. CIENCIA UANL / Vol. V, No. 2, Abril-Junio 2002.
- REGLAMENTO ACI 318
- ASTM C 150. ASTM International. 2012. USA: Especificaciones estándar para cementos portland,
- ASTM C 31M-08a. ASTM Internacional. 2008. USA: Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra
- ASTM C 39. ASTM International. 1999. USA: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto
- Norma Técnica Peruana NTP 339.033. INDECOPI. 2009. 3ra Edición, Lima, Perú: HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo.

- Norma Técnica Peruana NTP 339.088. INDECOPI. 1982. Lima, Perú: HORMIGON (CONCRETO). Agua para morteros y hormigones de cementos Portland. Requisitos
- Norma Técnica Peruana NTP 339.185. INDECOPI. 2002. 1ra edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido total de humedad evaporable en agregados por secado.
- Norma Técnica Peruana NTP 400.018. INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 um (200) por lavado en agregados.
- Norma Técnica Peruana NTP 400.021. INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para espeso específico y absorción del agregado grueso.
- Norma Técnica Peruana NTP 400.022. INDECOPI. 2002. 2a. ed., Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.
- Norma Técnica Peruana NTP 400.037. INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto).
- Norma técnica peruana NTP 400.043. INDECOPI. 2006. Lima, Perú: AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo.

ANEXO 01: Propiedades físico-mecánicas de los agregados

A) Ensayos del Análisis Granulométrico del Agregado Fino.

El ensayo de análisis granulométrico se realizó según lo estipulado en NTP 400.012, NTP 400.037/A.S.T.M.C -136.

Tabla 33. Análisis granulométrico del agregado fino de la muestra N° 01

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENINIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO NTP 400:037	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	140.00	10.00	10.00	90.00	89	100
N°8	2.36	171.00	12.21	22.21	77.79	65	100
N°16	1.18	180.00	12.86	35.07	64.93	45	100
N°30	0.60	240.00	17.14	52.21	47.79	25	80
N°50	0.30	332.00	23.71	75.93	24.07	5	48
N°100	0.15	229.00	16.36	92.29	7.71	0	12
N°200	0.075	98.00	7.00	99.29	0.71	0	0
CAZOLETA	--	10.00	0.71	100.00	0.00	0	0
Peso total de muestra		1400.00	Módulo de Finura			2.877	

Tabla 34. Análisis granulométrico del agregado fino de la muestra N° 02

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENINIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO NTP 400:037	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	119.00	8.50	8.50	91.50	89	100
N°8	2.36	197.00	14.07	22.57	77.43	65	100
N°16	1.18	220.00	15.71	38.29	61.71	45	100
N°30	0.60	313.00	22.36	60.64	39.36	25	80
N°50	0.30	234.00	16.71	77.36	22.64	5	48
N°100	0.15	230.00	16.43	93.79	6.21	0	12
N°200	0.075	73.00	5.21	99.00	1.00	0	0
CAZOLETA	--	14.00	1.00	100.00	0.00	0	0
Peso total de muestra		1400.00	Módulo de Finura			3.011	

B) Módulo de finura del Agregado Fino

De los tres ensayos granulométricos realizados para el agregado fino, sacamos un resumen el cual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 36. Módulo de finura del Agregado Fino

Módulo de finura	
Ensayo N° 01:	2.877
Ensayo N° 02:	3.011
Ensayo N° 03:	2.947
Promedio:	2.945

C) Ensayos del Análisis granulométrico del Agregado Grueso.

El ensayo de análisis granulométrico se realizó según la NTP 400.012, NTP 400.037 y A.S.T.M.C -136

Tabla 37. Análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra N° 01

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENINIDO		PORCENTAJE QUE PASA	"REQUISITO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO HUSO N° 67 A.S.T.M. C 33 M - 11"		
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)				
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	
3/4"	19.00	657.00	8.21	8.21	91.79	90	100	
1/2"	12.50	2576.00	32.20	40.41	59.59	45	70	
3/8"	9.50	2809.00	35.11	75.53	24.48	20	55	
N°4	4.75	1946.00	24.33	99.85	0.15	0	10	
N°8	2.36	0.00	0.00	99.85	0.15	0	5	
N°16	1.18	0.00	0.00	99.85	0.15	0	0	
N°30	0.60	0.00	0.00	99.85	0.15	0	0	
N°50	0.30	0.00	0.00	99.85	0.15	0	0	
N°100	0.15	0.00	0.00	99.85	0.15	0	0	
N°200	0.075	0.00	0.00	99.85	0.15	0	0	
CAZOLETA	--	12.00	0.15	100.00	0.00	0	0	
Peso total de muestra		8000.00	Módulo de Finura			6.828		

Tabla 38. . Análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra N°02

TAMIZ N°	ABERTUR A TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENINIDO		PORCENTAJE QUE PASA	"REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO HUSO N° 67 A.S.T.M. C 33 M - 11"	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULAD O (%)			
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	662.00	8.28	8.28	91.73	90	100
1/2"	12.50	2588.00	32.35	40.63	59.38	45	70
3/8"	9.50	2801.00	35.01	75.64	24.36	20	55
N°4	4.75	1942.00	24.28	99.91	0.09	0	10
N°8	2.36	0.00	0.00	99.91	0.09	0	5
N°16	1.18	0.00	0.00	99.91	0.09	0	0
N°30	0.60	0.00	0.00	99.91	0.09	0	0
N°50	0.30	0.00	0.00	99.91	0.09	0	0
N°100	0.15	0.00	0.00	99.91	0.09	0	0
N°200	0.075	0.00	0.00	99.91	0.09	0	0
CAZOLET A	--	7.00	0.09	100.00	0.00	0	0
Peso total de muestra		8000.00	Módulo de Finura			6.834	

Tabla 39. Análisis granulométrico del agregado grueso de la muestra N°03

TAMIZ N°	ABERTUR A TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENINIDO		PORCENTAJE QUE PASA	"REQUISITO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO HUSO N° 67 A.S.T.M. C 33 M - 11"	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.50	774.00	9.68	9.68	90.33	45	70
3/8"	9.50	2614.00	32.68	42.35	57.65	20	55
N°4	4.75	2913.00	36.41	78.76	21.24	0	10
N°8	2.36	1690.00	21.13	99.89	0.11	0	5
N°16	1.18	0.00	0.00	99.89	0.11	0	0
N°30	0.60	0.00	0.00	99.89	0.11	0	0
N°50	0.30	0.00	0.00	99.89	0.11	0	0
N°100	0.15	0.00	0.00	99.89	0.11	0	0
N°200	0.075	0.00	0.00	99.89	0.11	0	0
CAZOLET A	--	0.00	0.00	99.89	0.11	0	0
Peso total de muestra		8000.00	Módulo de Finura			6.878	

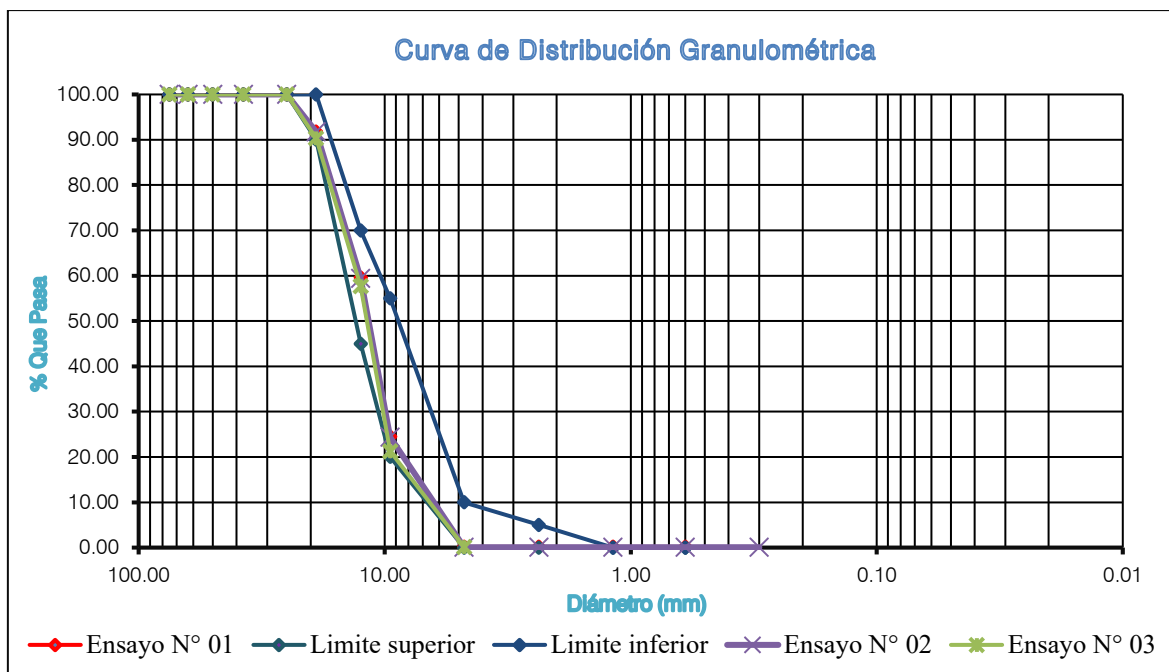


Figura 21. Requisito granulométrico del agregado grueso

Se observa en el gráfico de la figura 21 que la curva granulométrica del agregado grueso de la cantera Doña Ramona localizada en el cauce del río Condebamba, hacia el lado izquierdo de la progresiva Km. 1209 + 370 de la Carretera Longitudinal de la Sierra, cumple con el huso granulométrico N° 67 de la norma A.S.T.M. C 33 M - 11"

D) Módulo de finura del Agregado Grueso

De los tres ensayos granulométricos realizados para el agregado grueso, sacamos un resumen el cual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 40. Módulo de finura del Agregado Fino

Módulo de finura	
Ensayo N° 01:	6.828
Ensayo N° 02:	6.834
Ensayo N° 03:	6.878
Promedio:	6.845

E) Ensayos de peso unitario seco suelto y compactado, densidad del agua y cálculo del factor f del Agregado Fino.

El ensayo de peso unitario seco suelto, compactado y cálculo del factor f del Agregado Fino se realizó de acorde a la norma NTP 400.017, / ASTM C 29.

Tabla 41. *Peso específico del agua.*

ÍTEM	Ensayo - N°1	Ensayo - N°2	Ensayo - N°3
Peso de fiola + agua (g)	649.70	650.20	649.10
Peso de fiola (g)	151.30	151.00	151.20
Peso de agua (g)	498.40	499.2	497.9
Volumen fiola (cm ³)	500.00	500.00	500.00
Peso específico=W/V (g/cm ³)	0.9968	0.9984	0.9958
Promedio	997.0 Kg/m³		

Tabla 42. *Factor f del molde para el peso unitario del agregado fino.*

Cálculo del factor f	
Peso específico del agua (kg/m ³)	997.00
Peso del Cilindro (kg)	3.879
Peso del Cilindro + Agua (kg)	6.854
Peso Agua (Pagua)	2.975
f (1/m³)	335.13

Tabla 43. *Peso unitario seco suelto del agregado fino.*

ÍTEM	Ensayo - N°1	Ensayo - N°2	Ensayo - N°3
Peso del recipiente (kg)	3.879	3.879	3.879
Peso del recipiente + muestra (kg)	8.733	8.795	8.756
Peso de muestra (kg)	4.854	4.916	4.877
f (1/m ³)	335.13	335.13	335.13
PUSS (kg/m ³)	1627	1647	1634
Peso unitario seco suelto promedio (Kg/m³): 1636			

PUSS: Peso unitario seco suelto.

Tabla 44. *Peso unitario seco compactado o varillado del agregado fino.*

ÍTEM	Ensayo - N°1	Ensayo - N°2	Ensayo - N°3
Peso del recipiente (kg)	3.879	3.879	3.879
Peso del recipiente + muestra compactada (kg)	9.166	9.203	9.237
Peso de muestra (kg)	5.287	5.324	5.258
f (1/m ³)	335.13	335.13	335.13
PUSC (kg/m ³)	1772	1784	1796
Peso unitario seco suelto promedio (Kg/m³): 1784			

PUSC: Peso unitario seco compactado.

F) Peso unitario seco suelto, compactado y cálculo del factor f del agregado grueso

El ensayo de peso unitario seco suelto, compactado y cálculo del factor f del Agregado grueso se realizó de acorde a la norma NTP 400.017, NTP 400.037 / ASTM C -29/C 29

Tabla 45. Factor f del molde para el peso unitario del agregado grueso.

