

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE UN
CONCRETO DE $f'c=210$ kg/cm² CON ADICIÓN DE PUZOLANA VOLCÁNICA EN
CAJAMARCA”**

TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Presentado por la bachiller en Ingeniería Civil:

MENDOZA ROJAS, ANA PAULA MARILYN

Asesor:

Mg. Ing. HÉCTOR ALBARINO PÉREZ LOAYZA

Cajamarca – Perú

2017

AGRADECIMIENTO

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al M. en Ing. Héctor Albarino Pérez Loayza, asesor de la presente investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos años. Quisiera hacer extensiva mi gratitud a docentes de la escuela académico profesional de ingeniería civil al M.en Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas, Ing. Marco Hoyos Saucedo, Ing. William Quiroz Gonzales y al Ing. Marco Antonio Silva Silva por su colaboración y guía para perfeccionar este trabajo de investigación. Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia y amigos. A todos ellos, muchas gracias.

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a toda mi familia y personas que me apoyaron, principalmente a mi padre que ha sido un pilar fundamental en mi formación como persona y profesional; a mi madre por brindarme todo el cariño, confianza, consejos, oportunidad y recursos para lograrlo; y a mis hermanos por la ayuda y apoyo continuo en cada paso dado.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación orientó su desarrollo a través del estudio comparativo entre un concreto convencional o patrón y un concreto con adición de puzolana volcánica (roca traquita pulverizada) en porcentajes del 10%, 15% y 20%; para una resistencia de diseño de $f'c$ 210 kg/cm^2 , de las cuales se realizaron sus respectivos ensayos de resistencia mecánica (compresión y flexión) en relación a las normas técnicas peruanas. Obteniéndose que la resistencia a la compresión a los 60 días aumento únicamente en el concreto con dosificación del 10% de adición de puzolana volcánica en un 13%, mientras que disminuyó con las dosificaciones del 15% y 20% en un 10% y 19% respectivamente. Asimismo, se obtuvo un aumento de la resistencia a la flexión con la dosificación del 10% de adición de puzolana volcánica en un 16.41%, y una disminución de la misma con dosificaciones de 15% y 20% en 4.54% y 16.49% respectivamente. Concluyendo como dosificación óptima en el diseño de concreto para la presente investigación al 10% de adición de puzolana volcánica.

Palabras clave: concreto, adición de puzolana, roca traquita pulverizada, resistencia mecánica.

ABSTRACT

The present work of investigation oriented its development through the comparative study between a conventional concrete and a concrete with addition of volcanic pozzolana in percentages of 10%, 15% and 20%; for a design strength of $f'c$ 210 kg/cm^2 , of which mechanical strength tests (compression and bending) were carried out in relation to Peruvian technical standards. Obtaining that the resistance to the compression to the 60 days in the concrete with dosage of 10% of addition of volcanic pozzolana in 13%, while it decreased with the dosages of 15% and 20% in 10% and 19% respectively. Likewise, an increase in flexural strength was obtained with the addition of 10% addition of volcanic pozzolan in 16.41%, and a decrease of it with dosages of 15% and 20% in 4.54% and 16.49% respectively. Concluding as an optimal dosage in the concrete design for the present investigation to 10% addition of volcanic pozzolan.

Key words: concrete, addition of pozzolana, powdered trachyte, mechanical resistance.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE GENERAL	vi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3.- HIPÓTESIS.....	1
1.4.- JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.5.- ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.5.- LIMITACIÓN	2
1.6.- OBJETIVOS.....	3
1.6.1.- Objetivo General	3
1.6.2.- Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes Teóricos	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales	4
2.1.3. Antecedentes Locales.....	4
2.2. Bases Teóricas	5
A. Puzolana	5
B. Componentes del concreto.....	8
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN	11
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	12
3.2.1. Tipo.....	12
3.2.2. Diseño	12
3.2.3. Variables	13
3.2.4. Población, muestra y unidad de análisis	13
3.3. CANTERA PROVEEDORA DE MATERIALES	14
3.3.1. Ubicación	14
3.3.2. Proceso de obtención de los agregados	14
3.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.....	15
3.4.1. Extracción y preparación de muestras para ensayos	15
3.4.2. Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo	15

3.4.3. Granulometría de los agregados	16
3.4.4. Tamaño máximo nominal del agregado grueso	20
3.4.5. Módulo de fineza	20
3.4.6. Peso Específico y Absorción	21
3.4.7. Peso Unitario	27
3.4.8. Desgaste o abrasión del agregado grueso	30
3.4.9. Materiales más finos que pasan por el tamiz N°200	32
3.5. CARACTERÍSTICAS DE LA PUZOLANA.....	35
3.5.1. Determinación del peso específico y absorción	35
3.6. OTROS MATERIALES A SER UTILIZADOS	39
3.6.1. Cemento.....	39
3.6.2. Agua	40
3.7. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CON ADICIÓN DE PUZOLANA VOLCÁNICA.....	40
3.7.1. Propiedades de los materiales utilizados en el estudio	40
3.7.2. Diseño de la muestra de Prueba	41
3.7.3. Ajuste de las proporciones por apariencia, asentamiento y agua añadida de la muestra de prueba.....	47
3.7.4. Ajuste de las proporciones por resistencia de la muestra de prueba por la ley de Powers	48
3.7.5. Inclusión de la puzolana en los diseños de los especímenes de concreto	49
3.7.6. Elaboración de especímenes de concreto y curado	50
3.8. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICO- MECÁNICAS DEL CONCRETO.....	53
3.8.1. Peso Unitario del concreto en estado fresco	53
3.8.2. Peso Unitario del concreto en estado endurecido.....	55
3.8.4. Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7 y 60 días.	56
3.8.5. Resistencia a flexión en especímenes prismáticos de concreto a la edad de 7 y 60 días.	58
3.8.6. Módulo de elasticidad del concreto.	60
3.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPILACIÓN DE DATOS.....	61
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	62
4.1. Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco.....	62
4.2. Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de peso unitario del concreto en estado endurecido	63
4.3. Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión....	64
4.4. Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión	66
4.5. Análisis de los resultados obtenidos del módulo de elasticidad.....	67

4.6. Análisis del costo del concreto sólo considerando materiales	68
4.6. Contratación de la hipótesis	71
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1. Conclusiones.....	72
5.2. Recomendaciones.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXO N° 01. RESULTADOS DE ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO	78
ANEXO N° 02. RESULTADOS DE ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO.....	84
ANEXO N° 03. RESULTADOS DE ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	90
ANEXO N° 04. RESULTADOS DE ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	91
ANEXO N° 05. RESULTADOS DE ENSAYO DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS	92
ANEXO N° 06. RESULTADOS DE ENSAYO DE ABRASIÓN	95
ANEXO N° 07. RESULTADOS DE ENSAYO MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N°200.....	96
ANEXO N° 08. RESULTADOS DE ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ROCA TRAQUITA.....	97
ANEXO N° 09. DISEÑO DE MEZCLA DE LA MUESTRA DE PRUEBA	98
ANEXO N° 10. DISEÑO DE MEZCLA CORREGIDO POR APARIENCIA, ASENTAMIENTO, AGUA AÑADIDA Y RESISTENCIA (DISEÑO PATRÓN)	99
ANEXO N° 11. DISEÑOS DE MEZCLA CON INCLUSIÓN DE PUZOLANA VOLCÁNICA	100
ANEXO N° 12. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS DE LA ROTURA DE PROBETAS.....	103
ANEXO N° 13. CURVA DEFORMACIÓN UNITARIA VS ESFUERZO OBTENIDO DE LA ROTURA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS.....	113
ANEXO N° 14. CURVA DEFORMACIÓN UNITARIA VS ESFUERZO OBTENIDO DE LA ROTURA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS PRISMÁTICOS	129
ANEXO N° 16. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DEL COMCRETO.....	139
ANEXO N° 17. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ENTRE ESPECÍMENES DE 6" CON ADICIÓN DE PUZOLANA TAMIZADA POR LA MALLA N°60 Y ESPECÍMENES DE 4" CON ADICIÓN DE PUZOLANA TAMIZADA POR LA MALLA N°200	140
ANEXO N° 18. FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PACASMAYO PORTLAND TIPO I ..	143
ANEXO N° 19. CONSTANCIA DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES ..	144
ANEXO N° 20. PANEL FOTOGRÁFICO	145

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 01: Número de especímenes de concreto a ensayar.....	13
TABLA 02: Medida de la Muestra (NTP 400.010-2011)	15
TABLA 03: Granulometría del agregado fino (NTP 400.037)	16
TABLA 04: Requisitos granulométricos del agregado grueso (NTP 400.037)	17
TABLA 05: Peso de la muestra según Tamaño máximo de las partículas (NTP 400.012).....	19
TABLA 06: Masa de carga según la gradación de la muestra (NTP 400.019)....	31
TABLA 07: Gradación de las muestras de ensayo (NTP 400.019)....	31
TABLA 08: Cantidad mínima de muestra a ensayar.....	33
TABLA 09: Propiedades del agregado grueso.....	40
TABLA 10: Propiedades del agregado fino.....	40
TABLA 11: Propiedades de la adición de puzolana volcánica.....	41
TABLA 12: Propiedades del cemento.. ..	41
TABLA 13: Selección del Asentamiento (Diseño de mezclas, Rivva, 2013).....	42
TABLA 14: Volumen Unitario de agua (Diseño de mezclas, Rivva, 2013).	42
TABLA 15: Contenido de aire atrapado (Diseño de mezclas, Rivva, 2013)	43
TABLA 16: Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto (Diseño de mezclas, Rivva, 2013).....	43
TABLA 17: Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto (Diseño de mezclas, Rivva, 2013).....	45
Tabla Nº18: Tiempo de prueba de los especímenes y tolerancia (NTP 339.034 2008)	
.....	56
TABLA 19: Peso unitario del concreto en estado fresco a los 60 días	62
TABLA 20: Peso unitario del concreto en estado endurecido a los 60 días.....	63
TABLA 21: Resistencia a la compresión del concreto a los 7 y 60 días.....	64
TABLA 22: Resistencia a la flexión del concreto a los 60 días.....	66
TABLA 23: Módulo de elasticidad del concreto a los 7 y 60 días.....	67
TABLA 24: Costo de materiales del concreto por m ³ (0% de adición de Puzolana)	68
TABLA 25: Costo de materiales del concreto por m ³ (10% de adición de Puzolana)	69
TABLA 26: Costo de materiales del concreto por m ³ (15% de adición de Puzolana)	69
TABLA 27: Costo de materiales del concreto por m ³ (20% de adición de Puzolana)	69
TABLA 28: Resumen costo de materiales del concreto	70
TABLA 29: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso (Ensayo N°01)	78
TABLA 30: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso (Ensayo N°02)	80
TABLA 31: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso (Ensayo N°03)	82
TABLA 32: Análisis Granulométrico del Agregado Fino (Ensayo N°01)	84
TABLA 33: Análisis Granulométrico del Agregado Fino (Ensayo N°02)	86
TABLA 34: Análisis Granulométrico del Agregado Fino (Ensayo N°03)	88
TABLA 35: Ensayo de Peso Específico del Agregado Grueso.....	90
TABLA 36: Ensayo de Peso Específico del Agregado Fino.....	91

TABLA 37: Cálculo del Peso Específico del agua.....	92
TABLA 38: Cálculo del Factor del molde para el Agregado Grueso.....	92
TABLA 39: Cálculo del Peso Unitario suelto para el Agregado Grueso.....	93
TABLA 40: Cálculo del Peso Unitario compactado para el Agregado Grueso.....	93
TABLA 41: Cálculo del Factor del molde para el Agregado Fino.....	94
TABLA 42: Cálculo del Peso Unitario suelto para el Agregado Fino.....	94
TABLA 43: Cálculo del Peso Unitario compactado para el Agregado Fino.....	95
TABLA 44: Cálculo del ensayo de Abrasión del Agregado Grueso.....	95
TABLA 45: Cálculo de materiales más finos que pasan el tamiz N° 200 del Agregado Grueso.....	96
TABLA 46: Cálculo de materiales más finos que pasan el tamiz N° 200 del Agregado Fino.....	96
TABLA 47: Cálculo de peso específico y absorción de la roca traquita.....	97
TABLA 48: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 7 días sin adición de puzolana.....	103
TABLA 49: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 7 días con 10% de adición de puzolana.....	104
TABLA 50: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 7 días con 15% de adición de puzolana.....	105
TABLA 51: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 7 días con 20% de adición de puzolana.....	106
TABLA 52: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 60 días sin adición de puzolana.....	107
TABLA 53: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 60 días con 10% de adición de puzolana.....	108
TABLA 54: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 60 días con 15% de adición de puzolana.....	109
TABLA 55: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 60 días con 20% de adición de puzolana.....	110
TABLA 56: Resultados de la rotura de especímenes prismáticos a la edad de 60 días sin adición de puzolana.....	111
TABLA 57: Resultados de la rotura de especímenes prismáticos a la edad de 60 días con 10% adición de puzolana	111
TABLA 58: Resultados de la rotura de especímenes prismáticos a la edad de 60 días con 15% adición de puzolana	112
TABLA 59: Resultados de la rotura de especímenes prismáticos a la edad de 60 días con 20% adición de puzolana.....	112
TABLA 60: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 06- Edad de 07 días- 0% de roca traquita.....	113
TABLA 61: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 06- Edad de 07 días- 10% de roca traquita.....	115
TABLA 62: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 03- Edad de 07 días- 15% de roca traquita.....	117

TABLA 63: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 06- Edad de 07 días- 20% de roca traquita.....	119
TABLA 64: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 01- Edad de 60 días- 0% de roca traquita.....	121
TABLA 65: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 12- Edad de 60 días- 10% de roca traquita.....	123
TABLA 66: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 04- Edad de 60 días- 15% de roca traquita.....	125
TABLA 67: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 09- Edad de 60 días- 20% de roca traquita.....	127
TABLA 68: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 02- Edad de 60 días- 0% de roca traquita.....	129
TABLA 69: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 01- Edad de 60 días- 10% de roca traquita.....	131
TABLA 70: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 02- Edad de 60 días- 10% de roca traquita.....	133
TABLA 71: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 02- Edad de 60 días- 15% de roca traquita	135
TABLA 72: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 01- Edad de 60 días- 20% de roca traquita	137
TABLA 73: Resistencias obtenidas a la compresión del concreto a los 7 días	139
TABLA 74: Resistencias obtenidas a la compresión del concreto a los 60 días	139
TABLA 75: Resistencias obtenidas a la flexión del concreto a los 60 días	139
TABLA 76: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos de D=4" a la edad de 60 días con 10% de adición de puzolana.....	140
TABLA 77: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos de D=4" a la edad de 60 días con 10% de adición de puzolana.....	140
TABLA 78: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos de D=4" a la edad de 60 días con 15% de adición de puzolana.....	141
TABLA 79: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos de D=4" a la edad de 60 días con 20% de adición de puzolana.....	141
TABLA 80: Comparación de Resistencias a la compresión en probetas de 6" y 4" de diámetro.....	142