Cálculo del factor f	
Peso específico del agua (kg/m ³)	: 997.00
Peso del Cilindro (kg)	: 4.203
Peso del Cilindro + Agua (kg)	: 13.960
Peso Agua (Pagua)	: 9.757
f (1/m³)	: 102.18

Tabla 46. Peso unitario seco suelto del agregado Grueso

ÍTEM	Ensayo - N°1	Ensayo - N°2	Ensayo - N°3
Peso del recipiente (kg)	4.203	4.203	4.203
Peso del recipiente + muestra (kg)	17.420	17.467	17.379
Peso de muestra (kg)	13.217	13.264	13.176
f (1/m ³)	102.18	102.18	102.18
PUSS (kg/m ³)	1351	1355	1346
Peso unitario seco suelto promedio (Kg/m³): 1351			

Tabla 47. Peso unitario seco compactado o varillado del agregado Grueso

ÍTEM	Ensayo - N°1	Ensayo - N°2	Ensayo - N°3
Peso del recipiente (kg)	4.203	4.203	4.203
Peso del recipiente + muestra compactada (kg)	19.028	19.067	18.974
Peso de muestra (kg)	14.825	14.864	14.771
f (1/m ³)	102.18	102.18	102.18
PUSC (kg/m ³)	1515	1519	1509
Peso unitario seco suelto promedio (Kg/m³): 1514			

G) Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino y grueso

El ensayo de porcentaje que pasa la malla N° 200 de los agregados se realizó de acorde a la NTP 339.185/ ASTM.C -556

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

ÍTEM	Ensayo - N°1	Ensayo - N° 2	Ensayo - N°3
Peso seco de la muestra original (g)	500.00	500.00	500.00
Peso seco de la muestra lavada (g)	487.20	488.40	487.30
Peso de material que pasa el tamiz N° 200 (g)	12.80	11.60	12.70
% de material que pasa el tamiz N° 200	2.56 %	2.32 %	2.54 %
PROMEDIO:	2.47 %		

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

ÍTEM	Ensayo - N°1	Ensayo - N° 2	Ensayo - N°3
Peso seco de la muestra original (g)	3000.00	3000.00	3000.00
Peso seco de la muestra lavada (g)	2988.30	2989.20	2990.10
Peso de material que pasa el tamiz N° 200 (g)	11.70	10.80	9.90
% de material que pasa el tamiz N° 200	0.39 %	0.36 %	0.33 %
PROMEDIO:	0.36 %		

H) Peso específico y absorción del agregado Fino.

El ensayo de peso específico y absorción del agregado fino se realizó de acorde a la NTP 400.22/ASTM C-128.

Tabla 50. Peso específico del Agregado Fino.

ÍTEM	E - N°1	E -N°2	E - N°3
W Agregado SSS (g)	500.00	500.00	500.00
W Fiola. (g)	151.30	151.30	151.30
W Agregado + fiola (g)	649.70	649.70	649.70
W Fiola + agregado + agua (g)	962.00	962.30	962.50
WO=Peso en el aire de la muestra secada al horno (g)	494.10	493.80	493.60
V=Volumen del frasco (cm3)	500.00	500.00	500.00
Va=Peso en (g) o volumen del agua añadida al frasco (g)	310.70	311.00	311.20
a. Peso específico de masa $P_{em}=W_o/(V-V_a)$	2.610	2.613	2.614
b. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P_{sss}=500/(V-V_a)$	2.641	2.646	2.648
c. Peso específico aparente $P_{ea}=W_o/((V-V_a)-(500-W_o))$	2.694	2.701	2.706
d. Absorsión $Abs=((500-W_o)/W_o)*100$	1.194	1.255	1.297
Promedio Peso Específico de Masa (g/cm3) : 2.612			
Promedio Peso Específico de Masa sss (g/cm3): 2.645			
Promedio Peso Específico de Aparente (g/cm3): 2.701			
Promedio absorción(%): 1.248			

Sss: Saturado superficialmente seco; W: Peso

I) Contenido de humedad del agregado fino y grueso

El ensayo de contenido de humedad de los agregados se realizó de acorde a la NTP 339.185/ASTM C-535.

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

ÍTEM	Ensayo - N° 1	Ensayo - N°2	Ensayo - N° 3
Peso de tara	745.00	775.00	735.00
Peso de tara + muestra húmeda	5115.00	4314.00	5982.00
Peso de tara + muestra seca	4894.00	4130.00	5730.00
Contenido de humedad (%)	5.33	5.48	5.40
Promedio (W%):	5.405		

Tabla 52. *Contenido de humedad del agregado grueso*

ÍTEM	Ensayo - N°1	Ensayo - N°2	Ensayo - N° 3
Peso de tara	766.00	795.00	735.00
Peso de tara + muestra húmeda	5112.00	4965.00	5430.00
Peso de tara + muestra seca	5099.00	4850.00	5415.00
Contenido de humedad (%)	0.30	0.37	0.32
Promedio (W%):	0.33		

J) Peso específico y absorción del Agregado Grueso.

El ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso se realizó de acorde a la NTP 400.21/ASTM C-127.

Tabla 53. *Peso específico del Agregado Grueso.*

ÍTEM	N° 1	N° 2	N° 3
W Malla + grava sumergida (g)	4090.20	4088.90	4089.60
W Malla Sumergida (g)	2220.00	2220.00	2220.00
A=Peso en el aire de la muestra seca al horno (g)	2969.00	2966.00	2967.00
B=Peso en el aire de la muestra saturada superficie seca (g)	3000.00	3000.00	3000.00
C=Peso en el agua de la muestra saturada (g)	1870.20	1868.90	1869.60
a. Peso específico de masa $Pe=A/(B-C)$	2.628	2.622	2.625
b. Peso específico de masa saturado con superficie seca $Pesss=B/(B-C)$	2.655	2.652	2.654
c. Peso específico aparente $Pea=A/(A-C)$	2.702	2.703	2.704
d. Absorsion $Abs=((B-A)/A)*100$	1.044	1.146	1.112
Promedio Peso Específico de Masa (g/ cm³): 2.625			
Promedio Peso Específico de Masa sss (g/ cm³): 2.654			
Promedio Peso Específico de Aparente (g/ cm³): 2.703			
Promedio de la absorción (%): 1.101			

K) Desgaste a la abrasión.

El ensayo para determinar el desgaste a la abrasión se realizó según la NTP 400.017, NTP 400.0119 / ASTM C -131

Tabla 54. *Desgaste a la abrasión del agregado grueso.*

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./min)	N° de Revoluciones	Tamaño Máx. Nominal	Peso de la Muestra en (g)
A	Máquina de los Ángeles	12	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
N° DE ENSAYOS				1°	2°	3°
Peso Inicial de la muestra seca al horno (gr.)				5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)				3702	3695	3703
$\% \text{ Desg. } = ((P_i - P_f) / P_i) \times 100$				25.95	26.10	25.94
% Desg. Promedio				26.00		

ANEXO 02: Ensayo de resistencia a la compresión axial

Tabla 55. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.0, a la edad de 7 días

PROBERTAS CON L/D = 1.0															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm ²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	L/D	Factor
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D _(PROM)		H ₁	H ₂	H ₃	H _(PROM)				
1	M1.0 - 01	15.136	15.150	15.112	15.026	15.106	179.22	16.6	16.5	16.5	16.53	417.65	237.55	1.09	0.897
2	M1.0 - 02	15.008	14.944	14.932	15.112	14.999	176.69	15.8	15.9	15.7	15.80	410.15	236.62	1.05	0.901
3	M1.0 - 03	15.238	15.200	15.200	15.216	15.214	181.78	15.6	15.7	15.8	15.70	420.92	236.04	1.03	0.903
4	M1.0 - 04	15.272	15.254	15.216	15.220	15.241	182.43	16.5	16.3	16.3	16.37	429.22	239.84	1.07	0.888
5	M1.0 - 05	15.190	15.262	15.138	15.186	15.194	181.32	16.0	16.2	16.1	16.10	419.37	235.77	1.06	0.904
6	M1.0 - 06	15.173	15.187	15.201	15.177	15.185	181.09	16.4	16.2	16.7	16.42	428.12	240.99	1.08	0.884
7	M1.0 - 07	14.967	14.981	14.995	14.971	14.979	176.21	15.6	15.4	15.9	15.62	429.15	248.26	1.04	0.858
8	M1.0 - 08	15.223	15.237	15.251	15.227	15.235	182.28	15.4	15.2	15.7	15.42	423.19	236.66	1.01	0.900
9	M1.0 - 09	15.277	15.291	15.305	15.281	15.289	183.58	16.3	16.1	16.6	16.32	426.26	236.69	1.07	0.900
10	M1.0 - 10	15.285	15.299	15.313	15.289	15.297	183.77	15.8	15.6	16.1	15.82	433.73	240.59	1.03	0.886
11	M1.0 - 11	15.135	15.149	15.163	15.139	15.147	180.18	16.3	16.1	16.6	16.32	435.90	246.61	1.08	0.864
12	M1.0 - 12	14.955	14.969	14.983	14.959	14.967	175.93	15.7	15.5	16.0	15.72	423.12	245.17	1.05	0.869
13	M1.0 - 13	15.223	15.237	15.251	15.227	15.235	182.28	15.5	15.3	15.8	15.52	434.15	242.79	1.02	0.878
14	M1.0 - 14	15.239	15.253	15.267	15.243	15.251	182.67	16.1	15.9	16.4	16.12	428.19	238.95	1.06	0.892
15	M1.0 - 15	15.161	15.175	15.189	15.165	15.173	180.80	16.0	15.8	16.3	16.02	431.26	243.15	1.06	0.876
												PROMEDIO	240.38	1.05	0.887
												DES. EST	4.05	0.023	0.015
												COEF. DE VAR.	1.68%	2.21%	1.67%

Tabla 56. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.2, a la edad de 7 días

PROBERTAS CON L/D = 1.2															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm ²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	L/D	Factor
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D _(PROM)		H ₁	H ₂	H ₃	H _(PROM)				
1	M1.2 - 01	15.144	15.200	15.276	15.252	15.218	181.89	18.5	18.6	18.4	18.50	397.18	222.59	1.22	0.957
2	M1.2 - 02	15.072	15.182	15.038	15.166	15.115	179.42	18.7	18.6	18.5	18.60	403.08	229.00	1.23	0.931
3	M1.2 - 03	15.382	15.226	15.208	15.234	15.263	182.95	18.9	18.6	19.0	18.83	417.27	232.49	1.23	0.917
4	M1.2 - 04	15.160	15.062	15.100	15.100	15.106	179.21	19.0	18.8	19.0	18.93	405.58	230.70	1.25	0.924
5	M1.2 - 05	14.862	14.874	14.780	14.854	14.843	173.02	18.4	18.4	18.3	18.37	390.12	229.84	1.24	0.927
6	M1.2 - 06	15.189	15.178	15.184	15.291	15.210	181.70	18.4	18.3	18.5	18.37	411.54	230.88	1.21	0.923
7	M1.2 - 07	15.171	15.160	15.166	15.273	15.192	181.27	18.4	18.3	18.5	18.37	407.61	229.21	1.21	0.930
8	M1.2 - 08	15.215	15.204	15.210	15.317	15.236	182.32	18.4	18.3	18.5	18.37	399.13	223.15	1.21	0.955
9	M1.2 - 09	15.051	15.040	15.046	15.153	15.072	178.42	18.6	18.5	18.7	18.57	408.60	233.44	1.23	0.913
10	M1.2 - 10	14.863	14.852	14.858	14.965	14.884	174.00	18.2	18.1	18.3	18.17	415.46	243.40	1.22	0.876
11	M1.2 - 11	15.265	15.254	15.260	15.367	15.286	183.52	18.2	18.1	18.3	18.17	411.17	228.38	1.19	0.933
12	M1.2 - 12	15.027	15.016	15.022	15.129	15.048	177.85	18.3	18.2	18.4	18.27	414.61	237.63	1.21	0.897
13	M1.2 - 13	15.197	15.186	15.192	15.299	15.218	181.89	18.8	18.7	18.9	18.77	409.29	229.37	1.23	0.929
14	M1.2 - 14	15.089	15.078	15.084	15.191	15.110	179.32	18.8	18.7	18.9	18.77	408.08	231.98	1.24	0.919
15	M1.2 - 15	15.123	15.153	15.210	14.871	15.089	178.82	18.1	18.0	18.2	18.07	419.54	239.16	1.20	0.891
PROMEDIO												231.42	1.22	0.921	
DESV. EST												5.49	0.018	0.022	
COEF. DE VAR.												2.37%	1.47%	2.35%	

Tabla 57. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.4, a la edad de 7 días

PROBERTAS CON L/D = 1.4															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm ²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	L/D	Factor
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D _(PROM)		H ₁	H ₂	H ₃	H _(PROM)				
1	M1.4 - 01	14.864	15.182	15.060	15.124	15.058	178.07	21.6	21.6	21.6	21.60	427.06	244.47	1.43	0.872
2	M1.4 - 02	15.168	15.090	15.072	15.168	15.125	179.66	21.6	21.7	21.6	21.63	384.54	218.18	1.43	0.977
3	M1.4 - 03	15.098	15.188	14.938	14.976	15.050	177.89	21.5	21.2	21.4	21.37	400.10	229.26	1.42	0.929
4	M1.4 - 04	15.022	15.218	15.250	15.200	15.173	180.80	21.8	21.5	21.6	21.63	369.86	208.53	1.43	1.022
5	M1.4 - 05	15.168	15.170	15.100	15.176	15.154	180.35	21.2	21.5	21.6	21.43	407.05	230.07	1.41	0.926
6	M1.4 - 06	15.223	15.231	15.263	15.211	15.232	182.22	21.2	21.4	21.4	21.35	400.56	224.08	1.40	0.951
7	M1.4 - 07	15.162	15.170	15.206	15.154	15.173	180.81	21.3	21.5	21.5	21.45	396.63	223.61	1.41	0.953
8	M1.4 - 08	15.168	15.176	15.264	15.212	15.205	181.58	20.8	21.0	21.0	20.95	388.15	217.91	1.38	0.978
9	M1.4 - 09	15.058	15.066	15.163	15.111	15.099	179.07	21.1	21.3	21.3	21.25	397.62	226.35	1.41	0.941
10	M1.4 - 10	15.044	15.052	15.159	15.107	15.090	178.85	21.1	21.3	21.3	21.25	404.48	230.53	1.41	0.924
11	M1.4 - 11	15.198	15.206	15.189	15.164	15.189	181.20	21.2	21.4	21.4	21.35	400.19	225.13	1.41	0.947
12	M1.4 - 12	15.162	15.170	15.103	15.089	15.131	179.81	21.2	21.4	21.4	21.35	403.63	228.82	1.41	0.931
13	M1.4 - 13	15.280	15.000	15.164	15.088	15.133	179.86	21.0	21.2	21.2	21.15	398.31	225.74	1.40	0.944
14	M1.4 - 14	15.320	15.154	15.246	15.400	15.280	183.37	21.2	21.4	21.4	21.35	397.10	220.75	1.40	0.965
15	M1.4 - 15	15.170	15.004	15.231	15.172	15.144	180.13	21.2	21.4	21.4	21.35	418.56	236.87	1.41	0.900
PROMEDIO												226.02	1.41	0.944	
DESV. EST												8.39	0.014	0.035	
COEF. DE VAR.												3.71%	1.02%	3.71%	

Tabla 58. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.6, a la edad de 7 días

PROBERTAS CON L/D = 1.6															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm ²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	L/D	Factor
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D _(PROM)		H ₁	H ₂	H ₃	H _(PROM)				
1	M1.6 - 01	15.310	14.922	15.040	15.180	15.113	179.39	24.2	24.2	24.3	24.23	384.44	218.46	1.60	0.975
2	M1.6 - 02	15.118	15.300	15.147	15.114	15.170	180.74	24.9	24.6	24.8	24.77	390.88	220.46	1.63	0.967
3	M1.6 - 03	15.280	15.230	15.210	15.083	15.201	181.48	24.0	24.2	24.8	24.33	381.66	214.38	1.60	0.994
4	M1.6 - 04	15.214	15.166	15.189	15.080	15.162	180.56	24.8	24.5	24.6	24.63	386.09	217.97	1.62	0.978
5	M1.6 - 05	15.000	14.986	14.968	14.998	14.988	176.43	24.0	24.1	25.0	24.37	379.47	219.25	1.63	0.972
6	M1.6 - 06	15.257	15.236	15.223	15.231	15.237	182.34	24.3	24.2	24.4	24.30	397.47	222.21	1.59	0.959
7	M1.6 - 07	15.196	15.175	15.162	15.170	15.176	180.88	24.0	24.2	24.2	24.13	382.18	215.38	1.59	0.989
8	M1.6 - 08	15.202	15.181	15.168	15.176	15.182	181.02	24.1	24.0	24.2	24.10	390.10	219.67	1.59	0.970
9	M1.6 - 09	15.092	15.071	15.058	15.066	15.072	178.41	24.4	24.1	24.3	24.27	382.65	218.63	1.61	0.975
10	M1.6 - 10	15.078	15.057	15.044	15.052	15.058	178.08	24.1	24.2	24.4	24.23	383.05	219.27	1.61	0.972
11	M1.6 - 11	15.232	15.211	15.198	15.206	15.212	181.74	24.3	24.4	24.6	24.43	403.17	226.14	1.61	0.942
12	M1.6 - 12	15.196	15.175	15.162	15.170	15.176	180.88	25.0	25.1	25.3	25.13	379.00	213.59	1.66	0.998
13	M1.6 - 13	15.202	15.181	15.168	15.176	15.182	181.02	24.1	24.2	24.4	24.23	381.63	214.90	1.60	0.992
14	M1.6 - 14	15.092	15.071	15.058	15.066	15.072	178.41	24.9	25.0	25.2	25.03	387.60	221.46	1.66	0.962
15	M1.6 - 15	15.078	15.057	15.044	15.052	15.058	178.08	24.1	24.2	24.4	24.23	375.99	215.23	1.61	0.990
PROMEDIO												218.47	1.61	0.976	
DESV. EST												3.40	0.022	0.015	
COEF. DE VAR.												1.56%	1.38%	1.55%	

Tabla 59. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.8, a la edad de 7 días

PROBERTAS CON L/D = 1.8															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm²)	L/D	Factor
		D₁	D₂	D₃	D₄	D_(PROM)		H₁	H₂	H₃	H_(PROM)				
1	M1.8 - 01	15.160	15.300	15.252	15.314	15.257	182.81	27.9	27.0	27.8	27.57	393.34	219.33	1.81	0.972
2	M1.8 - 02	15.020	15.054	15.008	15.128	15.053	177.95	27.5	26.7	27.5	27.23	379.78	217.55	1.81	0.980
3	M1.8 - 03	15.066	15.160	15.158	15.078	15.116	179.45	27.5	26.5	27.3	27.10	380.56	216.18	1.79	0.986
4	M1.8 - 04	15.028	15.224	15.014	15.044	15.078	178.55	27.4	26.7	27.5	27.20	374.99	214.09	1.80	0.995
5	M1.8 - 05	15.100	14.962	15.084	15.046	15.048	177.85	27.5	26.5	27.3	27.10	382.37	219.16	1.80	0.972
6	M1.8 - 06	15.183	15.165	15.254	15.192	15.199	181.42	27.5	26.7	27.5	27.23	386.37	217.09	1.79	0.982
7	M1.8 - 07	15.043	15.025	15.114	15.052	15.059	178.10	27.6	26.6	27.4	27.20	398.01	227.81	1.81	0.935
8	M1.8 - 08	15.089	15.071	15.160	15.098	15.105	179.19	27.6	26.6	27.4	27.20	379.00	215.61	1.80	0.988
9	M1.8 - 09	15.051	15.033	15.122	15.060	15.067	178.28	27.5	26.5	27.3	27.10	381.55	218.16	1.80	0.977
10	M1.8 - 10	15.123	15.105	15.194	15.132	15.139	179.99	27.6	26.6	27.4	27.20	392.14	222.08	1.80	0.960
11	M1.8 - 11	15.205	15.187	15.236	15.214	15.211	181.71	28.0	27.0	27.8	27.60	385.07	216.02	1.81	0.986
12	M1.8 - 12	15.065	15.047	15.136	15.074	15.081	178.62	27.6	26.6	27.4	27.20	377.90	215.67	1.80	0.988
13	M1.8 - 13	15.111	15.093	15.182	15.120	15.127	179.71	27.6	26.6	27.4	27.20	390.53	221.52	1.80	0.962
14	M1.8 - 14	15.073	15.055	15.144	15.082	15.089	178.81	27.5	26.5	27.3	27.10	376.50	214.64	1.80	0.993
15	M1.8 - 15	15.145	15.127	15.216	15.154	15.161	180.52	27.6	26.6	27.4	27.20	364.89	206.05	1.79	1.034
												PROMEDIO	217.40	1.80	0.981
												DES. EST	4.72	0.006	0.021
												COEF. DE VAR.	2.17%	0.36%	2.18%

Tabla 60. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 2.0, a la edad de 7 días

PROBERTAS CON L/D = 2.0															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm ²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	L/D	Factor
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D _(PROM)		H ₁	H ₂	H ₃	H _(PROM)				
1	M2.0 - 01	15.130	15.068	14.860	15.148	15.052	177.93	30.0	30.1	30.0	30.03	376.06	215.45	2.00	0.989
2	M2.0 - 02	15.186	14.960	15.128	15.138	15.103	179.15	30.0	29.9	29.9	29.93	380.20	216.33	1.98	0.985
3	M2.0 - 03	15.280	15.000	15.164	15.088	15.133	179.86	30.0	29.9	30.0	29.97	405.53	229.83	1.98	0.927
4	M2.0 - 04	15.320	15.154	15.246	15.400	15.280	183.37	30.4	30.1	30.3	30.27	400.42	222.59	1.98	0.957
5	M2.0 - 05	15.170	15.004	15.231	15.172	15.144	180.13	30.1	30.1	30.2	30.13	365.74	206.98	1.99	1.030
6	M2.0 - 06	15.189	15.212	15.160	15.186	15.187	181.14	29.8	29.8	30.0	29.87	372.15	209.43	1.97	1.018
7	M2.0 - 07	15.213	15.236	15.184	15.210	15.211	181.72	30.1	30.0	30.0	30.03	377.23	211.61	1.97	1.007
8	M2.0 - 08	15.235	15.258	15.206	15.232	15.233	182.24	30.1	29.8	30.0	29.97	382.15	213.76	1.97	0.997
9	M2.0 - 09	15.240	15.263	15.211	15.237	15.238	182.36	30.1	31.8	32.0	31.30	382.20	213.64	2.05	0.997
10	M2.0 - 10	15.183	15.206	15.154	15.180	15.181	181.00	32.1	29.9	30.1	30.70	361.54	203.62	2.02	1.047
11	M2.0 - 11	15.241	15.264	15.212	15.238	15.239	182.38	30.2	29.8	30.0	30.00	372.54	208.22	1.97	1.023
12	M2.0 - 12	15.140	15.163	15.111	15.137	15.138	179.98	30.1	29.8	30.0	29.97	373.87	211.76	1.98	1.006
13	M2.0 - 13	15.136	15.159	15.107	15.133	15.134	179.88	30.1	29.8	30.0	29.97	370.91	210.19	1.98	1.014
14	M2.0 - 14	15.152	15.175	15.123	15.149	15.150	180.26	30.1	31.3	31.1	30.83	375.64	212.42	2.04	1.003
15	M2.0 - 15	15.234	15.257	15.205	15.231	15.232	182.22	32.1	29.9	30.1	30.70	376.47	210.61	2.02	1.012
PROMEDIO												213.10	1.993	1.001	
DESV. EST												6.39	0.027	0.029	
COEF. DE VAR.												3.00%	1.34%	2.90%	

Tabla 61. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.0, a la edad de 28 días

PROBERTAS CON L/D=1.0															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm²)	L/D	Factor
		D₁	D₂	D₃	D₄	D_(PROM)		H₁	H₂	H₃	H_(PROM)				
1	M1.0 - 01	15.013	15.023	15.018	15.038	15.023	177.26	16.4	16.3	16.4	16.37	555.97	319.73	1.09	0.908
2	M1.0 - 02	15.001	15.011	15.006	15.026	15.011	176.97	15.5	15.5	15.6	15.53	568.47	327.44	1.03	0.887
3	M1.0 - 03	15.115	15.125	15.120	15.140	15.125	179.67	15.2	15.3	15.4	15.30	559.24	317.28	1.01	0.915
4	M1.0 - 04	15.149	15.159	15.154	15.174	15.159	180.48	15.6	15.5	15.6	15.57	577.54	326.20	1.03	0.890
5	M1.0 - 05	15.067	15.077	15.072	15.092	15.077	178.53	15.8	15.7	15.8	15.77	597.69	341.26	1.05	0.851
6	M1.0 - 06	15.050	15.060	15.055	15.075	15.060	178.13	15.7	15.5	14.5	15.23	579.08	331.38	1.01	0.876
7	M1.0 - 07	15.213	15.223	15.218	15.238	15.223	182.01	15.5	15.3	15.4	15.37	560.11	313.70	1.01	0.925
8	M1.0 - 08	15.100	15.110	15.105	15.125	15.110	179.32	15.0	15.1	15.2	15.07	574.15	326.39	1.00	0.889
9	M1.0 - 09	15.154	15.164	15.159	15.179	15.164	180.60	15.0	15.2	15.1	15.10	577.22	325.80	1.00	0.891
10	M1.0 - 10	15.162	15.172	15.167	15.187	15.172	180.79	15.5	15.5	15.6	15.50	584.69	329.67	1.02	0.881
11	M1.0 - 11	15.012	15.022	15.017	15.037	15.022	177.23	15.4	15.3	15.3	15.33	566.86	326.03	1.02	0.890
12	M1.0 - 12	15.108	15.118	15.113	15.133	15.118	179.51	15.7	15.4	15.5	15.50	574.08	326.01	1.03	0.891
13	M1.0 - 13	15.100	15.110	15.105	15.125	15.110	179.32	15.0	15.2	15.2	15.10	585.11	332.62	1.00	0.873
14	M1.0 - 14	15.116	15.126	15.121	15.141	15.126	179.70	15.6	15.8	15.9	15.72	569.15	322.86	1.04	0.899
15	M1.0 - 15	15.038	15.048	15.043	15.063	15.048	177.85	15.4	15.4	15.3	15.37	582.22	333.71	1.02	0.870
PROMEDIO												326.67	1.02	0.889	
DESV. EST												6.82	0.024	0.019	
COEF. DE VAR.												2.09%	2.30%	2.09%	