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01: Curva peso unitario del concreto en estado fresco a los 60 días.....	62
GRÁFICO 02: Curva peso unitario del concreto en endurecido fresco a los 60 días.....	64
GRÁFICO 03: Curva de Resistencia a la compresión del concreto a los 7 días.....	65
GRÁFICO 04: Curva de Resistencia a la compresión del concreto a los 60 días.....	65
GRÁFICO 05: Curva de comparación de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 y 60 días.....	66
GRÁFICO 06: Curva de Resistencia a la flexión del concreto a los 60 días.....	67
GRÁFICO 07: Módulo de elasticidad del concreto a los 7 y 60 días.....	68
GRÁFICO 08: Precio del concreto vs resistencia a la compresión.....	70
GRÁFICO 09: Precio del concreto vs resistencia a la flexión.....	71
GRÁFICO 10: Curva Granulométrico del Agregado Grueso (Ensayo N°01)	79
GRÁFICO 11: Curva Granulométrico del Agregado Grueso (Ensayo N°02)	81
GRÁFICO 12: Curva Granulométrico del Agregado Grueso (Ensayo N°03)	83
GRÁFICO 13: Curva Granulométrico del Agregado Fino (Ensayo N°01)	85
GRÁFICO 14: Curva Granulométrico del Agregado Fino (Ensayo N°02)	87
GRÁFICO 15: Curva Granulométrico del Agregado Fino 8Ensayo N°03)	89
GRÁFICO 16: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 06- Edad de 07 días- 0% de roca traquita.....	114
GRÁFICO 17: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 06- Edad de 07 días- 10% de roca traquita.....	116
GRÁFICO 18: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 03- Edad de 07 días- 15% de roca traquita.....	118
GRÁFICO 19: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 06- Edad de 07 días- 20% de roca traquita.....	120
GRÁFICO 20: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 01- Edad de 60 días- 0% de roca traquita.....	122
GRÁFICO 21: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 12- Edad de 60 días- 10% de roca traquita.....	124
GRÁFICO 22: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 04- Edad de 60 días- 15% de roca traquita.....	126
GRÁFICO 23: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 09- Edad de 60 días- 20% de roca traquita.....	128
GRÁFICO 24: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 01- Edad de 60 días- 0% de roca traquita.....	130
GRÁFICO 25: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 02- Edad de 60 días- 0% de roca traquita.....	132
GRÁFICO 26: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 01- Edad de 60 días- 10% de roca traquita.....	134

GRÁFICO 27: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 02- Edad de 60 días- 15% de roca traquita	136
GRÁFICO 28: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 02- Edad de 60 días- 20% de roca traquita	138
GRÁFICO 29: Curvas de las Resistencias a la compresión en probetas de 6" y 4" de diámetro.....	147

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 01: Cajamarca Departamento (Wikipedia).....	11
FIGURA 02: Cajamarca Provincia (Wikipedia)	11
FIGURA 03: Cajamarca Distrito (Seace).....	11
FIGURA 04: Vista satelital de la Universidad Nacional de Cajamarca (Google Maps)	12
FIGURA 05: Ubicación Cantera Tartar Chico (Google Earth)	14
FIGURA 06: Acopio del Agregado Grueso- Cantera Tartar Chico.....	145
FIGURA 07: Transporte y Acopio del Agregado Grueso- Laboratorio de Materiales- Universidad Nacional de Cajamarca.....	145
FIGURA 08: Transporte y Acopio del Agregado Fino- Laboratorio de Materiales- Universidad Nacional de Cajamarca.....	146
FIGURA 09: Acopio del Agregado Fino y Grueso- Laboratorio de Materiales- Universidad Nacional de Cajamarca.....	146
FIGURA 10: Tamices seleccionados para el Agregado Grueso.....	147
FIGURA 11: Secado de muestra (agregado fino) en la estufa.....	147
FIGURA 12: Eliminación de partículas visibles de agua del agregado grueso.....	148
FIGURA 13: Secado de muestra (agregado grueso) en la estufa.....	148
FIGURA 14: Extendido de la muestra sobre superficie plana	148
FIGURA 15: Prueba de humedad superficial	149
FIGURA 16: Picnómetro lleno con muestra y agua hasta el 90 % de su capacidad.....	149
FIGURA 17: Determinación de la masa del picnómetro con agua	150
FIGURA 18: Lavado de material por el tamiz normalizado 75 μm (N°200)	150
FIGURA 19: Prueba de humedad superficial de la traquita.....	151
FIGURA 20: Picnómetro lleno con muestra y agua hasta su capacidad de calibración.....	151
FIGURA 21: Engrasado de las probetas prismáticas.....	152
FIGURA 22: Colocación de la mezcla en los moldes prismáticos.....	152
FIGURA 23: Llenado de probetas cilíndricas con la mezcla.....	153
FIGURA 24: Especímenes cubiertos con bolsas de plástico.....	153
FIGURA 25: Desencofrado de especímenes de concreto.....	154
FIGURA 26: Curado de especímenes de concreto.....	154
FIGURA 27: Ensayo de resistencia a la compresión de probetas prismáticas.....	155
FIGURA 28: Ensayo de resistencia a la flexión de especímenes prismáticos.....	155

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde hace mucho tiempo atrás el concreto ha sido el material con más demanda en la construcción, con el tiempo esta cifra ha ido aumentando. Actualmente una variedad de estructuras tales como edificios, puentes, obras hidráulicas, túneles, entre otras son construidas con concreto. Cajamarca no es ajena a esta realidad, es por este motivo que en los últimos años la demanda de concreto en esta ciudad ha incrementado y con ello se llevan a cabo numerosos proyectos de investigación con la finalidad de mejorar las propiedades del concreto según las necesidades que presenta cada zona en la que se desea construir.

La problemática en este tema surge de la necesidad de producir un concreto con una alta resistencia mecánica, resistente a la agresión de sulfatos, de bajo costo y que su producción no signifique un impacto negativo para el medio ambiente.

1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la influencia que presenta la adición de puzolana volcánica en las propiedades físico - mecánicas de un concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Cajamarca?

1.3.- HIPÓTESIS

El uso de la adición de puzolana volcánica en el concreto como reemplazo del factor cemento en 10%, 15% y 20% aumenta la resistencia mecánica de este en un 10%.

1.4.- JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En busca de una solución para obtener un concreto con una mayor resistencia mecánica, nos enfocaremos en el uso de puzolana volcánica, la cual se puede obtener de fragmentos de roca traquita meteorizada. Este material es abundante en Cajamarca, ya que es un recurso natural de la zona y se puede conseguir en la mayoría de canteras de manera fácil y a bajo costo.

El uso de puzolanas de forma natural en la elaboración de concreto no sólo serviría para disminuir el costo de producción, sino que también serviría para aumentar la resistencia mecánica del concreto. Además, otras propiedades del concreto se verán afectadas positivamente tales como el calor de hidratación y la permeabilidad.

Las puzolanas naturales mejoran la resistencia del concreto contra el ataque de sulfatos presentes en las aguas subterráneas (para el caso de cimentaciones), ya que la sustitución de gran parte del cemento por puzolana hará un material endurecido que protege al concreto contra las corrientes y la salida de hidratos.

Obviamente, la disminución en los factores dañinos como la permeabilidad, la porosidad y la expansión causarán la mejora de calidad del concreto y aumentará su resistencia mecánica.

1.5.- ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se limitará a determinar la influencia de la adición de puzolana volcánica en las propiedades físico- mecánicas para un concreto de $f'c=210$ kg/cm² con dosificaciones de puzolana de 10%, 15% y 20% del peso del cemento utilizado en la mezcla, a edades de 7 y 60 días.

1.5.- LIMITACIÓN

La presente investigación no tendrá limitaciones de ningún tipo, ya que se cuenta con todos los materiales, equipos y conocimientos necesarios para llevar a cabo el proceso planteado y obtener resultados.

1.6.- OBJETIVOS

1.6.1.- Objetivo General

- Determinar la influencia de la adición de puzolana volcánica en las propiedades físico – mecánicas de un concreto de $f'c=210$ kg/cm² adicionando puzolana en porcentajes de 10%, 15% y 20% del peso del cemento utilizado en la mezcla, a edades de 7 y 60 días.

1.6.2.- Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados a utilizar.
- Determinar las propiedades físicas de la puzolana: peso específico y módulo de finura
- Determinar las propiedades de la muestra de prueba para un concreto de $f'c=210$ kg/cm² sin adición de puzolana para 7 y 60 días comparándola con una mezcla para un concreto de $f'c=210$ kg/cm² con dosificaciones de puzolana de 10%, 15% y 20% del peso del cemento utilizado en la mezcla, a edades de 7 y 60 días.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos

2.1.1. Antecedentes Internacionales

- Martínez López Carolina (2015). En su tesis “Evaluación ambiental del uso de geopolímeros basados en dos puzolanas volcánicas como alternativa potencial al cemento portland”, para obtener el grado de magister en ingeniería ambiental en la Universidad Nacional de Colombia, baso sus estudios en la búsqueda de nuevos materiales alternativos al cemento portland que sean menos contaminantes, dando lugar a los denominados geopolímeros. Esta tesis consiste en la evaluación del uso de geopolímeros basados en dos puzolanas volcánicas, para determinar su viabilidad como alternativa del cemento portland. Los resultados muestran una alta eficiencia en la encapsulación de contaminantes como Pb y Ni, por lo tanto, en las proporciones estudiadas es viable el uso de geopolímeros, y representan una buena oportunidad para el sector de la construcción.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

- Huincho Salvatierra Edher (2011). En su tesis para optar el título profesional de ingeniero civil de la Universidad Nacional de Ingeniería realizó un estudio de los concretos de alta resistencia preparados con microsílíce, nanosílíce y superplastificante; comparó las propiedades de cada una de las muestras patrón con nuevos especímenes a los cuales se les adicionó 3% de aditivo superplastificante , luego 10, 15, 20% de microsílíce en peso del cemento, se usó nanosílíce en dosis de 1, 1.5 y 2% en peso del cemento; también se usó micro sílice y nanosílíce a la vez en dosis de 5% de microsílíce más 0.5% de nanosílíce, 7.5% de microsílíce más 1% de nanosílíce y 10% de microsílíce más 1.5% de nanosílíce. Obteniendo los siguientes resultados, la máxima resistencia a la compresión es de 1423 kg/cm² a la edad de 90 días, se obtuvo con la adición de microsílíce al 10% en peso del cemento, la ganancia de resistencia de este tipo de concreto es muy importante ya que a las 24 horas alcanza los 400kg/cm², a los 3 días alcanza los 700 kg/cm², a los 7 días alcanza los 830 kg/cm² y a los 28 días llega a los 1200 kg/cm².
- Villegas Martínez Carlos Alberto (2012), en su tesis para obtener el grado de magister en tecnología de la construcción de la Universidad Nacional de Ingeniería, realiza el estudio del uso de puzolanas en la producción de morteros y concretos para revestimientos y fabricación de componentes constructivos con base cementicia, de la cual se pudo concluir que la puzolana por sus características puede reemplazar ventajosamente un porcentaje de cemento en la producción de componentes y preparación de morteros para la construcción de viviendas de bajo costo y revestimientos, respectivamente.

2.1.3. Antecedentes Locales

- Huatay Aliaga, Yovan (2008). En la tesis presentada para optar el título profesional realizó una investigación titulada “Propiedades mecánicas del concreto elaborado con aditivo micro sílice. Cajamarca –Perú”. Entre los resultados obtenidos se determinó la dosificación óptima de micro sílice de 5% del peso del cemento aumentando la resistencia a la compresión en un 46%, asimismo se utilizaron otras dosificaciones del 8% y 10% que igualmente mejoraron la resistencia a la compresión en 33.19% y 31.76% respectivamente.

2.2. Bases Teóricas

A. Puzolana

La norma ASTM C 618, define a las puzolanas como materiales naturales o artificiales de silíceo - amorfos o aluminio - silíceos quienes por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente; son una especie de cemento natural y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes, como morteros hidráulicos.

Salazar Jaramilo, Alejandro (2001) en su investigación “Estudio y transformación de puzolanas naturales en productos de alta actividad para uso en la industria de la construcción”; considera generalmente como puzolanas a los materiales que, carentes de propiedades cementicias y de la actividad hidráulica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con cal a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, dando lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos. En tal sentido, las puzolanas dan propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como es la cal. Son, por consiguiente, materiales reactivos frente a la cal en las condiciones normales de utilización ordinaria de conglomerantes (morteros y hormigones). No se consideran como puzolanas aquellos otros materiales inertes que, en determinadas condiciones extraordinarias de estado físico de división (elevada finura, gran superficie específica) o de reacción (tratamientos hidrotérmicos con vapor de agua a presiones y temperaturas elevadas), pueden dar lugar a compuestos hidráulicos. Así sucede, por ejemplo, con el cuarzo, que finamente molido y mezclado con cal forma silicatos cálcicos hidratados por tratamiento en autoclave. La reactividad de las puzolanas se atribuye, fundamentalmente en algunos casos, a la sílice activa que se encuentra en ellas formando compuestos mineralógicos silícicos.

Salazar clasifica a las puzolanas básicamente en dos tipos:

Básicamente hay dos tipos de puzolana, llamadas puzolanas naturales y artificiales.

• **Las puzolanas naturales:** Los materiales denominados puzolanas naturales pueden tener dos orígenes distintos, uno puramente mineral y otro orgánico. Las puzolanas naturales de origen mineral son productos de transformación del polvo y “cenizas” volcánicas que, como materiales piroclásticos incoherentes procedentes de erupciones explosivas, ricos en vidrio y en estado especial de reactividad, son aptos para sufrir acciones endógenas (zeolitización y cementación) o exógenas (agilización), de las cuales las primeras son favorables y las segundas desfavorables. Por una continuada acción atmosférica (meteorización) se convirtieron en tobas, esto es en rocas volcánicas, más o menos consolidadas y compactas, cristalinas, líticas o vítreas, según su naturaleza. El origen volcánico de las puzolanas naturales es determinante de su estructura. La estructura de las rocas, que se han originado por el enfriamiento de grandes masas de lava que han fluido completamente, depende de la velocidad en que se ha producido el fenómeno. Las puzolanas naturales de origen orgánico son rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparazones silíceos de animales (infusorios radiolarios) o plantas (algas diatomeas). Todas las propiedades de las puzolanas naturales y en particular aquellas que las hacen especialmente aptas para su aprovechamiento en la industria del cemento, dependen fundamentalmente de su composición y de su textura, las cuales a su vez están íntimamente relacionadas con su origen y formación. Los materiales puzolánicos naturales están constituidos principalmente por rocas eruptivas y en particular efusivas y volcánicas, y dentro de éstas, por extrusivas, salvo las de naturaleza orgánica que son de origen y formación sedimentaria.

• **Las puzolanas artificiales:** Se definen éstas como materiales que deben su condición de tales a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta condición cabe distinguir dos grupos uno, el formado por materiales naturales silicatados de naturaleza arcillosa y esquistosa, que adquieren el carácter puzolánico por sometimiento a procesos térmicos “ex profeso”, y otro el constituido por subproductos de determinadas operaciones industriales, que, en virtud de

Texto elaborado por Alejandro Salazar J. su naturaleza y de las

transformaciones sufridas en las mismas, adquieren las propiedades puzolánicas. Al primero de estos grupos pueden asimilarse, por su analogía, las puzolanas designadas como mixtas o intermedias, o semiartificiales, es decir, aquellas que, naturales por su origen, se mejoran por un posterior tratamiento. Representantes típicos de este grupo son el polvo de ladrillo obtenido de productos de desecho de la cerámica de alfarería y las bauxitas naturales. En el segundo grupo encajan los residuos de las bauxitas utilizadas para la obtención del aluminio, materiales a los que los alemanes designan como “Si-Stoff” (silicalita o amorfita) y el polvo de chimeneas de altos hornos. También pueden incluirse en este grupo, aunque presentan bastantes concomitancias con las escorias, las cenizas volantes y de parrilla de las centrales termoeléctricas y las cenizas de lignitos. Por extensión, las mismas escorias siderúrgicas podrían acoplarse en el grupo. Como queda indicado, el representante más genuino de los materiales arcillosos elevables a la categoría de puzolana artificial es el polvo de ladrillo. Sometida la arcilla a tratamientos térmicos adecuados, se forman en ella compuestos puzolánicamente activos en virtud de reacciones y transformaciones en las que, junto a una estructura y constitución mineralógica de partida y a la composición química, juegan importantísimo papel como variables la temperatura y el tiempo.