Tabla 62. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.2, a la edad de 28 días

PROBERTAS CON L/D=1.2															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm ²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	L/D	Factor
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D _(PROM)		H ₁	H ₂	H ₃	H _(PROM)				
1	M1.2 - 01	15.229	15.209	15.217	15.205	15.215	181.82	18.4	18.6	18.5	18.50	556.10	311.78	1.22	0.931
2	M1.2 - 02	15.004	14.984	14.992	15.047	15.007	176.87	18.6	18.8	18.8	18.73	562.00	323.89	1.25	0.896
3	M1.2 - 03	15.161	15.141	15.149	15.217	15.167	180.67	18.8	19.0	18.6	18.80	576.19	325.09	1.24	0.893
4	M1.2 - 04	15.053	15.033	15.041	15.109	15.059	178.11	18.9	19.1	19.0	19.00	564.50	323.08	1.26	0.899
5	M1.2 - 05	15.133	15.113	15.121	15.185	15.138	179.98	18.3	18.5	18.3	18.37	549.04	310.96	1.21	0.934
6	M1.2 - 06	15.137	15.117	15.125	15.193	15.143	180.09	18.3	18.5	18.4	18.38	570.46	322.90	1.21	0.899
7	M1.2 - 07	15.119	15.099	15.107	15.175	15.125	179.66	18.3	18.5	18.5	18.41	566.53	321.44	1.22	0.903
8	M1.2 - 08	15.163	15.143	15.151	15.219	15.169	180.71	18.3	18.5	18.4	18.38	548.08	309.17	1.21	0.939
9	M1.2 - 09	15.023	15.003	15.011	15.055	15.023	177.25	18.5	18.7	18.4	18.51	567.52	326.37	1.23	0.889
10	M1.2 - 10	15.142	15.122	15.130	15.153	15.137	179.95	18.1	18.3	18.1	18.15	574.38	325.37	1.20	0.892
11	M1.2 - 11	15.213	15.193	15.201	15.269	15.219	181.90	18.1	18.3	18.0	18.11	540.09	302.67	1.19	0.959
12	M1.2 - 12	15.156	15.136	15.144	15.031	15.117	179.47	18.2	18.4	18.3	18.28	573.53	325.75	1.21	0.891
13	M1.2 - 13	15.145	15.125	15.133	15.201	15.151	180.28	18.7	18.9	18.7	18.75	558.21	315.63	1.24	0.920
14	M1.2 - 14	15.037	15.017	15.025	15.093	15.043	177.72	18.7	18.9	18.6	18.71	567.00	325.23	1.24	0.893
15	M1.2 - 15	15.163	15.143	15.151	15.219	15.169	180.72	18.0	18.2	18.2	18.11	578.46	326.29	1.19	0.890
												PROMEDIO	319.71	1.22	0.909
												DESV. EST	7.63	0.021	0.022
												COEF. DE VAR.	2.39%	1.72%	2.44%

Tabla 63. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.4, a la edad de 28 días

PROBERTAS CON L/D=1.4															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm²)	L/D	Factor
		D₁	D₂	D₃	D₄	D_(PROM)		H₁	H₂	H₃	H_(PROM)				
1	M1.4 - 01	15.213	15.283	15.276	15.255	15.257	182.82	21.5	21.6	21.6	21.57	547.23	305.13	1.41	0.951
2	M1.4 - 02	15.201	15.271	15.264	15.243	15.245	182.53	21.4	21.3	21.5	21.40	535.63	299.13	1.40	0.970
3	M1.4 - 03	15.023	15.093	15.086	15.065	15.067	178.29	21.6	21.5	21.5	21.53	528.01	301.89	1.43	0.962
4	M1.4 - 04	15.189	15.259	15.252	15.231	15.233	182.24	21.5	21.4	21.4	21.43	560.86	313.72	1.41	0.925
5	M1.4 - 05	15.217	15.287	15.280	15.259	15.261	182.91	21.5	21.6	21.6	21.57	527.05	293.73	1.41	0.988
6	M1.4 - 06	15.047	15.117	15.110	15.089	15.091	178.86	21.2	21.1	21.1	21.13	530.03	302.08	1.40	0.961
7	M1.4 - 07	15.009	15.079	15.072	15.051	15.053	177.96	21.3	21.2	21.2	21.23	540.42	309.56	1.41	0.938
8	M1.4 - 08	15.210	15.280	15.273	15.252	15.254	182.74	21.7	21.5	21.6	21.60	531.94	296.72	1.42	0.978
9	M1.4 - 09	15.200	15.270	15.263	15.242	15.244	182.50	21.1	20.9	21.3	21.10	541.41	302.40	1.38	0.960
10	M1.4 - 10	15.271	15.341	15.334	15.313	15.315	184.21	21.3	21.1	21.2	21.20	548.27	303.40	1.38	0.957
11	M1.4 - 11	15.120	15.190	15.183	15.162	15.164	180.59	21.3	21.1	21.2	21.20	543.98	307.05	1.40	0.945
12	M1.4 - 12	15.189	15.259	15.252	15.231	15.233	182.24	21.4	21.2	21.3	21.30	547.42	306.20	1.40	0.948
13	M1.4 - 13	15.170	15.240	15.233	15.212	15.214	181.79	21.5	21.3	21.2	21.33	542.10	303.98	1.40	0.955
14	M1.4 - 14	15.152	15.222	15.215	15.194	15.196	181.36	21.4	21.2	21.3	21.30	540.89	304.02	1.40	0.955
15	M1.4 - 15	15.246	15.216	15.209	15.188	15.215	181.81	21.6	21.4	21.4	21.47	562.35	315.30	1.41	0.921
PROMEDIO												304.29	1.40	0.954	
DESV. EST												5.73	0.012	0.018	
COEF. DE VAR.												1.88%	0.83%	1.88%	

Tabla 64. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.6, a la edad de 28 días

PROBERTAS CON L/D=1.6															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm²)	L/D	Factor
		D₁	D₂	D₃	D₄	D_(PROM)		H₁	H₂	H₃	H_(PROM)				
1	M1.6 - 01	15.292	15.303	15.320	15.296	15.303	183.92	24.2	24.2	24.3	24.23	528.12	292.71	1.58	0.992
2	M1.6 - 02	15.100	15.111	15.128	15.104	15.111	179.33	24.9	24.6	24.8	24.77	532.26	302.55	1.64	0.960
3	M1.6 - 03	15.262	15.273	15.290	15.266	15.273	183.20	24.0	24.2	24.8	24.33	547.01	304.37	1.59	0.954
4	M1.6 - 04	15.196	15.207	15.224	15.200	15.207	181.62	24.8	24.5	24.6	24.63	552.48	310.09	1.62	0.936
5	M1.6 - 05	14.982	14.993	15.010	14.986	14.993	176.54	24.0	24.1	25.0	24.37	517.80	298.98	1.63	0.971
6	M1.6 - 06	15.239	15.250	15.267	15.243	15.250	182.65	24.3	24.2	24.4	24.30	524.21	292.56	1.59	0.992
7	M1.6 - 07	15.178	15.189	15.206	15.182	15.189	181.19	24.0	24.2	24.2	24.13	529.29	297.78	1.59	0.975
8	M1.6 - 08	15.184	15.195	15.212	15.188	15.195	181.33	24.1	24.0	24.2	24.10	534.21	300.31	1.59	0.967
9	M1.6 - 09	15.074	15.085	15.102	15.078	15.085	178.72	24.4	24.1	24.3	24.27	514.26	293.32	1.61	0.990
10	M1.6 - 10	15.060	15.071	15.088	15.064	15.071	178.39	24.1	24.2	24.4	24.23	503.60	287.78	1.61	1.009
11	M1.6 - 11	15.214	15.225	15.242	15.218	15.225	182.05	24.3	24.4	24.6	24.43	524.60	293.74	1.60	0.988
12	M1.6 - 12	15.178	15.189	15.206	15.182	15.189	181.19	25.0	25.1	25.3	25.13	525.93	295.89	1.65	0.981
13	M1.6 - 13	15.184	15.195	15.212	15.188	15.195	181.33	24.1	24.2	24.4	24.23	512.71	288.22	1.59	1.007
14	M1.6 - 14	15.074	15.085	15.102	15.078	15.085	178.72	24.9	25.0	25.2	25.03	527.70	300.99	1.66	0.965
15	M1.6 - 15	15.060	15.071	15.088	15.064	15.071	178.39	24.1	24.2	24.4	24.23	535.47	305.99	1.61	0.949
												PROMEDIO	297.68	1.61	0.976
												DESV. EST	6.48	0.024	0.021
												COEF. DE VAR.	2.18%	1.50%	2.17%

Tabla 65. Resistencia a compresión axial de especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 1.8, a la edad de 28 días

PROBERTAS CON L/D=1.8															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm²)	L/D	Factor
		D₁	D₂	D₃	D₄	D_(PROM)		H₁	H₂	H₃	H_(PROM)				
1	M1.8 - 01	15.172	15.141	15.188	15.177	15.170	180.73	27.4	27.4	27.3	27.35	521.05	293.89	1.80	0.988
2	M1.8 - 02	15.032	15.001	15.048	15.037	15.030	177.41	27.4	27.4	27.3	27.35	505.89	290.68	1.82	0.999
3	M1.8 - 03	15.078	15.047	15.094	15.083	15.076	178.50	27.3	27.3	27.2	27.25	550.52	314.39	1.81	0.923
4	M1.8 - 04	15.040	15.009	15.056	15.045	15.038	177.60	27.4	27.4	27.3	27.35	545.41	313.05	1.82	0.927
5	M1.8 - 05	15.112	15.081	15.128	15.117	15.110	179.30	27.4	27.4	27.3	27.35	510.73	290.36	1.81	1.000
6	M1.8 - 06	15.195	15.164	15.211	15.200	15.193	181.28	27.4	27.5	27.4	27.44	500.14	281.24	1.81	1.032
7	M1.8 - 07	15.055	15.024	15.071	15.060	15.053	177.95	27.4	27.5	27.4	27.44	530.22	303.72	1.82	0.956
8	M1.8 - 08	15.101	15.070	15.117	15.106	15.099	179.04	27.3	27.4	27.3	27.34	527.14	300.12	1.81	0.967
9	M1.8 - 09	15.063	15.032	15.079	15.068	15.061	178.14	27.4	27.5	27.4	27.44	502.12	287.32	1.82	1.010
10	M1.8 - 10	15.135	15.104	15.151	15.140	15.133	179.85	27.8	27.9	27.8	27.84	516.53	292.76	1.84	0.992
11	M1.8 - 11	15.217	15.186	15.233	15.222	15.215	181.80	27.4	27.5	27.4	27.44	537.13	301.17	1.80	0.964
12	M1.8 - 12	15.077	15.046	15.093	15.082	15.075	178.47	27.4	27.5	27.4	27.44	538.86	307.77	1.82	0.943
13	M1.8 - 13	15.123	15.092	15.139	15.128	15.121	179.57	27.3	27.4	27.3	27.34	505.90	287.19	1.81	1.011
14	M1.8 - 14	15.085	15.054	15.101	15.090	15.083	178.66	27.4	27.5	27.4	27.44	520.63	297.05	1.82	0.977
15	M1.8 - 15	15.157	15.126	15.173	15.162	15.155	180.37	27.6	26.4	26.3	26.75	518.46	293.00	1.77	0.991
PROMEDIO												296.91	1.81	0.979	
DESV. EST												9.69	0.016	0.032	
COEF. DE VAR.												3.26%	0.89%	3.23%	

Tabla 66. Resistencia a compresión axial de Especímenes cilíndricos elaborados para una relación de esbeltez cercana o igual a 2.0, a la edad de 28 días