Salazar Jaramilo, Alejandro (2001) en su investigación “Estudio y transformación de puzolanas naturales en productos de alta actividad para uso en la industria de la construcción” señala las siguientes ventajas de las Puzolanas:

En la resistencia mecánica:

- A largo plazo, al prolongar el período de endurecimiento
- A tracción
- A compresión
- Mejor relación tracción – compresión

En la estabilidad

- Frente a la expansión por cal libre
- Frente a la expansión por sulfatos
- Frente a la expansión por la reacción álcalis - agregado
- Frente a la retracción hidráulica de secado, por la menor relación a/c
- Frente a la retracción térmica por enfriamiento

- Frente a la fisuración

En la durabilidad

- Frente a ataques por agua puras y ácidas
- Frente a ataques por aguas y suelos sulfatados
- Frente a ataques por agua de mar
- Frente a ataques por gases de descomposición y fermentación de materias orgánicas
- Frente a la desintegración por la reacción álcalis - agregado

En el rendimiento y la economía

- Al corresponder a los cementos puzolánicos mayor volumen que a otros conglomerantes a igualdad de peso
- Al ser los cementos puzolánicos, en general, conglomerantes más baratos

En la plasticidad

- Rebajando la relación a/c
- Reduciendo la segregación
- Evitando la exudación y el sangrado

En la impermeabilidad

- Reduciendo la porosidad
- Evitando la formación de eflorescencias
- Produciendo la mayor cantidad de Tobermorita

En la adherencia

- Del agregado a la pasta
- Del mortero a las armaduras

En el comportamiento térmico

- Al liberar menor calor de hidratación
- Al producir menor elevación de temperatura

B. Componentes del concreto

Rivera L. Gerardo en su libro “Concreto Simple” señala como componentes del concreto a los siguientes:

- Cemento:

Es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene: sílice, alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto

en el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, cales aéreas y yesos.

El cemento Portland es el producto que se obtiene por la pulverización del clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el clinker.

- **Agregados**

Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto.

Como agregados de las mezclas de mortero o concreto se pueden considerar, todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de la partícula), no perturben ni afecten desfavorablemente las propiedades y características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Portland. En general, la mayoría son materiales inertes, es decir, que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás componentes de las mezclas, especialmente con el cemento; sin embargo, existen algunos agregados cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica, tales como:

las escorias de alto horno de las siderúrgicas, los materiales de origen volcánico en donde hay sílice activa, entre otros.

Pero hay algunos otros agregados, que presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del concreto y su durabilidad, como, por ejemplo, los que presentan elementos sulfurados, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellas que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras.

En general los agregados se han clasificado de varias maneras a través del tiempo, pero principalmente desde los puntos de vista de su procedencia, densidad, tamaño, forma y textura.

- **Agua de mezcla**

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.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es realizó en la ciudad de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca. Cuyos ensayos fueron realizados dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca en el Laboratorio de materiales de construcción.



FIGURA 02: Cajamarca Departamento (*Wikipedia*)

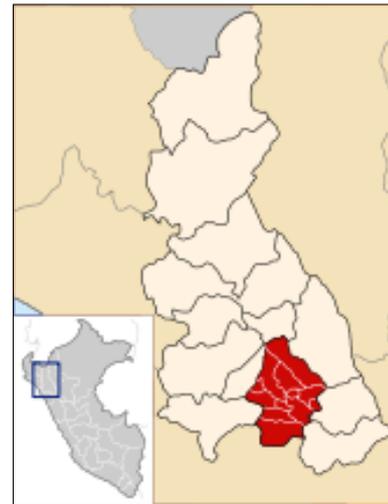
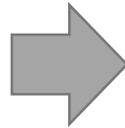


FIGURA 02: Cajamarca Provincia (*Wikipedia*)



FIGURA 03: Cajamarca Distrito (*Seace*)

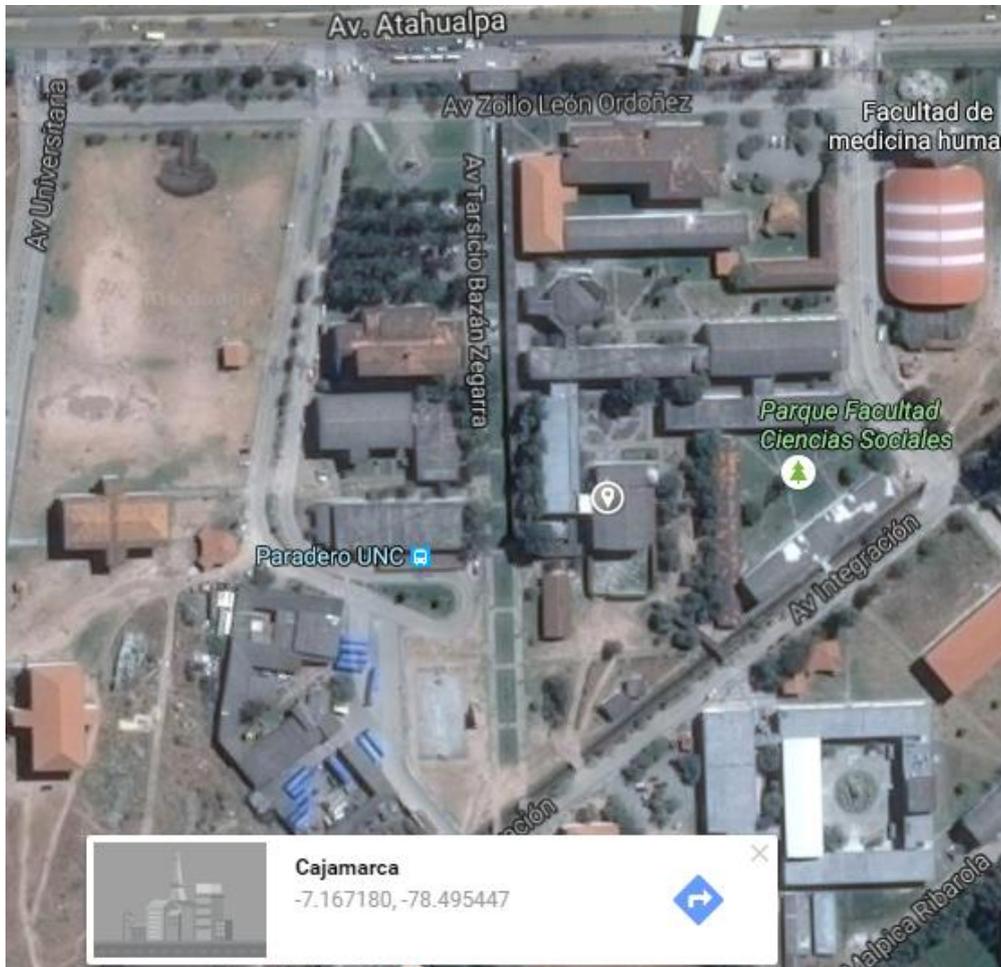


FIGURA 04: Vista satelital de la Universidad Nacional de Cajamarca (Google Maps)

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo

Teniendo como base bibliográfica a Félix Bocanegra Díaz con su libro “Bases metodológicas de la investigación científica”, podemos clasificar a nuestra investigación de la siguiente manera:

- De acuerdo a los propósitos de la investigación y a la naturaleza de los problemas: Investigación aplicada.
- De acuerdo a la técnica de contrastación: Investigación experimental, ya que manipula variables experimentales en condiciones de riguroso control.

3.2.2. Diseño

Según la clasificación de Roberto Hernández Sampieri en su libro “Metodología de la investigación” se puede definir al diseño de la presente investigación como Experimental Pura ya que se manipulará de manera intencional una variable (para

nuestro caso el porcentaje de adición de puzolana volcánica) para poder estudiar sus consecuencias sobre mas variables dependientes en una situación de control.

3.2.3. Variables

3.2.3.1. Variable Independiente

- Propiedades físico-mecánicas del agregado fino y del agregado grueso utilizados en el diseño de mezcla del concreto.
- Propiedades físico-mecánicas de la adición de puzolana volcánica utilizada en el diseño de mezcla del concreto.
- Propiedades físico-mecánicas del cemento Pacasmayo Tipo I, el cual fue el utilizado en la presente investigación.

3.2.3.2. Variable Dependiente

Resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto.

3.2.4. Población, muestra y unidad de análisis

Población: Especímenes de concreto.

Muestra: Especímenes de concreto con las siguientes características:

TABLA 01: Número de especímenes de concreto a ensayar

% de Adición de Puzolana Volcánica utilizado en el Diseño de Mezcla de Concreto	N° de Especímenes de concreto cilíndricos	N° de Especímenes de concreto prismáticos
0	18	6
10%	18	6
15%	18	6
20%	18	6

Unidad de Análisis: Especímenes de concreto.

3.3. CANTERA PROVEEDORA DE MATERIALES

3.3.1. Ubicación

La cantera seleccionada para la obtención de los agregados utilizados en la presente investigación fue la cantera Tartar Chico, cuyo propietario es el Ing. Edilberto Aguilar Flores. Dicha cantera se ubica a orillas del río Chonta en el distrito de Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca, con coordenadas geográficas $7^{\circ}09'02.77''$ S y $78^{\circ}27'57.03''$ O, a 2677 m.s.n.m.

El agregado grueso fue obtenido de la extracción de material del río Chonta y procesado en la cantera antes mencionada, mientras que por cuestiones de calidad el agregado fino procede del distrito de Chilete de la cantera ubicada en el km 94 carretera Ciudad de Dios- Cajamarca cuyo transporte a la ciudad de Cajamarca y venta la realiza el propietario de la cantera Tartar Chico.



FIGURA 05: Ubicación Cantera Tartar Chico (Google Earth)

3.3.2. Proceso de obtención de los agregados

El proceso para la obtención de los agregados se realiza mediante la utilización de maquinaria pesada como se describe a continuación:

1° Una retroexcavadora de $2 m^3$ de capacidad extrae el material del río el cual es cargado a un volquete de $15 m^3$ y transportado por este hacia un área de acopio dentro de la cantera.

2° El material pasa por una primera selección mediante una zaranda de 20", con la finalidad de evitar problemas futuros con las mandíbulas de la chancadora.

3° El material previamente seleccionado pasará una serie de procesos de trituración, lavado y zarandeo con la finalidad de obtener distintos tamaños de agregado (por lo general 3/4" y 1/2") según lo requieran los clientes.

4° El material ya procesado es transportado a una zona de acopio para su futura venta.

3.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

3.4.1. Extracción y preparación de muestras para ensayos

En base a la Norma ASTM D75 junto a la NTP 400.010-2011 (revisada el 2016) nos dan los alcances necesarios para realizar la más óptima extracción y preparación de las muestras (agregados) almacenados en pilas, como a continuación se describen:

- Identificar correctamente la pila de agregado a muestrear, realizando una inspección visual para evitar el muestreo en zonas no representativas.
- Dividir la pila en tres secciones horizontales (superior, media, inferior) y tomar tres muestras representativas de cada una de las secciones.
- Para el caso del agregado fino el muestreo se realizará descartando la capa superficial de material segregado.
- La cantidad de muestra total debe cumplir con lo señalado en la siguiente tabla:

TABLA 02: Medida de la Muestra (NTP 400.010-2011)

Tamaño máximo nominal del agregado ^A	Masa mínima aproximada para la muestra de campo kg ^B
Agregado fino	
2,36 mm	10
4,76 mm	10
Agregado grueso	
9,5 mm	10
12,5 mm	15
19,0 mm	25
25,0 mm	50
37,5 mm	75
50,00 mm	100
63,00 mm	125
75,00 mm	150
90,00 mm	175

3.4.2. Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo

En la norma ASTM C702 en concordancia con la NTP 400.043 se describe el procedimiento para la reducción de las muestras de los agregados a tamaños de

prueba con la finalidad de obtener muestras representativas con la menor variación posible entre ellas. El método utilizado normalizado es el “Método del Cuarteo”, el cual se describe a continuación:

1 ° Se mezcló la muestra mediante volteo sobre una superficie seca y nivelada con la finalidad de uniformizarla, para luego formar una pila cónica.

2° Con ayuda de una palana se procedió a aplanar la pila hasta obtener un círculo tratando de que el espesor y diámetro fuesen lo más uniformes posibles.

3° A continuación se divide el círculo en cuatro partes iguales, retirando posteriormente dos de las partes opuestas. El material que queda sobre la superficie se vuelve a mezclar y repetimos el procedimiento hasta obtener el tamaño deseado para realizar todos los ensayos pertinentes en el presente estudio.

3.4.3. Granulometría de los agregados

3.4.3.1. Granulometría del agregado fino

Las normas ASTM C33 en concordancia con la NTP 400.037 normalizan la adecuada gradación que deberá tener el agregado fino según los límites de la siguiente tabla:

TABLA 03: Granulometría del agregado fino (NTP 400.037)

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	05 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

✚ Los cálculos y resultados del análisis granulométrico del agregado grueso se muestran en el Anexo N° 01.

3.4.3.2. Granulometría del agregado grueso

El agregado grueso deberá cumplir con los requisitos de la siguiente tabla descritos en la norma ASTM C33 en concordancia con la NTP 400.037:

TABLA 04: Requisitos granulométricos del agregado grueso (NTP 400.037)

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 ½ 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 (3/8 pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
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	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37,5 mm a 19,0 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	25,0 mm a 12,5mm (1 pulg a ½ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25,0 mm a 4,75mm (1 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19,0 mm a 9,5 mm (¾ pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...
67	19,0 mm a 4 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 (1/2 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 (3/8 pulg a No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	12,5 mm a 9,5 mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Los cálculos y resultados del análisis granulométrico del agregado fino se muestran en el Anexo N° 02

3.4.3.3. Análisis Granulométrico del agregado fino, grueso y global

La norma ASTM C136 junto con la NTP 400.012 establecen el método para la determinación de la distribución por tamaños de partículas del agregado fino, grueso y global por tamizado.

- **Resumen del método**

Una muestra de agregado seca, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

- **Equipos**

- **Balanza:** Las balanzas utilizadas en el ensayo de agregado fino, grueso y global deberán tener la siguiente exactitud y aproximación:
 - Para agregado fino, con aproximación de 0,1 g y exacta a 0,1 g ó 0,1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.
 - Para agregado grueso o agregado global, con aproximación y exacta a 0,5 g ó 0,1 % de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.
- **Tamices:** Los tamices serán montados sobre armaduras construidas, de tal manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado.
- **Horno:** Un horno de medidas apropiadas capaz de mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- **Preparación de la muestra**

- La cantidad de muestra a ensayar para el agregado grueso debe ser el que corresponda al tamaño máximo de las partículas según la tabla siguiente:

TABLA 05: Peso de la muestra según Tamaño máximo de las partículas (NTP 400.012)

TAMAÑO MAX. DE LAS PARTÍCULAS (mm)	PESO APROX. DE LA MUESTRA (kg)
9.51 (3/8")	2
12.70 (1/2")	4
19.00 (3/4")	8
25.40 (1")	12
37.50 (1 1/2")	16
50.00 (2")	20
63.00 (2 1/2")	25
75.00 (3")	45
90.00 (3 1/2")	70

- Para el agregado fino, el peso de la muestra de ensayo, debe ser 500 gramos como mínimo.
- Cuando el agregado fino y el agregado grueso se encuentren mezclados, se los debe separar mediante el tamiz N°4 (4.76mm) para proceder al tamizado individual de dichos agregados.

- **Procedimiento**

El procedimiento utilizado para realizar el análisis granulométrico es el descrito a continuación:

- Secar la muestra a peso constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Se seleccionaron tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado.
- Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior y agitar los tamices manualmente.
- Si en el transcurso de un minuto, no pasa más del 1% en peso del material retenido sobre el tamiz, la operación del tamizado se dará por concluida

3.4.4. Tamaño máximo nominal del agregado grueso

Según se define el concepto en la norma NTP 400.037 el tamaño máximo nominal es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido entre 5% y 10%.

Según el Reglamento Nacional de Construcciones, el Tamaño Máximo del agregado para concreto:

- Será el pasante por el tamiz de 2 ½”
- No será mayor que:
 - 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado
 - 1/3 del peralte de la losa
 - ¾ del espaciamiento libre entre las varillas de refuerzo, paquetes de varillas, cables o ductos de pre esfuerzo.

Esta especificación puede omitirse si, a criterio del Ingeniero, los métodos de compactación y trabajabilidad del concreto son tales, que al ser colocado no se presentan cangrejeras o vacíos.

Para nuestro estudio el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso es de ¾” el cual es calculado a partir del análisis granulométrico realizado con anterioridad.

3.4.5. Módulo de fineza

Se define teóricamente al módulo de fineza o finura como el indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas de un agregado.

Asimismo, el módulo de finura puede considerarse como un tamaño promedio ponderado, pero que no representa la distribución de partículas.

Es preciso mencionar que el módulo de fineza está en relación inversa tanto a las áreas superficiales como al valor lubricante del agregado; por lo que la demanda de agua por área superficial será menor, mientras mayor sea el módulo de finura.

Por lo general el método utilizado para el cálculo del módulo de fineza está referida exclusivamente al agregado fino, pero para nuestro estudio es de vital importancia este cálculo tanto para agregado fino como para el grueso por el método de diseño de mezcla a utilizar.

El módulo de fineza se calcula a partir de los resultados del análisis granulométrico, sumando los porcentajes retenidos acumulados de los tamices: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100; y dividiendo finalmente dicha suma entre 100:

$$MF = \frac{\% \text{ Retenido acumulado (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100} \dots\dots\dots \text{Fórmula N°01}$$

3.4.6. Peso Específico y Absorción

En las normas NTP 400.021-2013 y la NTP 400.022-2013 nos dan a conocer el procedimiento para el cálculo del peso específico y absorción de los agregados grueso y fino respectivamente. Además, definen los siguientes términos aplicables al presente ensayo:

- a. Absorción: es el aumento de masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, durante un periodo de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua que se adhiere a la superficie exterior de las partículas se le expresa como porcentaje de la masa seca.
- b. Peso específico: Es la masa de las partículas del agregado secado al horno por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poros permeables dentro de las partículas, pero sin incluir los espacios vacíos entre partículas.
- c. Peso específico aparente: es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario del material, a la masa en el aire (de igual densidad) de un volumen igual de agua destilada libre de gas, a una temperatura especificada
- d. Peso específico de masa: viene a ser la relación entre la masa en el aire de un volumen unitario del material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables, naturales del material), a la masa en el aire (de igual densidad) de un volumen igual de agua destilada, libre de gas y a una temperatura especificada.
- e. Peso específico de masa saturada superficialmente seca: Posee la misma definición que el peso específico de masa, con la diferencia que la masa incluye el agua en los poros permeables.

3.4.6.1. Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso

La norma NTP 400.021-2013 en concordancia con la ASTM C127 describe el procedimiento y cálculos para el presente ensayo.

- **Aparatos:**

- **Balanza:** Un dispositivo para la determinación de masa que es sensible, fácil de leer, y una precisión de 0.05% de la carga de muestra en cualquier punto dentro de la gama de uso de este método de ensayo, o de 0,5 g, lo que sea mayor. La balanza deberá estar equipada con un aparato adecuado para suspender el recipiente de la muestra en el agua desde el centro de la plataforma o el plato de la balanza.
- **Recipiente para muestra:** Una canasta de alambre de 3.35 mm (N°6) o de malla fina o un cubo de aproximadamente el mismo ancho y altura, con una capacidad de 4 a 7 litros, agregado de tamaño máximo nominal o menor de 37,5 mm (1 ½”) y un recipiente más grande, según sea necesario, para ensayos de agregado de mayor tamaño máximo. El recipiente deberá estar construido, de modo que, evite la retención de aire cuando se sumerge en agua.
- **Depósito** adecuado para sumergir la canasta de alambre.
- **Estufa:** una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- **Procedimiento:**

1° Secar la muestra de ensayo en una estufa hasta una masa constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, enfriar a temperatura ambiente durante 1 h a 3 h. Posteriormente sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente, durante un periodo de $24\text{h} \pm 4\text{h}$.

2° Retirar la muestra del agua y hacer rodar sobre un paño absorbente grande hasta que se eliminan todas las partículas visibles de agua. Limpiar las partículas más grandes individualmente. Tener cuidado para evitar la evaporación del agua de los poros de agregados durante la operación de secado de superficie. Determinar la masa de la muestra de ensayo, en la condición de superficie saturada seca.

3° Después de la determinación de la masa en aire, colocar inmediatamente la muestra saturada superficialmente seca en el recipiente de la muestra y determinar su masa aparente en agua a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Tener cuidado de eliminar

todo el aire antes de determinar la masa, agitando el recipiente mientras está sumergido.

4° Secar la muestra de ensayo en la estufa hasta una masa constante, a temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, enfriar en aire a temperatura ambiente durante 1 h a 3 h, o hasta que el agregado se ha enfriado a una temperatura que es apropiada para la manipulación y determinar la masa.

- **Cálculos:**

- **Peso Específico de Masa:**

$$\text{Peso Específico de masa} = \frac{A}{B-C} \dots\dots\dots \text{Fórmula N}^{\circ}02$$

En donde:

A = masa de la muestra secada al horno en aire, g

B = masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire, g

C = masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g

- **Peso Específico en estado saturado superficialmente seco:**

$$\text{Peso Específico en estado SSS} = \frac{B}{B-C} \dots\dots\dots \text{Fórmula N}^{\circ}03$$

- **Peso Específico aparente:**

$$\text{Peso Específico aparente} = \frac{A}{A-C} \dots\dots\dots \text{Fórmula N}^{\circ}04$$

- **Absorción:**

$$\text{Absorción, \%} = \frac{B-A}{A} \times 100 \dots\dots\dots \text{Fórmula N}^{\circ}05$$

Los cálculos y resultados del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso se muestran en el Anexo N° 03.

3.4.6.1. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino

La norma NTP 400.022-2013 en concordancia con la ASTM C128 describe el procedimiento y cálculos para el presente ensayo.

- **Aparatos:**

- **Balanza:** Una balanza o báscula que tiene una capacidad de 1 kg o más, sensibles a 0,1 g o menos, y una precisión de 0,1 % de la carga de ensayo en cualquier punto dentro de la gama de uso de este método de ensayo.
- **Picnómetro:** Un frasco u otro contenedor apropiado en el cual la muestra de agregado fino puede ser rápidamente introducida. Un matraz aforado de 500 cm^3 de capacidad o un frasco de vidrio, equipado con una tapa de picnómetro es satisfactorio para una muestra de 500 g de la mayoría de los áridos finos.
- **El molde y barra compactadora para los ensayos superficiales de humedad:** El molde metálico deberá tener la forma de cono con las dimensiones de la siguiente manera: 40 mm \pm 3 mm de diámetro interior en la parte superior, 90 mm \pm 3 mm de diámetro interior en la parte inferior y 75 mm \pm 3 mm de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0.8 mm. La barra compactadora de metal tendrá una masa de 340 g \pm 15 g y una cara plana circular de apisonamiento de 25 mm \pm 3 mm de diámetro.
- **Estufa:** una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110°C \pm 5°C.

- **Preparación de la muestra:**

1° Colocar la muestra de ensayo en un recipiente adecuado y secar en la estufa hasta una masa constante a una temperatura 110°C \pm 5°C. Dejar que se enfríe a una temperatura apropiada de manipulación, cubrir con agua y dejar reposar durante 24h \pm 4h.

2° Decantar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, extender la muestra sobre una superficie plana no absorbente expuesta a una corriente suave de aire caliente y moverla con frecuencia para garantizar el secado homogéneo. Continuar esta operación hasta que la muestra de ensayo

obtenga una condición de flujo libre. Siga el procedimiento de prueba de humedad superficial descrita en el siguiente párrafo.

3° Prueba de humedad superficial: Colocar el molde firmemente sobre una superficie no absorbente suave con el diámetro mayor hacia abajo. Colocar una porción dl agregado fino suelto parcialmente seco en el molde llenándolo hasta el tope y amontonar material adicional por encima de la parte superior del molde sujetándolo con los dedos de la mano que sostiene el molde. Ligeramente apisonar el agregado fino en el molde con 25 golpes con la barra compactadora. Comience cada golpe aproximadamente a 5 mm por encima de la superficie superior del agregado fino. Permita que la barra compactadora caiga libremente bajo la atracción gravitatoria de cada golpe. Ajustar la altura inicial de la nueva elevación de la superficie después de cada golpe y distribuir los golpes sobre la superficie. Retirar la arena suelta de la base y levantar el molde verticalmente. Si la humedad de la superficie está todavía presente, el agregado fino conservará la forma moldeada. La ligera caída del agregado fino moldeado indica que se ha llegado a un estado de superficie seca.

4° Realizar el primer ensayo para humedad superficial cuando todavía hay un poco de agua superficial en la muestra de ensayo. Continuar secando con agitación constante y ensayar a intervalos frecuentes hasta que la prueba indique que la muestra ha alcanzado una condición de superficie seca. Si el primer ensayo de humedad superficial indica que la humedad no está presente en la superficie, la muestra se ha secado más allá de la condición de saturada superficialmente seca. En este caso mezclar bien unos pocos mililitros de agua con el agregado fino y permitir que la muestra repose en un recipiente cubierto durante 30 minutos. A continuación, reanudar el proceso de secado y prueba a intervalos frecuentes para el inicio de la condición de superficie seca.

- **Procedimiento:**

1° Llenar parcialmente el picnómetro con agua. Introducir en el picnómetro 500 g \pm 10 g de agregado fino saturado superficialmente seco y llenar de agua adicional hasta aproximada el 90% de su capacidad. Agitar el picnómetro

manualmente: rodar, invertir o agitar manualmente el picnómetro para eliminar las burbujas de aire visibles.

2° Después de la eliminación de todas las burbujas de aire llevar el nivel de agua en el picnómetro a su capacidad de calibración. Determinar la masa la masa total del picnómetro, el espécimen y el agua.

3° Retirar el agregado fino del picnómetro, secar en el horno a una masa constante, a una temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, enfriar en aire a temperatura ambiente durante $1 \text{ h} \pm \frac{1}{2} \text{ h}$, y determinar la masa.

4° Determinar la masa del picnómetro lleno a su capacidad de calibración con agua.

- **Cálculos:**

- **Peso Específico de Masa:**

$$\text{Peso Específico de masa} = \frac{W}{V - V_a} \dots\dots\dots \text{Fórmula N}^{\circ}06$$

En donde:

V = Volumen del frasco, cm^3

W = masa de la muestra secada en estufa, g

V_a = masa (g) o volumen (cm^3) del agua añadida al frasco

- **Peso Específico en estado saturado superficialmente seco:**

$$\text{Peso Específico en estado SSS} = \frac{500}{V - V_a} \dots\dots\dots \text{Fórmula N}^{\circ}07$$

- **Peso Específico aparente:**

$$\text{Peso Específico aparente} = \frac{W}{(V - V_a) - (500 - W)} \dots\dots\dots \text{Fórmula N}^{\circ}08$$

- **Absorción:**

$$\text{Absorción, \%} = \frac{500-W}{W} \times 100 \dots\dots\dots \text{Fórmula N}^\circ 09$$

Los cálculos y resultados del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso se muestran en el Anexo N° 04.

3.4.7. Peso Unitario

Según lo describe la norma NTP 400.017-2011 en concordancia con la ASTM C29, el peso unitario es la masa de una unidad de volumen de la masa material del agregado, en que el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre partículas, expresado en kg/m^3 .

- **Aparatos:**

- **Balanza:** Una balanza con exactitud dentro el 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 0,05 kg
- **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, preferiblemente provisto de asas. 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.
- **Pala o cucharón:** una pala o cucharón de un tamaño conveniente para llenar el recipiente con el agregado.
- **Picnómetro:** Un frasco u otro contenedor apropiado aforado de 500 cm^3 de capacidad.

- **Muestra de ensayo:**

El tamaño de la muestra será aproximadamente de 125 % a 200 % la cantidad requerida para llenar el recipiente, y será manipulada de manera de evitar la segregación. Secar la muestra de agregado a masa constante, preferiblemente en una estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- **Procedimiento para determinar el peso específico del agua**

1° Llenar el picnómetro con agua hasta su aforo de 500 cm^3 .

2° Determinar la masa del picnómetro con agua y la masa del recipiente vacío.

- **Procedimiento para determinar el Factor**

1° Llenar el recipiente con agua completamente.

2° Determinar la masa del recipiente con agua y la masa del recipiente vacío.

- **Procedimiento Peso Suelto:**

1° Llenar el recipiente con la pala o cucharón, descargando el agregado de una altura que no exceda 50 mm encima del borde superior del mismo. Tener cuidado a fin de prevenir, como sea posible, la segregación del tamaño de partículas que constituyen la muestra. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente equilibren los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.

2° Determinar la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío, y registrar los valores con exactitud de 0,05 kg.

- **Procedimiento de apisonado:**

1° Llenar el recipiente a un tercio del total y nivelar la superficie con los dedos. Apisonar la capa de agregado con 25 golpes con la varilla de apisonado uniformemente distribuido sobre la superficie. Llenar el recipiente a los 2 tercios del total y nuevamente nivelar y apisonar como anteriormente. Finalmente, llenar el recipiente a sobre- volumen y apisonar nuevamente de la forma indicada líneas arriba. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más

grandes del agregado grueso aproximadamente equilibre los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.

En el apisonado de la primera capa, procurar no golpear el fondo del recipiente con fuerza con la varilla. En el apisonado de la 2° y 3° capas, usar un esfuerzo vigoroso, pero no mayor de la que pueda causar la penetración de la varilla a la capa previa del agregado.

2° Determinar la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío, y registrar los valores con exactitud de 0,05 kg.