PROBERTAS CON L/D=2.0															
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	DIAMETRO (cm)					AREA (cm ²)	ALTURA (cm)				CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	L/D	Factor
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D _(PROM)		H ₁	H ₂	H ₃	H _(PROM)				
1	M2.0 - 01	15.134	15.123	15.144	15.092	15.123	179.63	30.2	30.3	30.1	30.20	511.19	290.09	2.00	1.001
2	M2.0 - 02	15.224	15.213	15.234	15.182	15.213	181.77	30.4	30.2	30.2	30.27	515.33	288.99	1.99	1.005
3	M2.0 - 03	15.175	15.164	15.185	15.133	15.164	180.61	30.3	30.4	30.2	30.30	540.66	305.16	2.00	0.951
4	M2.0 - 04	15.225	15.214	15.235	15.183	15.214	181.80	30.2	30.3	30.2	30.23	535.55	300.29	1.99	0.967
5	M2.0 - 05	15.092	15.081	15.102	15.050	15.081	178.63	29.8	29.9	30.0	29.90	500.87	285.82	1.98	1.016
6	M2.0 - 06	15.123	15.112	15.133	15.081	15.112	179.37	29.9	30.0	30.0	29.97	507.28	288.29	1.98	1.007
7	M2.0 - 07	15.138	15.127	15.148	15.096	15.127	179.73	30.1	30.2	30.0	30.10	512.36	290.60	1.99	0.999
8	M2.0 - 08	15.230	15.219	15.240	15.188	15.219	181.92	30.2	30.3	32.0	30.83	517.28	289.85	2.03	1.002
9	M2.0 - 09	15.258	15.247	15.268	15.216	15.247	182.59	30.2	30.3	30.1	30.20	517.33	288.82	1.98	1.005
10	M2.0 - 10	15.157	15.146	15.167	15.115	15.146	180.18	30.3	30.4	30.0	30.23	506.67	286.65	2.00	1.013
11	M2.0 - 11	15.221	15.210	15.231	15.179	15.210	181.70	30.1	30.2	30.0	30.10	507.67	284.81	1.98	1.019
12	M2.0 - 12	15.113	15.102	15.123	15.071	15.102	179.13	30.0	30.1	30.0	30.03	509.00	289.65	1.99	1.002
13	M2.0 - 13	15.151	15.140	15.161	15.109	15.140	180.03	30.4	30.5	31.1	30.67	506.04	286.52	2.03	1.013
14	M2.0 - 14	15.160	15.149	15.170	15.118	15.149	180.25	29.9	30.0	30.1	30.00	510.77	288.86	1.98	1.005
15	M2.0 - 15	15.092	15.081	15.102	15.050	15.081	178.63	30.1	30.2	30.2	30.17	508.60	290.23	2.00	1.000
												PROMEDIO	290.31	1.994	1.000
												DESV. EST	5.41	0.015	0.018
												COEF. DE VAR.	1.86%	0.74%	1.80%

ANEXO 03: Cálculos, Resultados y Gráfica Esfuerzo – Deformación

Código del espécimen : **M 2.0 - 01**
 Edad : **28 días**
 Diámetro (cm) : **15.123**
 Altura (mm) : **302**

Tabla 67. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 01

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.08	0.26	11.35
40.00	0.09	0.30	22.70
60.00	0.12	0.40	34.05
80.00	0.16	0.53	45.40
100.00	0.18	0.60	56.75
120.00	0.21	0.70	68.10
140.00	0.24	0.79	79.45
160.00	0.28	0.93	90.80
180.00	0.30	0.99	102.15
200.00	0.34	1.13	113.50
220.00	0.36	1.19	124.85
240.00	0.39	1.29	136.20
260.00	0.42	1.39	147.55
280.00	0.46	1.52	158.90
300.00	0.49	1.62	170.25
320.00	0.55	1.82	181.60
340.00	0.59	1.95	192.95
360.00	0.62	2.05	204.30
380.00	0.68	2.25	215.65
400.00	0.74	2.45	227.00
420.00	0.78	2.58	238.35
440.00	0.85	2.81	249.70
460.00	0.92	3.05	261.05
480.00	1.20	3.97	272.40
500.00	1.35	4.47	283.75
511.19	1.58	5.23	290.10
480.00	1.74	5.76	272.40
400.00	2.00	6.62	227.07

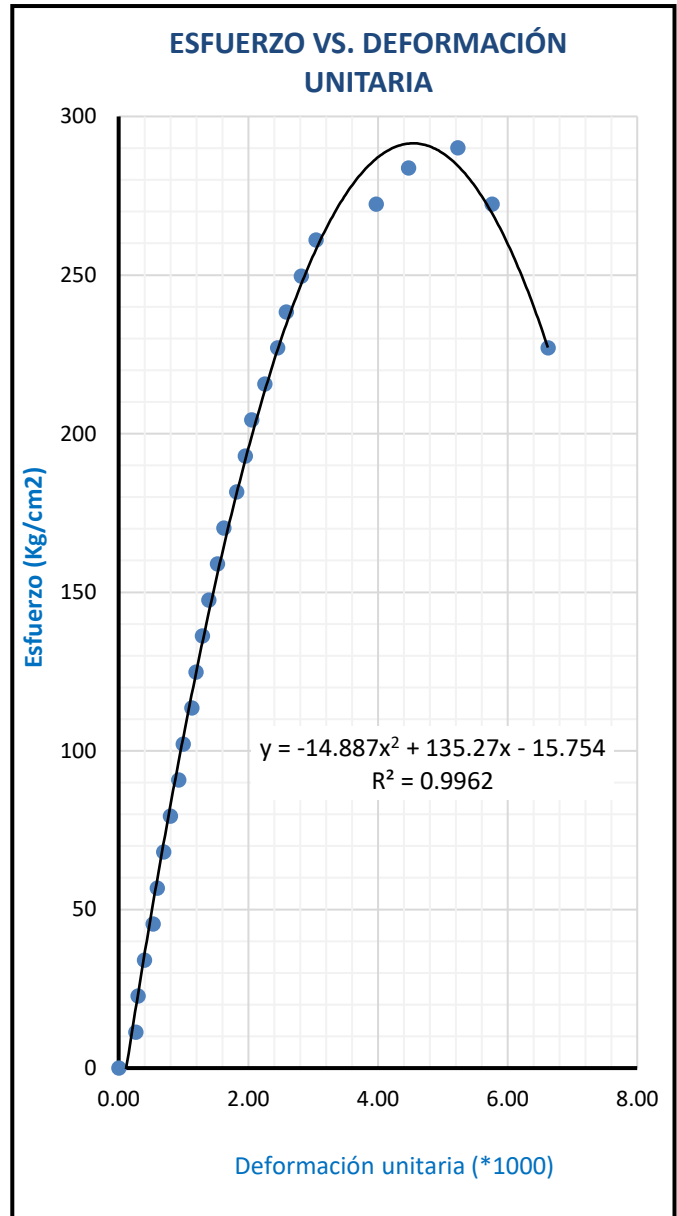


Figura 22. Grafica N°1, deformación unitaria VS. Esfuerzo

De la gráfica se obtiene:

Esfuerzo de rotura : **290.10 Kg/cm²**
 Esfuerzo de rotura corregido : **281.84 Kg/cm²**
 Módulo de elasticidad : **251822.50 Kg/cm²**

DESARROLLO DE LA GRAFICA

- *0 a 261.05 kg/cm² – zona elástica.
- *261.05 a 272.40 kg/cm² – meseta de fluencia.
- *272.40 a 290.10 kg/cm² – zona de endurecimiento.
- *290.10 a 227.07 kg/cm² – zona de estricción.

Código del espécimen : **M 2.0 - 02**
 Edad : **28 días**
 Diámetro (cm) : **15.213**
 Altura (mm) : **302.7**

Tabla 68. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 02

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.06	0.20	11.22
40.00	0.09	0.30	22.43
60.00	0.12	0.40	33.65
80.00	0.15	0.50	44.86
100.00	0.18	0.59	56.08
120.00	0.22	0.73	67.30
140.00	0.25	0.83	78.51
160.00	0.29	0.96	89.73
180.00	0.31	1.02	100.94
200.00	0.34	1.12	112.16
220.00	0.36	1.19	123.38
240.00	0.42	1.39	134.59
260.00	0.46	1.52	145.81
280.00	0.49	1.62	157.03
300.00	0.51	1.68	168.24
320.00	0.58	1.92	179.46
340.00	0.62	2.05	190.67
360.00	0.68	2.25	201.89
380.00	0.75	2.48	213.11
400.00	0.80	2.64	224.32
420.00	0.85	2.81	235.54
440.00	0.95	3.14	246.75
460.00	1.05	3.47	257.97
480.00	1.16	3.83	269.19
500.00	1.35	4.46	280.40
515.33	1.60	5.29	289.00
475.00	1.81	5.98	266.38
410.00	2.13	7.04	229.93

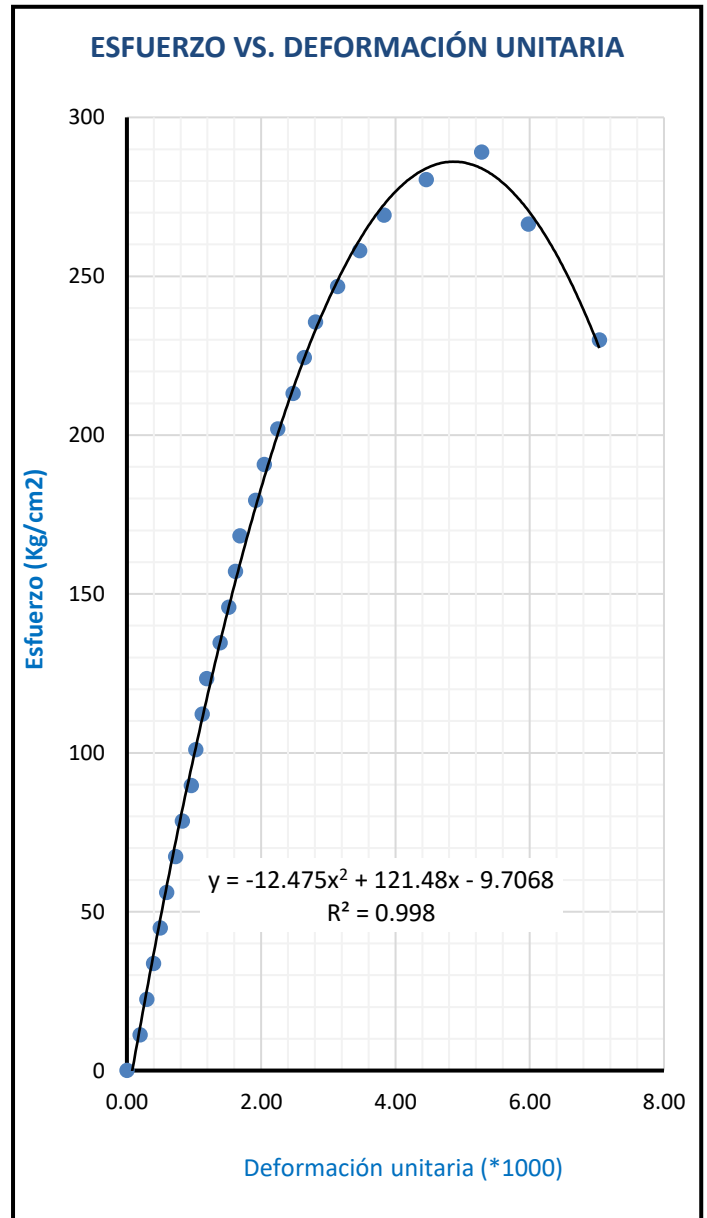


Figura 23. Grafica N°2, deformación unitaria VS. Esfuerzo

De la gráfica se obtiene:

Esfuerzo de rotura : **289.00 Kg/cm²**
 Esfuerzo de rotura corregido : **282.95 Kg/cm²**
 Módulo de elasticidad : **252315.05 Kg/cm²**

DESARROLLO DE LA GRAFICA

- *0 a 235.54 kg/cm² – zona elástica.
- *235.54 a 246.75 kg/cm² – meseta de fluencia.
- *246.75 a 289.00 kg/cm² – zona de endurecimiento.
- *289.00 a 229.93 kg/cm² – zona de estricción.