- **Cálculos:**

- **Peso específico del agua**

$$P = \frac{M2-M1}{V} \dots\dots\dots \text{Fórmula N°10}$$

En donde:

P = peso específico del agua, kg/m³

M2 = masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, kg

M1 = masa del picnómetro vacío, kg

V = Volumen del picnómetro, m³

- **Peso específico**

$$F = \frac{P}{W-M} \dots\dots\dots \text{Fórmula N°11}$$

$$PU = (G - M)X F \dots\dots\dots \text{Fórmula N°12}$$

En donde:

P = peso específico del agua, kg/m³

W = masa del recipiente lleno de agua, kg

M = masa del recipiente vacío, kg

F = Factor para el recipiente, 1/m³

G = masa del recipiente lleno con el agregado, kg

PU = peso específico del agregado, kg/m³

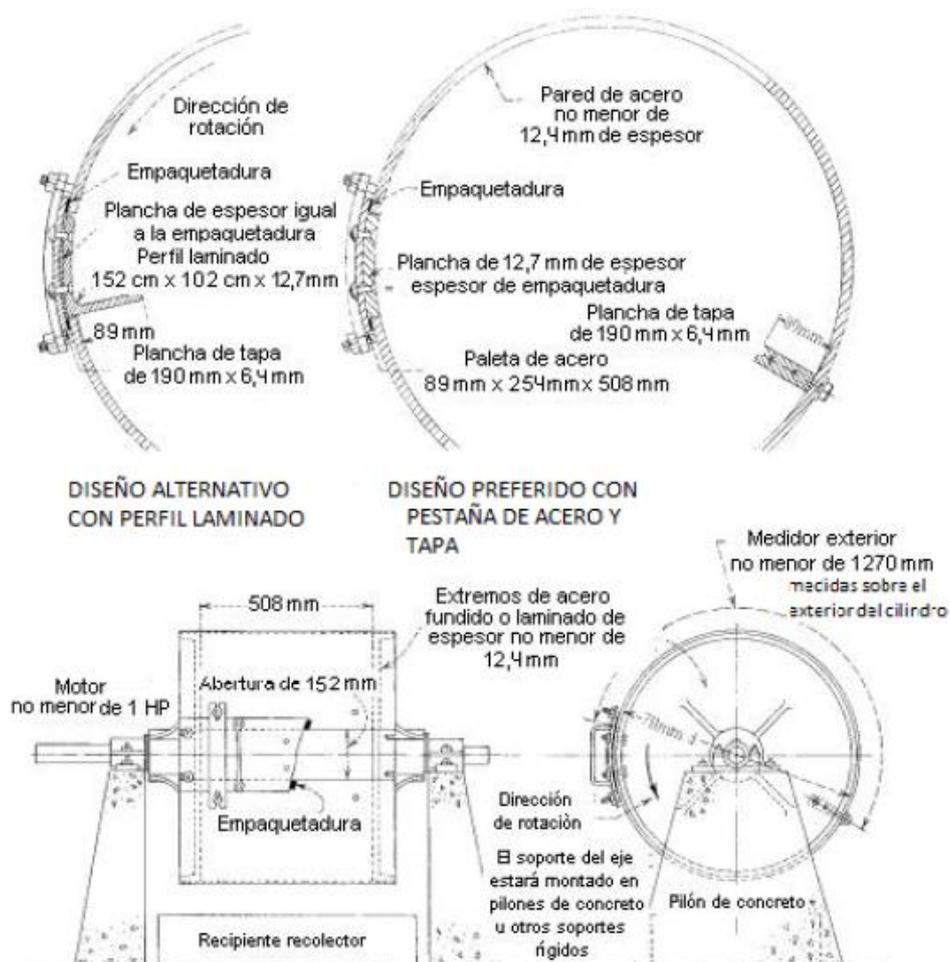
- Los cálculos y resultados del ensayo de peso unitario se muestran en el Anexo N° 05.

3.4.8. Desgaste o abrasión del agregado grueso

El presente ensayo es descrito en la norma NTP 400.019-2014 en concordancia con la norma ASTM C 131, estableciendo el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37.5 mm (1 ½") con la finalidad de determinar su resistencia a la degradación utilizando la máquina de Los Ángeles.

- Aparatos:**

- **Máquina de Los Ángeles:** Tendrá las características esenciales que se muestran en la Figura siguiente:



Máquina de ensayo Los Ángeles (NTP 400.019-2014)

- **Tamices:** Requeridos según la gradación de muestra de ensayo.
- **Balanza:** Una balanza o báscula con exactitud al 0,1 % de la carga de ensayo sobre el rango requerido para este ensayo.
- **Carga:** La carga consistirá en esferas de acero o bolas de cojinetes con un diámetro entre 46 mm (1 13/16”) y 48 mm (1 7/8”) y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g.

La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo, será como sigue:

TABLA 06: Masa de carga según la gradación de la muestra (NTP 400.019)

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga, g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 25

TABLA 07: Gradación de las muestras de ensayo (NTP 400.019)

Tamiz mm (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	1250 ± 25	.....	.....	.....
25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (¾ pulg)	1250 ± 25	.....	.....	.....
19,0 mm (¾ pulg)	12,5 mm (½ pulg)	1250 ± 10	2500 ± 10	.....	.....
12,5 mm (½ pulg)	9,5 mm (⅜ pulg)	1250 ± 10	2500 ± 10	.....	.....
9,5 mm (⅜ pulg)	6,3 mm (¼ pulg)	.....	.....	2500 ± 10	.....
6,3 mm (¼ pulg)	4,75 mm (N°4)	.....	.....	2500 ± 10	.....
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	.....	.....	.....	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

- **Preparación de la muestra de ensayo:**

Lavar la muestra reducida y secar al horno a peso constante a 110°C ± 5°C, separar cada fracción individual y recombinar a la gradación, lo más cercano que corresponda al rango de medidas del agregado proporcionado para el ensayo. Registrar la masa de la muestra previamente al ensayo con aproximación a 1 g.

- **Procedimiento:**

Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33 rpm, por 500 revoluciones. Luego del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra sobre un tamiz de mayor abertura que el tamiz normalizado de 1.70 mm (N° 12). Tamizar la porción fina por el tamiz 1,70 mm. Lavar el material más grueso que la malla de 1.70 mm y secar al horno a 110°C ± 5°C, hasta peso constante y determinar la masa con una aproximación a 1g.

- **Cálculo:**

Calculamos la pérdida como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Informar este valor como el porcentaje de pérdida.

$$\% \text{ de Desgaste} = \frac{C-Y}{C} \times 100 \dots\dots\dots \text{Fórmula N°13}$$

Donde:

C = masa original de la muestra de ensayo, g

Y = masa final de la muestra de ensayo, g

Los cálculos y resultados del ensayo de desgaste o abrasión del agregado grueso se muestran en el Anexo N° 06.

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

El método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 µm (N° 200) está descrito en la norma NTP 400.018-2013.

- **Aparatos:**

- **Tamices:** Se utiliza el tamiz normalizado de 1.18 mm (N° 16) y el de 75 µm (N°200).

- Recipientes: Un recipiente de suficiente tamaño para contener la muestra cubierta con agua y permitir una agitación vigoroso sin pérdidas de la muestra ni el agua.
- Balanza: Sensible a 0,1 % del peso medido.
- Estufa: Una estufa de tamaño suficiente capaz de mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- **Muestreo**

El tamaño de la muestra de ensayo, después del secado, será de conformidad con la siguiente tabla:

TABLA 08: Cantidad mínima de muestra a ensayar

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima, g
4,75 mm (N°4) o más pequeño	300
Mayor que 4,75 mm (N°4) a 9,5 mm (3/8")	1000
Mayor que 9,5 mm (3/8") a 19 mm (3/4")	2500
Mayor a 19 mm (3/4")	5000

- **Procedimiento:**

1° Secar la muestra de ensayo a peso constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Determinar la cantidad de la masa con una aproximación al 0.1%.

2° Colocar la muestra de ensayo en el recipiente y adicionar agua suficiente para cubrirla, Agitar la muestra vigorosamente con el fin de separar completamente todas las partículas más finas que el tamiz normalizado $75\ \mu\text{m}$ (N°200) de las partículas gruesas, y llevar el material fino a la suspensión. Verter inmediatamente el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre los tamices, colocando el tamiz más grueso en la parte superior. Tener cuidado para evitar tanto como sea posible, la decantación de las partículas más gruesas de la muestra.

3° Adicionar una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agitar, y decantar como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado esté clara.

4° Retornar todo el material retenido sobre los tamices mediante un chorro de agua. Secar el agregado lavado a peso constante a una temperatura de 110°C ± 5°C y determinar la masa con aproximación al 0,1 % de la masa original de la muestra.

- Cálculo:

Calcular la cantidad de material que pasa el tamiz normalizado de 75 µm (N°200) por vía húmeda tal como sigue:

$$A = \frac{P1-P2}{P1} \times 100 \dots\dots\dots \text{Fórmula N°14}$$

Donde:

A = Porcentaje de material más fino que pasa por el tamiz normalizado de 75 µm (N°200) por vía húmeda.

P1 = masa seca de la muestra original, g

P2 = masa seca de la muestra luego del lavado, g

✚ Los cálculos y resultados del ensayo de materiales más finos que pasan por el tamiz N°200 se muestran en el Anexo N° 07.

3.5. CARACTERÍSTICAS DE LA PUZOLANA

3.5.1. Determinación del peso específico y absorción

Actualmente no contamos con una norma que describa la determinación de las propiedades de la puzolana volcánica (roca traquita) como son el peso específico y absorción para su uso en la elaboración de concreto, por lo tanto, tomaremos como referencia a la norma NTP 400.022 en concordancia con la norma ASTM C128, las cuales describen el método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado fino.

- **Aparatos:**

- **Balanza:** Una balanza o báscula que tiene una capacidad de 1 kg o más, sensibles a 0,1 g o menos, y una precisión de 0,1 % de la carga de ensayo en cualquier punto dentro de la gama de uso de este método de ensayo.
- **Picnómetro:** Un frasco u otro contenedor apropiado en el cual la muestra de agregado fino puede ser rápidamente introducida. Un matraz aforado de 500 cm^3 de capacidad o un frasco de vidrio, equipado con una tapa de picnómetro es satisfactorio para una muestra de 500 g de la mayoría de los áridos finos.
- **El molde y barra compactadora para los ensayos superficiales de humedad:** El molde metálico deberá tener la forma de cono con las dimensiones de la siguiente manera: 40 mm \pm 3 mm de diámetro interior en la parte superior, 90 mm \pm 3 mm de diámetro interior en la parte inferior y 75 mm \pm 3 mm de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0.8 mm. La barra compactadora de metal tendrá una masa de 340 g \pm 15 g y una cara plana circular de apisonamiento de 25 mm \pm 3 mm de diámetro.
- **Estufa:** una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110°C \pm 5°C.

- **Preparación de la muestra:**

1° Extraer la roca taquita de la cantera en la condición de meteorizada. A continuación, se procede a pulverizarla, para lo cual se utilizan dos procedimientos: primero se disgrega la muestra con la ayuda de un mazo sobre una superficie plana no absorbente, el segundo paso es pasar la muestra ya disgregada por un molino de grano con la finalidad de disgregar aún más las partículas.

2° Con la finalidad de que la roca traquita funcione como agente cementante es necesario que sus partículas sean menores a la abertura del tamiz N°200. En el presente estudio se utilizó la traquita tamizada por la malla N°60, la justificación de esta modificación radica en la dificultad de tamizar la cantidad de muestra necesaria por el tamiz N° 200, ya que no contamos en la ciudad de Cajamarca con un molino industrial de bola, el cual es el que se utiliza para este procedimiento. Para garantizar el correcto funcionamiento de la roca traquita tamizada por la malla N° 60 en la elaboración de concreto como agente cementante se elaboraron un menor número de probetas con la traquita tamizada por la malla N° 200 y se compararon ambos los resultados, presentando una mínima variación entre estos.

3° Colocar la muestra de ensayo en un recipiente adecuado y secar en la estufa hasta una masa constante a una temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Dejar que se enfríe a una temperatura apropiada de manipulación, cubrir con agua y dejar reposar durante $24\text{h} \pm 4\text{h}$.

4° Decantar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, extender la muestra sobre una superficie plana no absorbente expuesta a una corriente suave de aire caliente y moverla con frecuencia para garantizar el secado homogéneo. Continuar esta operación hasta que la muestra de ensayo obtenga una condición de flujo libre. Siga el procedimiento de prueba de humedad superficial descrita en el siguiente párrafo.

5° Prueba de humedad superficial: Colocar el molde firmemente sobre una superficie no absorbente suave con el diámetro mayor hacia abajo. Colocar una porción dl agregado fino suelto parcialmente seco en el molde llenándolo hasta el tope y amontonar material adicional por encima de la parte superior del molde sujetándolo con los dedos de la mano que sostiene el molde. Ligeramente apisonar el agregado fino en el molde con 25 golpes con la barra compactadora. Comience cada golpe aproximadamente a 5 mm por encima de la superficie superior del agregado fino. Permita que la barra compactadora caiga libremente bajo la atracción gravitatoria de cada golpe. Ajustar la altura inicial de la nueva elevación de la superficie después de cada golpe y distribuir los golpes sobre la superficie. Retirar la arena suelta de la base y levantar el molde verticalmente. Si la humedad de la superficie está todavía presente, el agregado fino conservará la forma moldeada. La ligera caída del agregado fino moldeado indica que se ha llegado a un estado de superficie seca.

6° Realizar el primer ensayo para humedad superficial cuando todavía hay un poco de agua superficial en la muestra de ensayo. Continuar secando con agitación constante y ensayar a intervalos frecuentes hasta que la prueba indique que la muestra ha alcanzado una condición de superficie seca. Si el primer ensayo de humedad superficial indica que la humedad no está presente en la superficie, la muestra se ha secado más allá de la condición de saturada superficialmente seca. En este caso mezclar bien unos pocos mililitros de agua con el agregado fino y permitir que la muestra repose en un recipiente cubierto durante 30 minutos. A continuación, reanudar el proceso de secado y prueba a intervalos frecuentes para el inicio de la condición de superficie seca.

- **Procedimiento:**

1° Llenar parcialmente el picnómetro con agua. Introducir en el picnómetro 500 g \pm 10 g de agregado fino de saturada seca superficialmente y llenar de agua adicional hasta aproximada el 90% de su capacidad. Agitar el picnómetro manualmente: rodar, invertir o agitar manualmente el picnómetro para eliminar las burbujas de aire visibles.

2° Después de la eliminación de todas las burbujas de aire llevar el nivel de agua en el picnómetro a su capacidad de calibración. Determinar la masa la masa total del picnómetro, el espécimen y el agua.

3° Retirar el agregado fino del picnómetro, secar en el horno a una masa constante, a una temperatura 110°C \pm 5°C, enfriar en aire a temperatura ambiente durante 1 h \pm ½ h, y determinar la masa.

4° Determinar la masa del picnómetro lleno a su capacidad de calibración con agua.