Código del espécimen : **M 2.0 - 03**
 Edad : **28 días**
 Diámetro (cm) : **15.164**
 Altura (mm) : **303**

Tabla 69. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 03

Carga (kN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.10	0.33	11.29
40.00	0.15	0.50	22.58
60.00	0.25	0.83	33.87
80.00	0.30	0.99	45.15
100.00	0.35	1.16	56.44
120.00	0.40	1.32	67.73
140.00	0.45	1.49	79.02
160.00	0.47	1.55	90.31
180.00	0.49	1.62	101.60
200.00	0.50	1.65	112.89
220.00	0.52	1.72	124.18
240.00	0.55	1.82	135.46
260.00	0.60	1.98	146.75
280.00	0.62	2.05	158.04
300.00	0.70	2.31	169.33
320.00	0.72	2.38	180.62
340.00	0.79	2.61	191.91
360.00	0.82	2.71	203.20
380.00	0.90	2.97	214.49
400.00	0.95	3.14	225.77
420.00	0.99	3.27	237.06
440.00	1.10	3.63	248.35
460.00	1.20	3.96	259.64
480.00	1.25	4.13	270.93
500.00	1.35	4.46	282.22
520.00	1.49	4.92	293.51
540.00	1.65	5.45	304.79
540.66	1.82	6.01	305.17
521.00	1.99	6.57	294.07
470.00	2.02	6.67	265.28

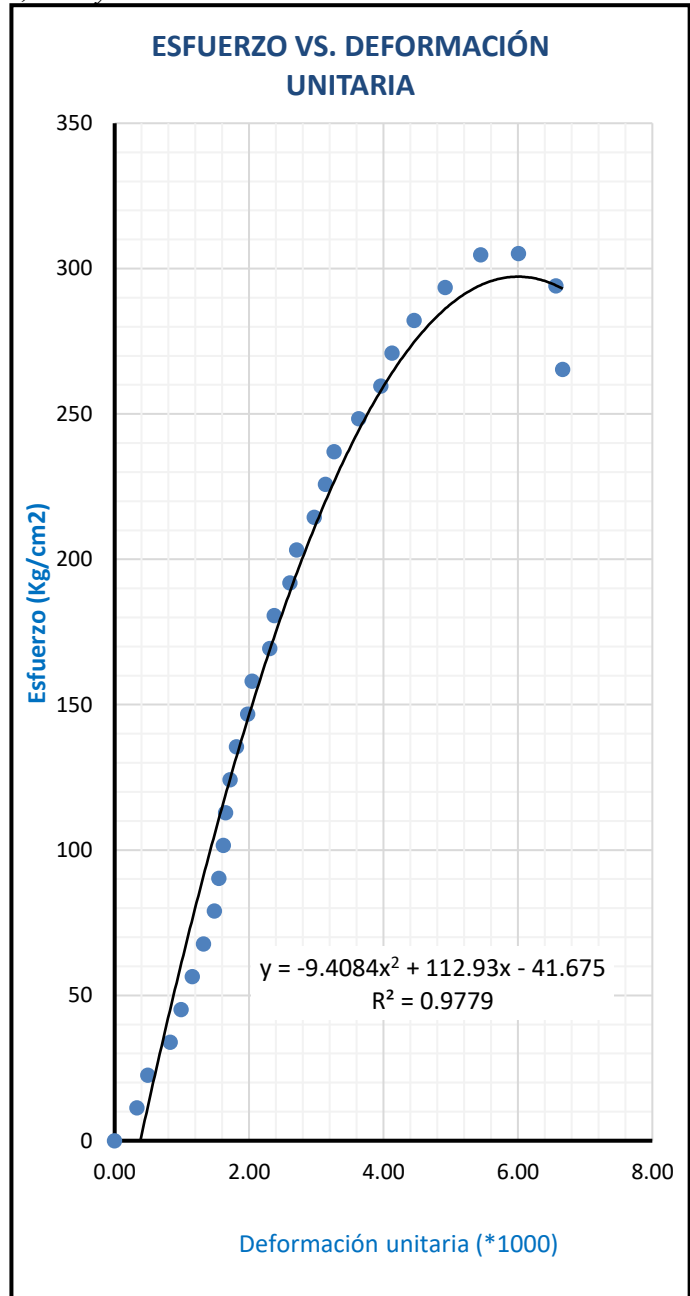


Figura 24. Grafica N°3, deformación unitaria VS. Esfuerzo

De la gráfica se obtiene:

Esfuerzo de rotura : **305.17 Kg/cm²**
 Esfuerzo de rotura corregido : **295.80 Kg/cm²**
 Módulo de elasticidad : **257982.32 Kg/cm²**

DESARROLLO DE LA GRAFICA
 *0 a 237.06 kg/cm² – zona elástica.
 *237.06 a 248.35 kg/cm² – meseta de fluencia.
 *248.35 a 305.17 kg/cm² – zona de endurecimiento.
 *305.17 a 265.28 kg/cm² – zona de estricción.

Código del espécimen : **M 2.0 - 04**
 Edad : **28 días**
 Diámetro (cm) : **15.214**
 Altura (mm) : **302.3**

Tabla 70. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 04

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.06	0.20	11.21
40.00	0.09	0.30	22.43
60.00	0.15	0.50	33.64
80.00	0.19	0.63	44.86
100.00	0.21	0.69	56.07
120.00	0.24	0.79	67.29
140.00	0.28	0.93	78.50
160.00	0.34	1.12	89.72
180.00	0.38	1.26	100.93
200.00	0.42	1.39	112.15
220.00	0.44	1.46	123.36
240.00	0.49	1.62	134.58
260.00	0.50	1.65	145.79
280.00	0.52	1.72	157.00
300.00	0.58	1.92	168.22
320.00	0.62	2.05	179.43
340.00	0.68	2.25	190.65
360.00	0.72	2.38	201.86
380.00	0.76	2.51	213.08
400.00	0.79	2.61	224.29
420.00	0.82	2.71	235.51
440.00	0.85	2.81	246.72
460.00	0.92	3.04	257.94
480.00	0.99	3.27	269.15
500.00	1.01	3.34	280.37
520.00	1.21	4.00	291.58
535.55	1.55	5.13	300.30
500.00	1.62	5.36	280.37
465.00	1.86	6.15	260.74

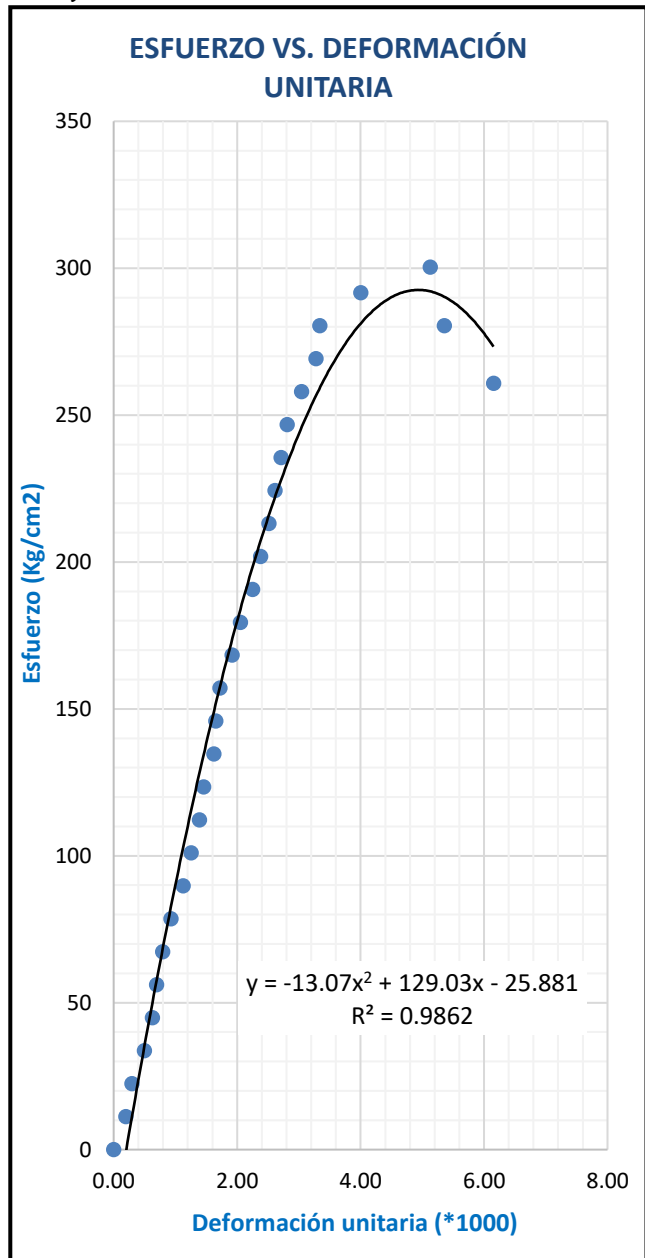


Figura 25. Grafica N°4, deformación unitaria VS. Esfuerzo

De la gráfica se obtiene:

Esfuerzo de rotura : **300.30 Kg/cm²**
 Esfuerzo de rotura corregido : **290.52 Kg/cm²**
 Módulo de elasticidad : **255670.58 Kg/cm²**

DESARROLLO DE LA GRAFICA

- *0 a 246.72 kg/cm² – zona elástica.
- *246.72 a 269.15 kg/cm² – meseta de fluencia.
- *269.15 a 300.30 kg/cm² – zona de endurecimiento.
- *300.30 a 260.74 kg/cm² – zona de estricción.

Código del espécimen : **M 2.0 - 05**
 Edad : **28 días**
 Diámetro (cm) : **15.081**
 Altura (mm) : **299**

Tabla 71. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 05

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.05	0.17	11.41
40.00	0.08	0.27	22.83
60.00	0.09	0.30	34.24
80.00	0.12	0.40	45.65
100.00	0.15	0.50	57.07
120.00	0.16	0.54	68.48
140.00	0.19	0.64	79.89
160.00	0.21	0.70	91.31
180.00	0.28	0.94	102.72
200.00	0.30	1.00	114.13
220.00	0.34	1.14	125.55
240.00	0.36	1.20	136.96
260.00	0.39	1.30	148.37
280.00	0.42	1.40	159.79
300.00	0.46	1.54	171.20
320.00	0.52	1.74	182.61
340.00	0.58	1.94	194.03
360.00	0.62	2.07	205.44
380.00	0.68	2.27	216.85
400.00	0.74	2.47	228.27
420.00	0.78	2.61	239.68
440.00	0.82	2.74	251.09
460.00	0.88	2.94	262.51
480.00	0.90	3.01	273.92
500.00	1.10	3.68	285.33
500.87	1.45	4.85	285.83
456.00	1.62	5.42	260.22
400.00	1.85	6.19	228.27

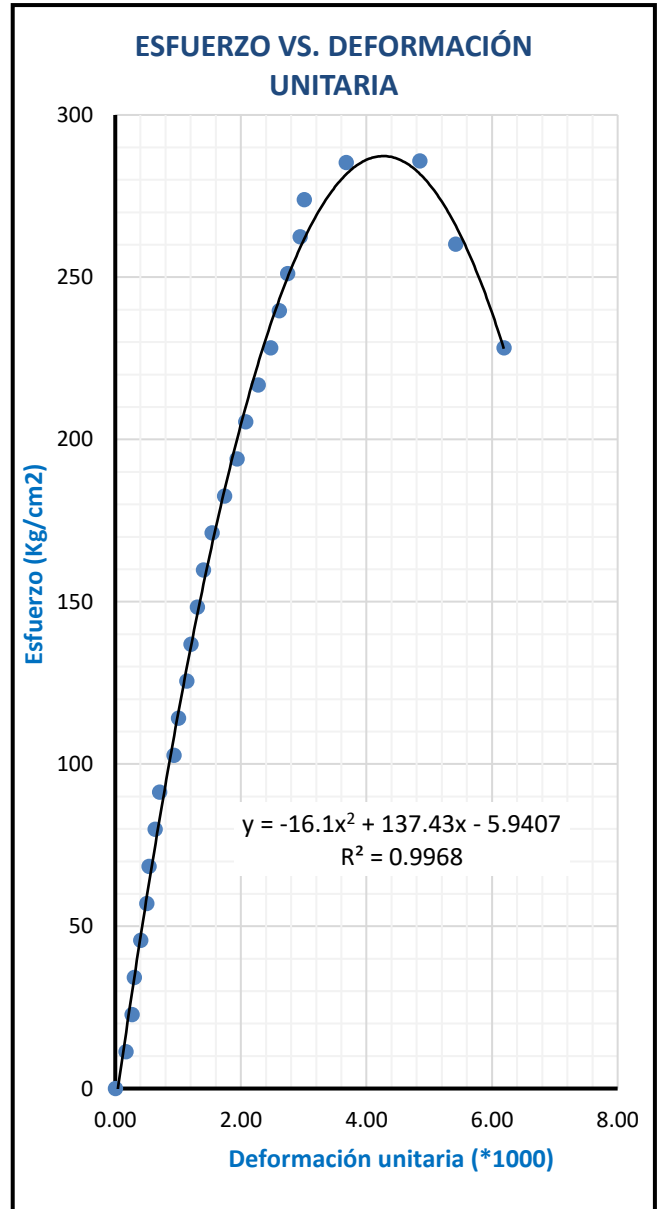


Figura 26. Grafica N°5, deformación unitaria VS. Esfuerzo

De la gráfica se obtiene:

Esfuerzo de rotura : **285.843Kg/cm²**
 Esfuerzo de rotura corregido : **281.05 Kg/cm²**
 Módulo de elasticidad : **251467.31 Kg/cm²**

DESARROLLO DE LA GRAFICA
 *0 a 251.09 kg/cm² – zona elástica.
 *251.09 a 262.51 kg/cm² – meseta de fluencia.
 *262.51 a 285.83 kg/cm² – zona de endurecimiento.
 *285.83 a 228.27 kg/cm² – zona de estiración.