- **Cálculos:**

- **Peso Específico:**

$$\text{Peso Específico} = \frac{W}{V - V_a} \dots \dots \dots \text{Fórmula N°15}$$

En donde:

V = Volumen del frasco, cm^3

W = masa en el aire de la muestra secada en estufa, g

Va = masa (g) o volumen (cm^3) del agua añadida al frasco

○ **Absorción:**

$$\text{Absorción, \%} = \frac{500-W}{W} \times 100 \dots\dots\dots \text{Fórmula N°16}$$

✚ Los cálculos y resultados del ensayo de peso específico y absorción de la roca traquita se muestran en el Anexo N° 08.

3.6. OTROS MATERIALES A SER UTILIZADOS

3.6.1. Cemento

El cemento empleado en la preparación del concreto es el Cemento Pacasmayo Portland Tipo I el cual es un cemento de uso general que cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150. El cemento portland Tipo I se fabrica mediante la molienda conjunta de clinker Tipo I y yeso que le brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.

Sus aplicaciones son de uso tradicional en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales de ningún tipo, como, por ejemplo:

- Obras de concreto y de concreto armado en general
- Para estructuras que requieren rápido desencofrado
- Concreto en clima frío
- Prefabricados
- Pavimentos y cimentaciones.

✚ Las propiedades específicas del cemento portland Tipo I son descritas en el Anexo N° 09.

3.6.2. Agua

El agua empleada en la preparación y curado del concreto fue agua potable de la Universidad Nacional de Cajamarca la cual cumple con los requisitos establecidos en la norma NTP 339.088.

3.7. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CON ADICIÓN DE PUZOLANA VOLCÁNICA

La presente investigación es de tipo experimental, para lo cual se realizó una serie de pruebas y ensayos estandarizados en el laboratorio de materiales obteniendo datos reales. El análisis e interpretación de estos datos nos permitirá validar o negar la hipótesis planteada en un inicio.

3.7.1. Propiedades de los materiales utilizados en el estudio

A. AGREGADO GRUESO

TABLA 09: Propiedades del agregado grueso

ENSAYO	UND	VALOR
Tamaño máximo nominal	-	3/4"
Peso específico de masa	g/cm ³	2.616
Peso específico de masa SSS	g/cm ³	2.645
Peso específico aparente	g/cm ³	2.695
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	1418
Peso unitario suelto seco compactado	kg/m ³	1556
Contenido de humedad	%	0.81
Absorción	%	1.124
Módulo de finura	-	6.82
Abrasión	%	26.16
Porcentaje que pasa malla n° 200	%	0.41

B. AGREGADO FINO

TABLA 10: Propiedades del agregado fino

ENSAYO	UND	VALOR
Peso específico de masa	g/cm ³	2.642
Peso específico de masa SSS	g/cm ³	2.671
Peso específico aparente	g/cm ³	2.723

Peso unitario suelto seco	kg/m ³	1766
Peso unitario suelto seco compactado	kg/m ³	1899
Contenido de humedad	%	3.37
Absorción	%	1.13
Módulo de finura	-	3.08
Porcentaje que pasa malla nº 200	%	2.83

C. ADICIÓN DE PUZOLANA VOLCÁNICA (ROCA TRAQUITA)

TABLA 11: Propiedades de la adición de puzolana volcánica

ENSAYO	UND	VALOR
Peso específico	g/cm ³	2.395
Absorción	%	7.939

D. CEMENTO

TABLA 12: Propiedades del cemento (Ficha técnica de Cementos Pacasmayo)

MARCA	PACASMAYO	
TIPO	Portland Tipo I	
Peso específico	3.08	g/cm ³

3.7.2. Diseño de la muestra de Prueba

El método escogido para realizar los diseños de concreto es el método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados, pues se aproxima más a la realidad de nuestro entorno involucrando los módulos de finura reales de los agregados utilizados.

Los pasos para realizar el diseño de mezcla de prueba se describen a continuación:

1º. Determinación de la resistencia promedio a partir de la resistencia a compresión especificada.

Teniendo en cuenta el grado de control de la calidad se calcula la resistencia promedio:

$$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f'cr = 1.2 * f'c \text{ (Criterio de control de calidad).....Fórmula N}^\circ\text{17}$$

$$f'cr = 1.2 * 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f'cr = 252 \text{ Kg/cm}^2$$

2º. Selección del asentamiento

De acuerdo a su consistencia, las mezclas de concreto se clasifican en:

- a) Mezclas secas; aquellas cuyo asentamiento está entre cero y dos pulgadas (0 mm a 50 mm)
- b) Mezclas plásticas; aquellas cuyo asentamiento está entre tres y cuatro pulgadas (75 mm a 100 mm)
- c) Mezclas fluidas; aquellas cuyo asentamiento está entre cinco o más pulgadas (mayor a 125 mm). (Rivva,2013, pag.72)

TABLA 13: Selección del Asentamiento (Diseño de mezclas, Rivva, 2013)

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	MÁXIMO	MÍNIMO
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Slump = 3" – 4"



Consistencia Plástica Trabajable

3º. Selección del TMN del agregado grueso

TMN = $\frac{3}{4}$ "

4º. Estimación del agua de mezcla

Tomando en cuenta el TMN del agregado grueso y el asentamiento seleccionado se determina el volumen unitario de agua por medio de la siguiente tabla:

TABLA 14: Volumen Unitario de agua (Diseño de mezclas, Rivva, 2013)

ASENTAMIENTO	AGUA, EN LITROS/m ³ , PARA LOS TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES DE AGREGADO GRUESO Y CONSISTENCIA INDICADOS							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO								

1" A 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" A 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" A 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO								
1" A 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" A 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" A 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Agua = 205 l/m³

5º. Estimación del contenido de aire atrapado

Tomando en cuenta el TMN se estima el contenido de aire atrapado por la tabla siguiente:

TABLA 15: Contenido de aire atrapado (Diseño de mezclas, Rivva, 2013)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	AIRE ATRAPADO
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Aire= 2.0 %

6º. Selección de la relación agua/cemento

Según la resistencia promedio calculada interpolamos para calcular la relación agua/cemento según la siguiente tabla:

TABLA 16: Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto (Diseño de mezclas, Rivva, 2013)

f'cr (28 días)	RELACIÓN AGUA-CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	

	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	...
450	0.38	...

$$50 \left\{ \begin{array}{l} 2 \left\{ \begin{array}{l} 250 \text{ Kg/cm}^2 \\ 252 \text{ Kg/cm}^2 \\ 300 \text{ Kg/cm}^2 \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} 0.62 \\ a/c \\ 0.55 \end{array} \right\} x \end{array} \right\} 0.07$$

$$x = \frac{0.07 * 2}{50}$$

$$x = 0.0028$$

$$a/c = 0.62 - x$$

$$a/c = 0.62 - 0.0028$$

$$a/c = 0.6172 \sim 0.62$$

7º. Cálculo del factor cemento

$$\rightarrow \frac{a}{c} = 0.62$$

$$c = \frac{a}{0.62}$$

$$c = \frac{205 \text{ l/m}^3}{0.62}$$

$$c = 332.15 \text{ kg/m}^3$$

$$\rightarrow \text{N}^\circ \text{ bolsas} = \frac{332.15 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bls}} = 7.815 \text{ bolsas/m}^3$$

8º. Determinación del volumen absoluto de la pasta de cemento

$$\text{Cemento} = \frac{332.15 \text{ kg/m}^3}{1000 * 3.08 \text{ g/cm}^3} = 0.108 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua de mezcla} = \frac{250 \text{ l/m}^3}{1000} = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = \frac{2}{100} = 0.020 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de la pasta de cemento} = 0.333 \text{ m}^3$$

9º. Determinación del volumen absoluto de los agregados

$$\text{Volumen de los agregados} = 1 \text{ m}^3 - 0.333 \text{ m}^3 = 0.667 \text{ m}^3$$

10º. Determinación del módulo de fineza de la combinación de agregados

TABLA 17: Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto (Diseño de mezclas, Rivva, 2013)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en bolsas/metro cúbico indicados			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	3.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

$$1 \left\{ \begin{array}{l} 0.815 \\ 7 \\ 7.815 \\ 8 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{N}^\circ \text{ bls de cemento} \\ \text{mc} \\ 5.04 \\ \text{mc} \\ 5.11 \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} = 0.07$$

$$x = \frac{0.07 * 0.815}{1}$$

$$x = 0.05705$$

$$mc = 5.04 + x$$

$$mc = 5.04 + 0.05705$$

$$mc = 5.097$$

- Corrección por vacíos = $\frac{(40.497\% - 35\%)}{5\%} * 0.10 = 0.110$
- mc corregido = $5.097 - 0.110 = 4.987$

11º. Determinación del porcentaje de agregados que intervienen en la mezcla

$$\% AF = \frac{6.82 - 4.987}{6.82 - 3.08} = 48.98\%$$

$$\% AG = 100\% - 48.98\% = 51.02\%$$

12º. Determinación de la cantidad de agregado fino y grueso

$$\text{Agregado Fino seco} = 0.667 \text{ m}^3 * 48.98 * 2.642 \text{ g/m}^3 * 10 = 863 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso seco} = 0.667 \text{ m}^3 * 51.02 * 2.616 \text{ g/m}^3 * 10 = 890 \text{ kg/m}^3$$

13º. Aporte de humedad de los agregados

$$\text{Aporte del Agregado Fino} = \frac{(3.37 - 1.3) * 863}{100} = 19.36 \text{ l/ m}^3$$

$$\text{Aporte del Agregado Grueso} = \frac{(0.81 - 1.124) * 890}{100} = - 2.79 \text{ l/ m}^3$$

$$\text{Aporte de Humedad total} = 16.56 \text{ l}$$

14º. Determinación de los materiales de diseño corregidos por humedad por metro cúbico

$$\text{Cemento} = 332.15 \text{ Kg/ m}^3$$

$$\text{Agua Efectiva} = 205 \text{ l} - 16.56 \text{ l} = 188.44 \text{ l/ m}^3$$

$$\text{Agregado Fino húmedo} = 863 * \left(1 + \frac{3.37}{100}\right) = 892 \text{ kg/ m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso húmedo} = 890 * \left(1 + \frac{0.81}{100}\right) = 897 \text{ kg/ m}^3$$

$$\text{Aire atrapado} = 2\%$$

15°. Determinación de los materiales de diseño para la elaboración de una tanda (aproximadamente de tres especímenes)

Volumen aproximado para 3 especímenes = 0.02 m³

$$\text{Cemento} = 6.643 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua Efectiva} = 3.769 \text{ l}$$

$$\text{Agregado Fino} = 17.840 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado Grueso} = 17.940 \text{ kg}$$

$$\text{Peso total de la tanda} = 46.1 \text{ kg/td}$$

✚ El diseño de mezcla de la muestra de prueba se detalla en el Anexo N° 09.

3.7.3. Ajuste de las proporciones por apariencia, asentamiento y agua añadida de la muestra de prueba

1°. Datos obtenidos del concreto fresco:

- Apariencia= Normal
- Asentamiento obtenido= 7.62 cm= 3"
- Agua añadida= 100 ml
- Densidad promedio del concreto fresco= 2374 kg/ m³

2°. Rendimiento de la tanda de prueba

$$\text{Rendimiento} = \frac{46.10}{2374} = 0.0194 \text{ m}^3/\text{td}$$

3°. Agua de mezclado por tanda

$$\text{Agua añadida} = 3.8 + 0.1 = 3.9 \text{ l/td}$$

$$\text{Aporte del agregado fino húmedo} = 0.02 * 863 * 0.022 = 0.39 \text{ lt/td}$$

$$\text{Aporte del agregado grueso húmedo} = 0.02 * 890 * (-0.003) = - 0.06 \text{ lt/td}$$

$$\text{Agua de mezclado total por tanda} = 4.23 \text{ l/td}$$

4º. Agua de mezclado requerida

Agua de mezclado= 218.04 + 2*(8.89-7.62) = 220.58 l/ m³

5º. Nuevas proporciones de diseño corregidas por apariencia, asentamiento y agua añadida

Cemento = 357.39Kg/ m³

Agua Efectiva = 220.58 l/ m³

Agregado Fino húmedo = 825 kg/ m³

Agregado Grueso húmedo = 880 kg/ m³

3.7.4. Ajuste de las proporciones por resistencia de la muestra de prueba por la ley de Powers

1º. Datos obtenidos de la rotura a la compresión de las muestras de prueba:

- Resistencia a la compresión promedio a los 7 días= 273.15 kg/ m²
- Resistencia a la compresión esperada a los 28 días= 273.15*1.33= 363.29 kg/ m²
- Resistencia a la compresión deseada a los 28 días= 210 kg/ m²

2º. Cálculo del grado de hidratación del cemento aplicando la ley de Powers

$S = 2380x^3; \text{siendo } x = \frac{0.647\alpha}{0.319\alpha + \frac{a}{c}} \dots\dots\dots \text{Fórmula N}^\circ 18$

Donde:

S: Resistencia del concreto a los 28 días, kg/cm2.

x: Relación gel/espacio.

α: Grado de Hidratación del cemento.

A/C: Relación agua/cemento.

Reemplazando en la fórmula obtenemos:

$\alpha=0.69$

3º. Cálculo de la nueva relación agua/cemento corregida por hidratación

$$a/c = 0.79$$

4º. Nuevas proporciones de diseño corregidas por resistencia determinados por la nueva relación agua/cemento

Cemento = 280.93 Kg/ m³

Agua Efectiva = 202.98 l/ m³

Agregado Fino húmedo = 936 kg/ m³

Agregado Grueso húmedo = 859 kg/ m³

5º. Determinación de los materiales de diseño para la elaboración de una tanda (aproximadamente de tres especímenes)

Volumen aproximado para 3 especímenes = 0.02 m³

Cemento = 5.619 Kg

Agua Efectiva = 4.06 l

Agregado Fino = 17.720 kg

Agregado Grueso = 17.180 kg

✚ El diseño de mezcla corregido por apariencia, asentamiento, agua añadida y resistencia (Diseño patrón) se muestra en el Anexo N° 10.

3.7.5. Inclusión de la puzolana en los diseños de los especímenes de concreto

Para la inclusión de la puzolana volcánica (roca traquita) en el diseño patrón se realizó un reemplazo del factor cemento según las siguientes dosificaciones:

- Reemplazo de 0% del factor cemento por puzolana: 18 especímenes de concreto cilíndrico + 6 especímenes de concreto prismáticos
- Reemplazo de 10% del factor cemento por puzolana: 18 especímenes de concreto cilíndrico + 6 especímenes de concreto prismáticos
- Reemplazo de 15% del factor cemento por puzolana: 18 especímenes de concreto cilíndrico + 6 especímenes de concreto prismáticos

- Reemplazo de 20% del factor cemento por puzolana: 18 especímenes de concreto cilíndrico + 6 especímenes de concreto prismáticos

- ✚ Los diseños de mezcla con inclusión de puzolana volcánica para las diferentes dosificaciones se muestran en el Anexo N° 11.

3.7.6. Elaboración de especímenes de concreto y curado

La elaboración de los especímenes de concreto cilíndricos y prismáticos para pruebas de compresión, (150 mm por 300 mm) y flexión (150 mm por 150 mm por 500 mm), con cada una de las dosificaciones descritas en el ítem 3.10.5., se realizaron siguiendo los procedimientos indicados en la Norma NTP 339.183.

- **Aparatos:**
 - **Moldes cilíndricos:** Deben ser de un material no absorbente y que no reaccione con el cemento, se utilizó moldes de acero de 6 pulg. de diámetro y de 12 pulg. de altura y se cubrió las bases de los moldes con bolsas de plástico para evitar la pérdida de la mezcla o humedad. Los moldes también fueron cubiertos interiormente con una mínima cantidad de aceite de cocina mineral, para facilitar el desmolde de los especímenes en el caso de los especímenes prismáticos se emplearon moldes de acero elaborados con las medidas descritas con anterioridad especialmente para esta tesis.
 - **Moldes prismáticos:** Deben ser de un material no absorbente y que no reaccione con el cemento, se utilizó moldes de madera de 150 mm por 150 mm por 500 mm y se cubrió las bases de los moldes con bolsas de plástico para evitar la pérdida de la mezcla o humedad
 - **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.
 - **Mazo:** Con cabeza de hule de peso aproximado a 0.8 Kg.
 - **Herramientas manuales:** Palas, baldes, espátulas y alisadores de metal para la superficie del concreto, cucharones y reglas.

- **Balanza:** Una balanza con exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 5 g.
 - **Mezcladora:** Fue una mezcladora tipo trompo eléctrico de 6 pies cúbicos de capacidad.
- **Preparación de la muestra:**
 - 1° Se realizaron mezclas de volumen igual a 0.02 m^3 con lo que se elaboraran 3 especímenes gemelos para las pruebas a compresión, además con dos mezclas de este volumen se elaboraron 3 especímenes de prueba para flexión.
 - 2° Se limpió y seco el interior de la mezcladora para que así no aporte agua adicional a la mezcla o algún otro material que no se haya previsto para la elaboración de esta; así mismo se procedió a pesar las dosificaciones de cemento, agregado fino, agregado grueso, medir el volumen del agua y pesar la puzolana para los casos que corresponda.

3° No existe norma alguna que indique el procedimiento para cargar la mezcladora con los materiales, sin embargo numerosos antecedentes aconsejan que se debe agregar una porción del agua a la mezcladora, luego se añade el agregado fino y posteriormente el grueso, finalmente se agrega el cemento y el resto del agua, en el caso de los especímenes con adiciones de puzolana se mezcló previamente el agregado fino con la puzolana, se comenzó a mezclar los materiales, hasta obtener una mezcla de color uniforme de los agregados y el cemento, se continuó mezclando hasta que se presente homogeneidad, consistencia y color uniforme en la mezcla, presentándose el agregado grueso totalmente cubierto por la pasta. Así mismo, se controló que el tiempo de mezclado después de haber sido adicionado el volumen final de agua, para el caso de las mezclas sin adición de puzolana el tiempo de mezclado estuvo alrededor de 3 minutos, para el caso de mezclas con puzolana el tiempo varió de 4 a 6 minutos hasta verificar el mezclado total de las mismas.

- **Elaboración de especímenes**

1° Se colocó los moldes en una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones, donde se procedió a engrasarlos con agua de aceite de cocina.

2° La colocación de la mezcla de concreto en el interior del molde se realizó moviendo el cucharón alrededor del molde para asegurar la distribución del concreto y una segregación mínima que se presenta al golpearse la mezcla al caer.

3° 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.

4° 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.

5° 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.

6° 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.

7° Se identificó los especímenes con el número de espécimen, fecha y tipo de dosificación.

- **Curado de especímenes**

El curado de los 96 especímenes se realizó siguiendo los procedimientos indicados en la NTP 339.183.

1° **Protección después del acabado:** Inmediatamente después de elaborar el moldeado de los especímenes, se cubrieron estos con bolsas de plástico para evitar la evaporación y pérdida de humedad.

2° Curado inicial: Después del moldeado, se cubrió a los especímenes con plástico para mantener la temperatura alrededor de estos. Transcurridas 24 horas después de elaborar los especímenes, estos fueron desmoldados y se procedió a realizar el curado estándar.

3° Curado estándar: Al terminar el curado inicial y entre los 30 minutos y 1 hora después de haber sacado los especímenes de los moldes, estos se almacenaron en una posa de curado de concreto cubierto con agua, además se saturó el agua con cal viva para mantener la temperatura de está y evitar la pérdida de cal de los especímenes.

3.8. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICO- MECÁNICAS DEL CONCRETO

3.8.1. 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.

- **Aparatos:**
 - **Balanzas:** Una balanza con exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 5 g. El rango de uso será considerado a ser extendido desde la masa del medidor vacío a la masa del medidor más su contenido hasta 1920 kg/m^3 .
 - **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:** Palas, baldes, espátulas y alisadores de metal para la superficie del concreto y cucharones.
- **Procedimiento:**
 - 1° Se colocó los moldes en una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones.
 - 2° Se colocó el hormigón 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 hormigón con segregación mínima.
 - 3° 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.
 - 4° 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.
 - 5° 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.
 - 6° 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.
 - 7° Se limpió el exceso de concreto que quedó en la pestaña del molde.
 - 8° Se determinó la masa del molde más la muestra.
 - 9° El volumen y masa del molde se establecieron con anterioridad.
- **Cálculos:**
 - **Peso Unitario**

$$\text{Peso Unitario} = \frac{(M_c - M_m)}{V_m} \dots\dots\dots \text{Fórmula N°19}$$

En donde:

M_c = Masa del recipiente de medida lleno de hormigón, kg

M_m = Masa del recipiente vacío, kg

V_m = Volumen del recipiente, m³

✚ Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla N° 19.

3.8.2. Peso Unitario del concreto en estado endurecido

- **Aparatos:**

- **Balanzas:** Una balanza con exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 5 g. El rango de uso será considerado a ser extendido desde la masa del medidor vacío a la masa del medidor más su contenido hasta 1920 kg/m³.
- **Vernier:** Aparato de medición con lecturas que deberán tener una precisión de 0.01 mm.
- **Regla:** Instrumento de metal con precisión de 0.5 mm.

- **Procedimiento:**

1° Se tomaron dimensiones promedio de los especímenes de estudio con una precisión de 0.01 mm para las dimensiones menores a 150 mm con la ayuda de Vernier, y de 0.5 mm con la ayuda de una regla metálica. También se pesó los especímenes antes de ser ensayados con una precisión de 5 gr. 2° Se colocó el hormigón 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 hormigón con segregación mínima.

- **Cálculos:**

Se calculó la densidad de masa dividiendo la masa de los especímenes entre el volumen determinado de con el promedio de sus mediciones para cada dosificación y edad de ensayo.

✚ Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla N° 20.

3.8.4. Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7 y 60 días.

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.

- **Aparatos:**

- **Máquina universal a compresión:** Se usó una máquina de compresión hidráulica con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todo el proceso de ensayo.
- **Platos retenedores con discos de neopreno:** Se utilizó platos retenedores que son fabricados en acero colado cuya superficie es plana en 0.002 pulgadas, que contienen discos de neopreno para colocarlos en las caras de los especímenes para que estas se presenten niveladas y paralelas.
- **Deformímetro:** Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.
- **Vernier:** Aparato de medición con lecturas que deberán tener una precisión de 0.01 mm.
- **Regla:** Instrumento de metal con precisión de 0.5 mm.

- **Procedimiento:**

1° Todos los cilindros de ensayo para una determinada edad de ensayo fueron fracturados dentro el tiempo permisible de tolerancias prescritas como sigue:

Tabla N°18: Tiempo de prueba de los especímenes y tolerancia (NTP 339.034 – 2008)

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 %

90 d	± 48 h ó 2.2 %
------	--------------------

2° Dimensiones los especímenes: Se midió cuatro diámetros con el calibrador vernier en las dos por cada cara del espécimen, las mediciones fueron tomadas en forma perpendicular una de la otra, también se midió la altura del espécimen en dos de sus lados con ayuda de una regla metálica.

3° 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. También se utilizó un deformímetro colocado en la base móvil de la máquina.

4° 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.

5° Análisis de tipo de fractura y apariencia del concreto: Después de aplicar la carga y terminar el ensayo se procedió a registrar el tipo de falla de cada espécimen en fotografías, para luego poder clasificarla según el siguiente gráfico, en donde se indica los tipos de falla según la NTP 339.034, así mismo se registró el modo de falla, y si falló el agregado o la pasta durante el proceso.

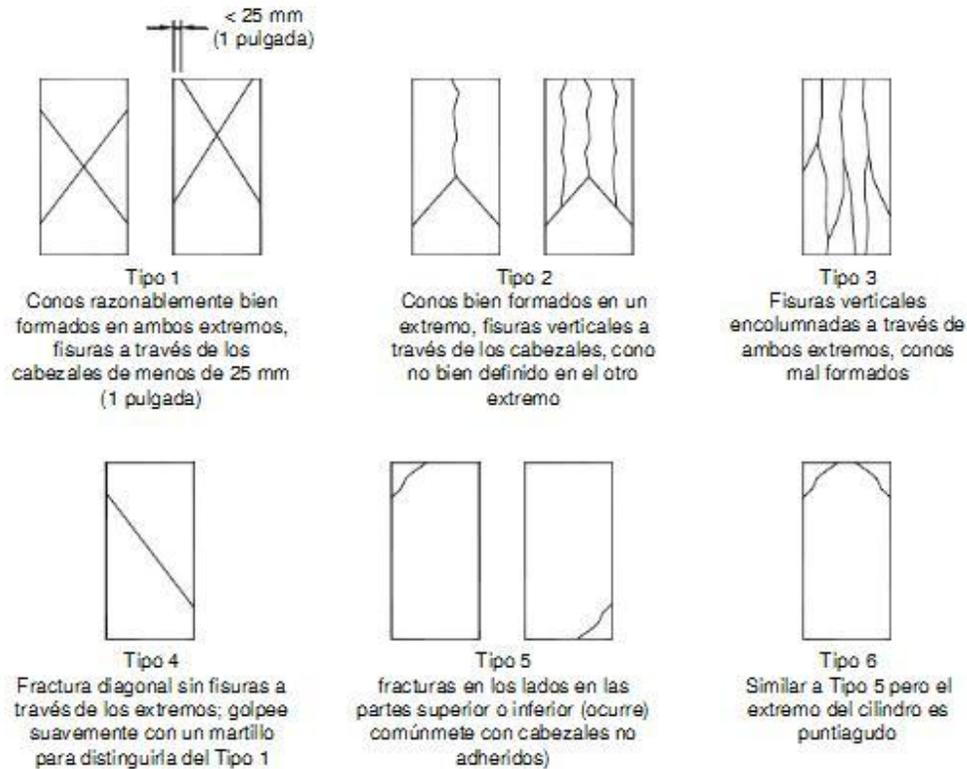


Diagrama de fractura típicas de especímenes de concreto (NTP 339.034 – 2008)

✚ Los resultados obtenidos se muestran en el Anexo N° 12.

3.8.5. Resistencia a flexión en especímenes prismáticos de concreto a la edad de 7 y 60 días.

El procedimiento para realizar el ensayo de resistencia a la flexión en especímenes prismáticos de concreto se detalla en la norma NTP 339.079 en concordancia a la ASTM C 293.

- **Aparatos:**

- **Máquina universal a tracción:** Se usó una máquina de tracción hidráulica con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con

energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todos los procesos de ensayos.

- **Deformímetro:** Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.
- **Vernier:** Aparato de medición con lecturas que deberán tener una precisión de 0.01 mm.
- **Regla:** Instrumento de metal con precisión de 0.5 mm.

- **Procedimiento:**

1° Todos los cilindros de ensayo para una determinada edad de ensayo fueron fracturados dentro el tiempo permisible de tolerancias prescritas en la NTP 339.034.

2° **Dimensiones los especímenes:** Se midió todos los lados de las caras del prisma con ayuda de la regla y el vernier.

3° **Colocación de los especímenes en la máquina de tracción:** Se limpió los apoyos de la máquina de tracción y se los colocó dejando una luz libre de 450 mm, se colocó el espécimen con de forma horizontal sobre los apoyos dejando en cada costado espacios de 2.5 cm, se elevó la traviesa hasta colocar el espécimen en contacto con la barra distribuidora de carga. Luego, se verificó que el indicador de carga se encuentre en cero, para poder empezar a aplicar la compresión. También se utilizó un deformímetro colocado sobre el espécimen para medir deflexiones.

4° **Aplicación de cargas:** Durante el ensayo se ajustó la válvula de inyección de aceite suavemente con el objeto de mantener constante la velocidad de aplicación de la carga. Se aplicó la carga hasta que el espécimen falló y se registró la máxima carga soportada por el espécimen.

✚ Los resultados obtenidos se muestran en el Anexo N° 12.

3.8.6. Módulo de elasticidad del concreto.

El ensayo para hallar el módulo elástico (o también conocido como módulo de yong) tiene como finalidad de obtener una relación entre esfuerzo – deformación llamado modulo elástico.

Este método provee un valor al esfuerzo máximo y un rango elástico tanto lateral como longitudinal en concretos en estado endurecido a cualquier edad y condiciones de curado.

Para esto se somete a una probeta de concreto a cargas a compresión que se va incrementado y estas generan deformaciones para rangos elásticos e inelásticos.

El valor del módulo de elasticidad del concreto depende de la edad de este aumentando con el tiempo.

El concreto posee propiedades elásticas en un cierto grado como la mayor parte de los materiales, por lo que se puede afirmar que el comportamiento del concreto no es perfectamente elástico.

La curva esfuerzo – deformaciones muestra una zona donde los esfuerzos y deformaciones son proporcionales para fines prácticos.

Este límite de proporcionalidad para el caso del módulo elástico es de 40% de la resistencia a la compresión.

- **Cálculos:**

$$\text{Módulo de Elasticidad (kg/m}^3\text{)} = Wc^{1.5}0.14\sqrt{f'c} \dots\dots\dots\text{Fórmula N}^\circ\text{20}$$

Dónde:

Wc = Densidad del concreto, kg/m³

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

✚ Los resultados obtenidos se muestran en el Anexo N° 12.

3.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE DATOS

La presente investigación utiliza la técnica de la observación experimental para la recopilación de datos, ya que estos fueron obtenidos en condiciones controladas en el laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca teniendo como guía a las Normas Técnicas Peruanas y a las Normas ASTM con lo que garantizamos la calidad de los ensayos realizados.