Código del espécimen : **M 2.0 - 06**
 Edad : **28 días**
 Diámetro (cm) : **15.112**
 Altura (mm) : **299.7**

Tabla 72. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 06

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.06	0.20	11.37
40.00	0.07	0.23	22.73
60.00	0.10	0.33	34.10
80.00	0.14	0.47	45.47
100.00	0.16	0.53	56.83
120.00	0.19	0.63	68.20
140.00	0.22	0.73	79.57
160.00	0.26	0.87	90.93
180.00	0.28	0.93	102.30
200.00	0.32	1.07	113.67
220.00	0.34	1.13	125.03
240.00	0.37	1.23	136.40
260.00	0.40	1.33	147.76
280.00	0.44	1.47	159.13
300.00	0.47	1.57	170.50
320.00	0.53	1.77	181.86
340.00	0.57	1.90	193.23
360.00	0.60	2.00	204.60
380.00	0.66	2.20	215.96
400.00	0.72	2.40	227.33
420.00	0.78	2.60	238.70
440.00	0.84	2.80	250.06
460.00	0.90	3.00	261.43
480.00	1.08	3.60	272.80
500.00	1.23	4.10	284.16
507.28	1.46	4.87	288.30
490.00	1.75	5.84	278.48
380.00	2.20	7.34	216.03

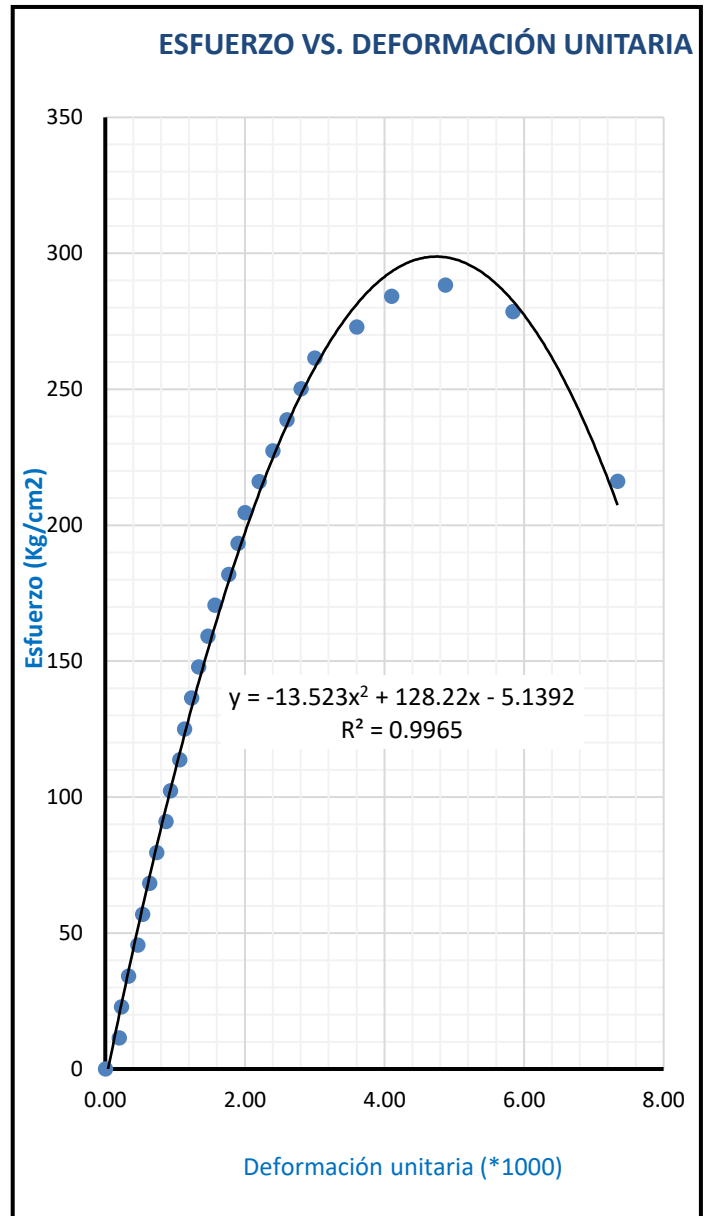


Figura 27. Grafica N°6, deformación unitaria VS. Esfuerzo

De la gráfica se obtiene:

Esfuerzo de rotura : **288.30Kg/cm²**
 Esfuerzo de rotura corregido : **298.49 Kg/cm²**
 Módulo de elasticidad : **259153.84 Kg/cm²**

DESARROLLO DE LA GRAFICA
 *0 a 261.43 kg/cm² – zona elástica.
 *261.43 a 272.80 kg/cm² – meseta de fluencia.
 *272.80 a 388.30 kg/cm² – zona de endurecimiento.
 *288.30 a 216.03 kg/cm² – zona de estricción.

Código del espécimen : **M 2.0 - 07**
 Edad : **28 días**
 Diámetro (cm) : **15.127**
 Altura (mm) : **301**

Tabla 73. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 07

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.08	0.27	11.34
40.00	0.11	0.37	22.69
60.00	0.14	0.47	34.03
80.00	0.17	0.56	45.38
100.00	0.20	0.66	56.72
120.00	0.24	0.80	68.06
140.00	0.27	0.90	79.41
160.00	0.31	1.03	90.75
180.00	0.33	1.10	102.10
200.00	0.36	1.20	113.44
220.00	0.38	1.26	124.78
240.00	0.44	1.46	136.13
260.00	0.48	1.59	147.47
280.00	0.51	1.69	158.82
300.00	0.53	1.76	170.16
320.00	0.60	1.99	181.50
340.00	0.64	2.13	192.85
360.00	0.70	2.33	204.19
380.00	0.77	2.56	215.54
400.00	0.82	2.72	226.88
420.00	0.87	2.89	238.22
440.00	0.97	3.22	249.57
460.00	1.10	3.65	260.91
480.00	1.30	4.32	272.26
500.00	1.48	4.92	283.60
512.36	1.72	5.71	290.61
475.00	1.99	6.61	269.42
410.00	2.37	7.87	232.55

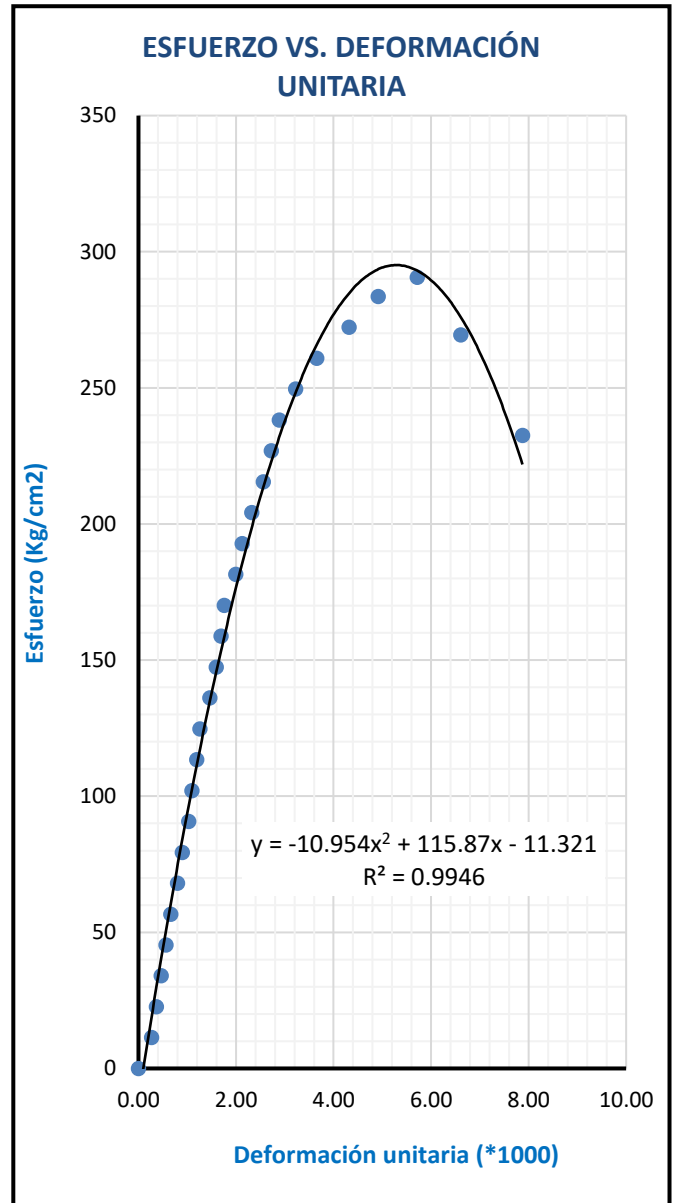


Figura 28. Grafica N°7, deformación unitaria VS.

Esfuerzo

De la gráfica se obtiene:

Esfuerzo de rotura : **290.61 Kg/cm²**
 Esfuerzo de rotura corregido : **292.09 Kg/cm²**
 Módulo de elasticidad : **256357.89 Kg/cm²**

DESARROLLO DE LA GRAFICA

- *0 a 238.22 kg/cm² – zona elástica.
- *238.22 a 260.91 kg/cm² – meseta de fluencia.
- *260.91 a 290.61 kg/cm² – zona de endurecimiento.
- *290.61 a 232.55 kg/cm² – zona de estricción.

Código del espécimen : **M 2.0 – 08**
 Edad : **28 días**
 Diámetro (cm) : **15.219**
 Altura (mm) : **308.3**

Tabla 74. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 08

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.07	0.23	11.21
40.00	0.10	0.32	22.41
60.00	0.14	0.45	33.62
80.00	0.19	0.62	44.83
100.00	0.24	0.78	56.04
120.00	0.30	0.97	67.24
140.00	0.36	1.17	78.45
160.00	0.47	1.52	89.66
180.00	0.49	1.59	100.87
200.00	0.50	1.62	112.07
220.00	0.52	1.69	123.28
240.00	0.55	1.78	134.49
260.00	0.60	1.95	145.69
280.00	0.62	2.01	156.90
300.00	0.70	2.27	168.11
320.00	0.72	2.34	179.32
340.00	0.79	2.56	190.52
360.00	0.82	2.66	201.73
380.00	0.90	2.92	212.94
400.00	0.95	3.08	224.14
420.00	0.99	3.21	235.35
440.00	1.08	3.50	246.56
460.00	1.16	3.76	257.77
480.00	1.25	4.05	268.97
500.00	1.43	4.64	280.18
517.28	1.62	5.25	289.86
465.00	1.78	5.77	260.57
400.00	2.18	7.07	224.14

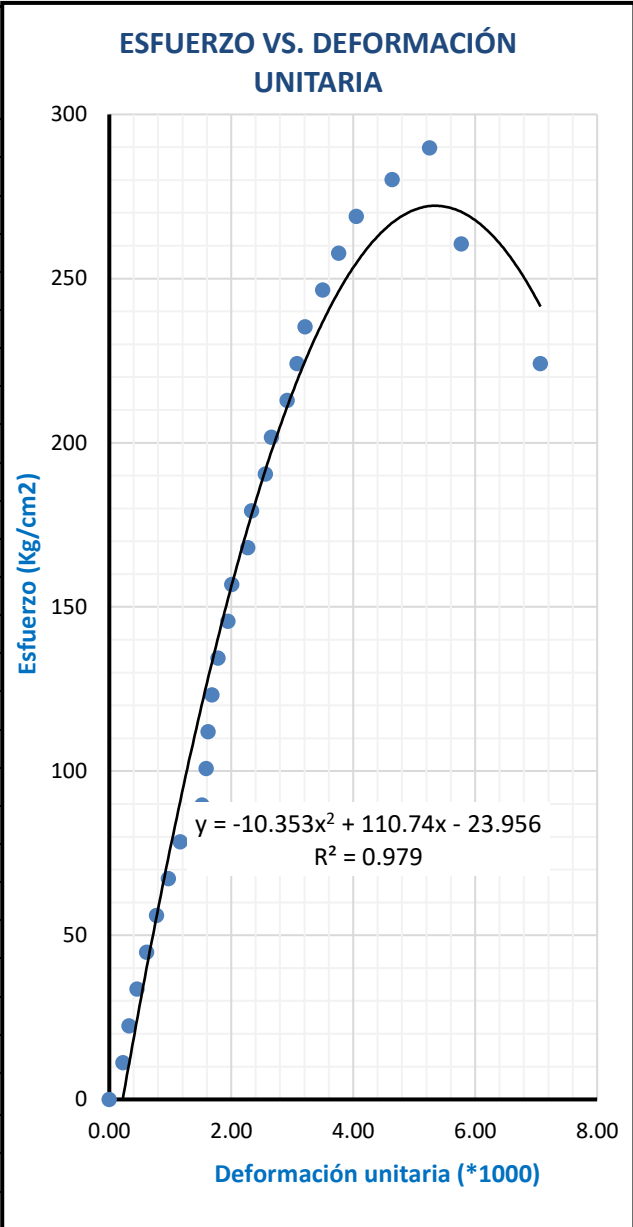


Figura 29. Grafica N°8, deformación unitaria VS. Esfuerzo

De la gráfica se obtiene:

Esfuerzo de rotura : **289.86 Kg/cm²**
 Esfuerzo de rotura corregido : **272.01 Kg/cm²**
 Módulo de elasticidad : **247389.30 Kg/cm²**

DESARROLLO DE LA GRAFICA
 *0 a 235.35 kg/cm² – zona elástica.
 *235.35 a 246.56 kg/cm² – meseta de fluencia.
 *246.56 a 289.86 kg/cm² – zona de endurecimiento.
 *289.86 a 224.14 kg/cm² – zona de estricción.

Código del espécimen : **M 2.0 – 09**
 Edad : **28 días**
 Diámetro (cm) : **15.247**
 Altura (mm) : **302**

Tabla 75. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 09

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.07	0.23	11.17
40.00	0.10	0.33	22.33
60.00	0.16	0.53	33.50
80.00	0.20	0.66	44.66
100.00	0.22	0.73	55.83
120.00	0.25	0.83	67.00
140.00	0.29	0.96	78.16
160.00	0.35	1.16	89.33
180.00	0.39	1.29	100.50
200.00	0.43	1.42	111.66
220.00	0.45	1.49	122.83
240.00	0.50	1.66	133.99
260.00	0.51	1.69	145.16
280.00	0.53	1.75	156.33
300.00	0.59	1.95	167.49
320.00	0.63	2.09	178.66
340.00	0.69	2.28	189.82
360.00	0.73	2.42	200.99
380.00	0.77	2.55	212.16
400.00	0.80	2.65	223.32
420.00	0.83	2.75	234.49
440.00	0.86	2.85	245.65
460.00	0.93	3.08	256.82
480.00	1.00	3.31	267.99
500.00	1.02	3.38	279.15
517.33	1.56	5.17	288.83
480.00	1.63	5.40	267.99
421.00	1.87	6.19	235.05

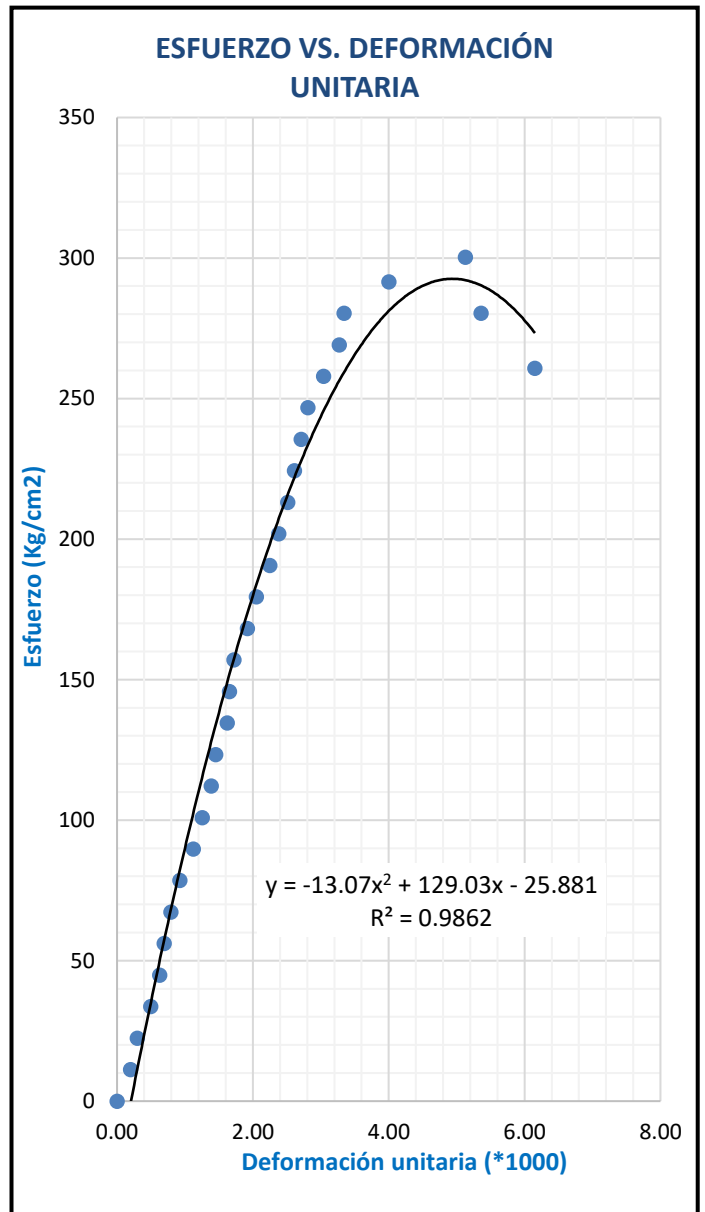


Figura 30. Grafica N°9, deformación unitaria VS.

Esfuerzo

De la gráfica se obtiene:

Esfuerzo de rotura : **288.83 Kg/cm²**
 Esfuerzo de rotura corregido : **290.11 Kg/cm²**
 Módulo de elasticidad : **255488.07 Kg/cm²**

DESARROLLO DE LA GRAFICA
 *0 a 245.65 kg/cm² – zona elástica.
 *245.65 a 267.99 kg/cm² – meseta de fluencia.
 *267.99 a 288.83 kg/cm² – zona de endurecimiento.
 *288.83 a 235.05 kg/cm² – zona de estiración.

Código del espécimen : **M 2.0 – 10**
 Edad : **28 días**
 Diámetro (cm) : **15.146**
 Altura (mm) : **302.3**

Tabla 76. Deformación unitaria y esfuerzo, ensayo N° 10

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.05	0.17	11.32
40.00	0.08	0.26	22.63
60.00	0.09	0.30	33.95
80.00	0.12	0.40	45.26
100.00	0.15	0.50	56.58
120.00	0.16	0.53	67.89
140.00	0.19	0.63	79.21
160.00	0.21	0.69	90.52
180.00	0.28	0.93	101.84
200.00	0.30	0.99	113.16
220.00	0.34	1.12	124.47
240.00	0.36	1.19	135.79
260.00	0.39	1.29	147.10
280.00	0.42	1.39	158.42
300.00	0.46	1.52	169.73
320.00	0.52	1.72	181.05
340.00	0.58	1.92	192.36
360.00	0.62	2.05	203.68
380.00	0.68	2.25	215.00
400.00	0.74	2.45	226.31
420.00	0.78	2.58	237.63
440.00	0.82	2.71	248.94
460.00	0.88	2.91	260.26
480.00	0.90	2.98	271.57
500.00	1.10	3.64	282.89
506.67	1.45	4.80	286.66
456.00	1.62	5.36	257.99
400.00	1.85	6.12	226.31

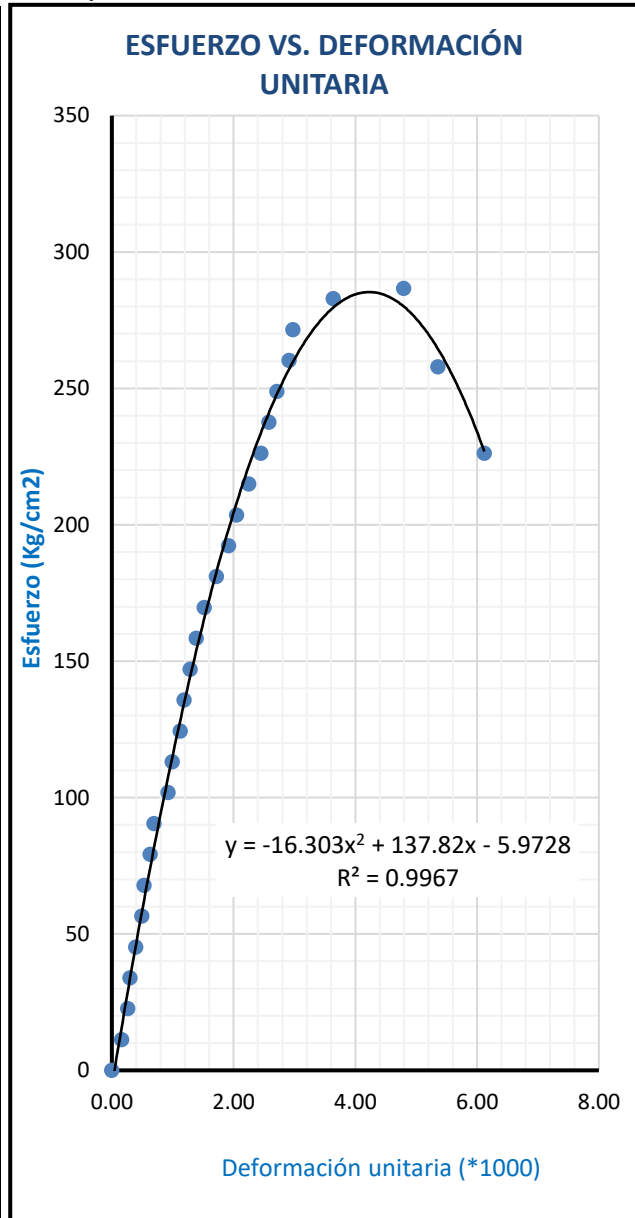


Figura 31. Grafica N°10, deformación unitaria VS. Esfuerzo

De la gráfica se obtiene:

Esfuerzo de rotura : **286.66 Kg/cm²**
 Esfuerzo de rotura corregido : **279.17 Kg/cm²**
 Módulo de elasticidad : **250623.92 Kg/cm²**

DESARROLLO DE LA GRAFICA

- *0 a 248.94 kg/cm² – zona elástica.
- *248.94 a 260.26 kg/cm² – meseta de fluencia.
- *260.26 a 286.66 kg/cm² – zona de endurecimiento.
- *286.66 a 226.31 kg/cm² – zona de estricción.

ANEXO 04: Constancia de utilización de laboratorio de ensayo de materiales.



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



EL JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA:

CONSTANCIA

Que el Sr. CAMPOS VENTURA, HARRY ALFREDO. Ex alumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca; que ha realizado trabajos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz" de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, para la Tesis Titulada: "ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN UN $F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ VARIANDO LA RELACIÓN DE ESBELTEZ, Dichos ensayos se realizaron del 01 de febrero al 15 de abril del 2018, en dicha institución.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 13 de junio de 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Marco Centurión Vargas
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ANEXO 05: Ficha técnica del cemento utilizado.



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 15 de Agosto del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.1	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.66	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3650	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.08	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	26.5 (271)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	34.3 (350)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	39.8 (406)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	261	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-07-2017 al 31-07-2017.

La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Junio 2017.

(*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

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

ANEXO 06: Consideraciones estadísticas

En cada uno de los grupos experimentales se evaluó el coeficiente de variación y así poder tener noción del grado de representación que se obtuvo en cada grupo. Para ellos se tomo encuentra lo siguiente:

- $0% < CV < 5%$, Altamente representativa.
- $5% < CV < 10%$, Representativa de su serie.
- $10% < CV < 15%$, moderadamente representativa
- $15% < CV < 30%$, Bajo grado de representatividad.
- $CV > 30%$, No tiene ningún grado de representatividad

ANEXO 07: Panel fotográfico



Figura 32. Cantera doña ramona ubicada hacia el lado izquierdo de la progresiva Km. 1209+370 de la Carretera Longitudinal de la Sierra



Figura 33. Río Condebamba donde se extraen los agregados



Figura 34. Chancadora de la cantera doña ramona



Figura 35. Cauce del Río Condebamba donde se encuentran dispersos los agregados



Figura 36. Pilas de Agregado grueso de perfil angular de la cantera Doña Ramona



Figura 37. Pilas de agregado fino de la cantera Doña Ramona



Figura 38. Cuarteo de los agregados para determinar sus diferentes propiedades físico-mecánicas



Figura 39. Ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso



Figura 40. Ensayo para determinar el peso específico del agregado fino



Figura 41. Análisis granulométrico del agregado fino mediante tamizado



Figura 42. Pesos retenidos por las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200



Figura 43. Análisis granulométrico del agregado grueso mediante tamizado



Figura 44. Pesos retenidos por las mallas, N° ¾”, N° ½”, N° 3/8”, N° 4 y , N° 8 y N° 16



Figura 45. Calculo del volumen del recipiente empleado para determinar el peso unitario del agregado fino.



Figura 46. Peso unitario del agregado fino



Figura 47. Calculo del volumen del recipiente empleado para determinar el peso unitario del agregado Grueso.



Figura 48. Peso unitario del agregado grueso



Figura 49. Ensayo de contenido de humedad de agregado fino y grueso



Figura 50. Preparación por tamizado de la muestra para el ensayo de abrasión



Figura 51. Máquina de los ángeles empleada para el ensayo de abrasión



Figura 52. Colocación de la muestra en el interior de la máquina de los ángeles



Figura 53. Muestra final, producto del ensayo de abrasión



Figura 54. Tamizado de la muestra por el tamiz N° 12 para determinar el desgaste a la abrasión



Figura 55. Mezcla de consistencia plástica elaborada para la fabricación de los especímenes de concreto con diferente esbeltez



Figura 56. Ensayo de asentamiento de cono de Abrams



Figura 57. Llenado y compactación de probetas.



Figura 58. Probetas llenas, de los diferentes grupos experimentales



Figura 59. Desencofrado y codificación de los especímenes cilíndricos de concreto



Figura 60. Codificación de los especímenes cilíndrico con diferente esbeltez



Figura 61. Curado de los especímenes cilíndricos de concreto



Figura 62. Registro del diámetro y altura de los especímenes de concreto.



Figura 63. Lectura del deflectómetro para la elaboración de las curvas esfuerzo VS: deformación



Figura 64. Registro de carga ultima de rotura en los especímenes cilíndricos



Figura 65. Asesor, Tesista y Técnico de laboratorio realizando el ensayo de compresión axial