Para el análisis y procesamiento de datos se utilizó el programa Excel 2016, el cual nos permitió realizar cálculos, gráficas y tablas necesarios en el estudio.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

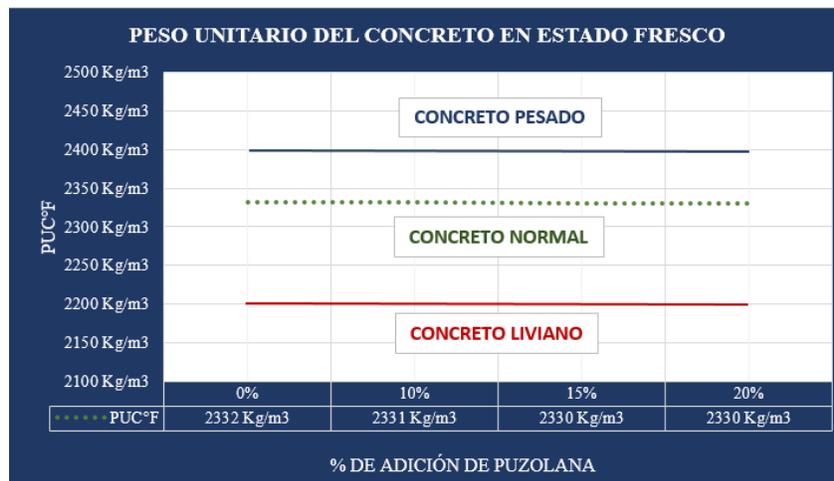
4.1. Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco

A continuación, se muestra un consolidado de los resultados obtenidos de peso unitario fresco realizado a 12 especímenes de concreto en estado fresco:

TABLA 19: Peso unitario del concreto en estado fresco a los 60 días

ESPECÍMEN DE CONCRETO	ADICION 0% PUZOLANA	ADICION 10% PUZOLANA	ADICION 15% PUZOLANA	ADICION 20% PUZOLANA
E- 01	2340.89 kg/m ³	2347.95 kg/m ³	2314.41 kg/m ³	2328.31 kg/m ³
E- 02	2326.37 kg/m ³	2327.90 kg/m ³	2326.78 kg/m ³	2334.98 kg/m ³
E- 03	2347.95 kg/m ³	2339.56 kg/m ³	2331.69 kg/m ³	2336.94 kg/m ³
E- 04	2320.34 kg/m ³	2339.97 kg/m ³	2313.89 kg/m ³	2342.85 kg/m ³
E- 05	2322.89 kg/m ³	2305.92 kg/m ³	2318.19 kg/m ³	2328.21 kg/m ³
E- 06	2348.46 kg/m ³	2328.93 kg/m ³	2330.36 kg/m ³	2299.37 kg/m ³
E- 07	2323.21 kg/m ³	2335.67 kg/m ³	2337.80 kg/m ³	2324.61 kg/m ³
E- 08	2327.56 kg/m ³	2331.42 kg/m ³	2341.69 kg/m ³	2329.43 kg/m ³
E- 09	2317.84 kg/m ³	2317.35 kg/m ³	2319.47 kg/m ³	2337.95 kg/m ³
E- 10	2339.25 kg/m ³	2322.08 kg/m ³	2337.82 kg/m ³	2341.52 kg/m ³
E- 11	2341.07 kg/m ³	2333.84 kg/m ³	2341.65 kg/m ³	2329.40 kg/m ³
E- 12	2325.12 kg/m ³	2345.98 kg/m ³	2349.37 kg/m ³	2331.47 kg/m ³
Promedio	2331.75 kg/m ³	2331.38 kg/m ³	2330.26 kg/m ³	2330.42 kg/m ³

GRÁFICO 01: Curva peso unitario del concreto en estado fresco a los 60 días



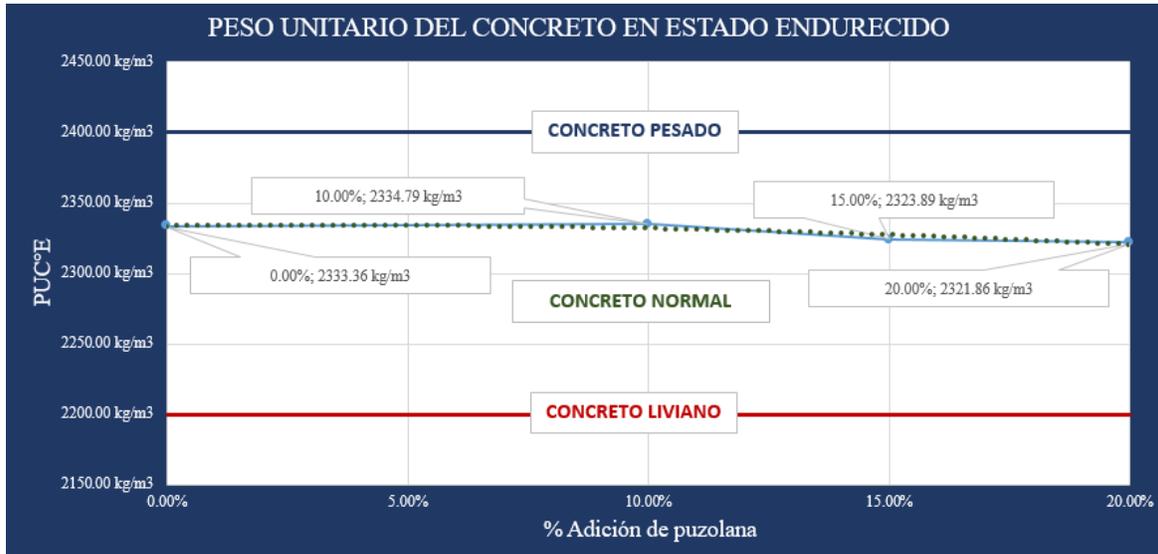
En la anterior tabla se puede observar los pesos unitarios del concreto obtenidos en su estado fresco. Para un concreto sin adición de puzolana el peso unitario es de 2331.75 kg/m³, para un concreto con 10% de adición de puzolana es de 2331.38 kg/m³, para un concreto con 15% es de 2330.26 kg/m³, mientras que para un concreto con 20% de adición de puzolana es de 2330.42 kg/m³. Podemos concluir que el porcentaje de adición de puzolana no influye en el resultado del peso unitario, además se puede clasificar al concreto obtenido en la presente investigación como un “concreto normal”, encontrándose entre los valores de 2200 kg/m³ y 2400 kg/m³.

4.2. Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de peso unitario del concreto en estado endurecido

TABLA 20: Peso unitario del concreto en estado endurecido a los 60 días

ESPÉCIMEN	PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO			
	0.00%	10.00%	15.00%	20.00%
E-1-C	2324.36 kg/m ³	2340.25 kg/m ³	2332.40 kg/m ³	2312.50 kg/m ³
E-2-C	2328.45 kg/m ³	2347.21 kg/m ³	2321.47 kg/m ³	2317.95 kg/m ³
E-3-C	2336.40 kg/m ³	2336.45 kg/m ³	2323.09 kg/m ³	2332.06 kg/m ³
E-4-C	2321.85 kg/m ³	2319.54 kg/m ³	2316.70 kg/m ³	2319.50 kg/m ³
E-5-C	2339.05 kg/m ³	2327.54 kg/m ³	2316.91 kg/m ³	2315.40 kg/m ³
E-6-C	2342.94 kg/m ³	2334.39 kg/m ³	2324.74 kg/m ³	2311.74 kg/m ³
E-7-C	2341.46 kg/m ³	2331.67 kg/m ³	2319.67 kg/m ³	2327.53 kg/m ³
E-8-C	2331.75 kg/m ³	2351.23 kg/m ³	2322.64 kg/m ³	2313.96 kg/m ³
E-9-C	2332.96 kg/m ³	2312.11 kg/m ³	2333.14 kg/m ³	2318.88 kg/m ³
E-10-C	2319.78 kg/m ³	2347.59 kg/m ³	2317.45 kg/m ³	2314.65 kg/m ³
E-11-C	2315.48 kg/m ³	2324.96 kg/m ³	2334.10 kg/m ³	2326.78 kg/m ³
E-12-C	2339.58 kg/m ³	2337.99 kg/m ³	2319.47 kg/m ³	2316.34 kg/m ³
E-1-F	2341.30 kg/m ³	2328.41 kg/m ³	2315.47 kg/m ³	2316.58 kg/m ³
E-2-F	2312.11 kg/m ³	2346.15 kg/m ³	2324.80 kg/m ³	2342.70 kg/m ³
E-3-F	2325.40 kg/m ³	2352.41 kg/m ³	2321.90 kg/m ³	2334.50 kg/m ³
E-4-F	2334.85 kg/m ³	2316.48 kg/m ³	2327.58 kg/m ³	2314.78 kg/m ³
E-5-F	2347.09 kg/m ³	2346.49 kg/m ³	2335.60 kg/m ³	2335.18 kg/m ³
E-6-F	2365.60 kg/m ³	2325.40 kg/m ³	2322.89 kg/m ³	2322.47 kg/m ³
PROMEDIO	2333.36 kg/m³	2334.79 kg/m³	2323.89 kg/m³	2321.86 kg/m³

GRÁFICO 02: Curva peso unitario del concreto en endurecido fresco a los 60 días



El resultado obtenido de los pesos unitarios para un concreto sin adición de puzolana fue de 2333.36 kg/m^3 , para un concreto con 10% de adición de puzolana fue de 2334.79 kg/m^3 , para un concreto con 15% de adición de puzolana fue de 2323.89 kg/m^3 , y para un concreto con 20% de puzolana fue de 2321.86 kg/m^3 . Como se observa la adición de puzolana no influye en el peso unitario del concreto en estado endurecido ya que los valores son muy cercanos unos a otros, además el concreto obtenido se encuentra en un rango normal en la clasificación del concreto.

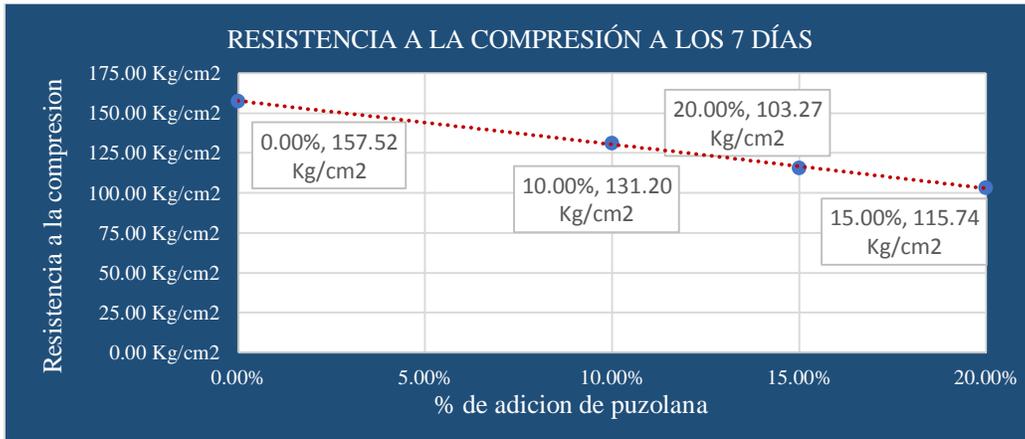
4.3. Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión

Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión a 72 especímenes de concreto cilíndricos, siendo los siguientes los resultados promedio obtenidos:

TABLA 21: Resistencia a la compresión del concreto a los 7 y 60 días

PROMEDIO DE ENSAYOS A COMPRESIÓN				
% ADICIÓN DE PUZOLANA	EDAD DE ENSAYO		VARIACIÓN A LOS 7 DÍAS	VARIACIÓN A LOS 60 DÍAS
	7 DÍAS	60 DÍAS		
0.00%	158 kg/cm ²	231 kg/cm ²	0%	0%
10.00%	131 kg/cm ²	261 kg/cm ²	-17%	13%
15.00%	116 kg/cm ²	207 kg/cm ²	-27%	-10%
20.00%	103 kg/cm ²	187 kg/cm ²	-34%	-19%

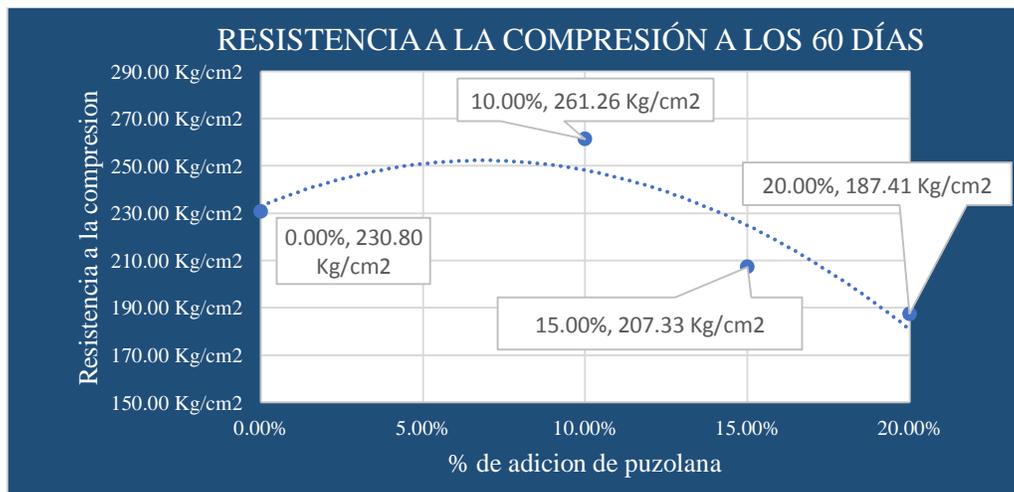
GRÁFICO 03: Curva de Resistencia a la compresión del concreto a los 7 días



La resistencia a la compresión a una edad de 7 días para las diferentes dosificaciones de adición de puzolana presenta una tendencia lineal, siendo indirectamente proporcional el porcentaje de adición de puzolana añadido y la resistencia a la compresión.

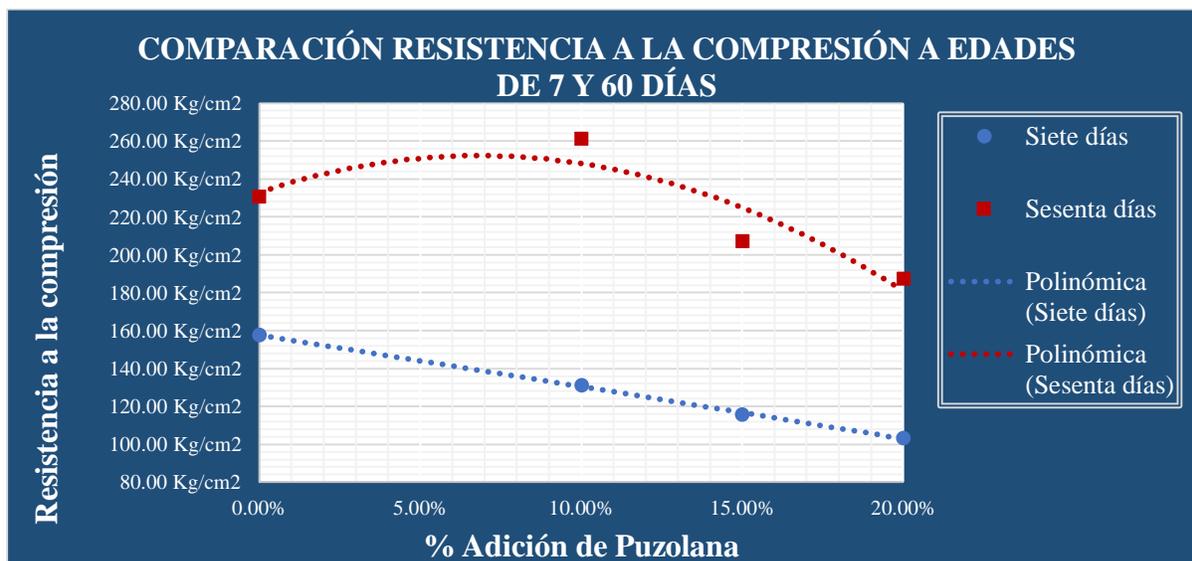
La resistencia a la edad de 7 días representa el 70% de la resistencia que se obtiene a los 28 días, para nuestro caso la resistencia buscada a los 7 días será 147 kg/m². Los especímenes con adición de puzolana no llegaron a la resistencia esperada como lo hizo el espécimen patrón. Se concluye que la adición de puzolana presenta un fraguado lento por lo que se optó romper los especímenes restantes a una edad mayor (60días)

GRÁFICO 04: Curva de Resistencia a la compresión del concreto a los 60 días



Como se observa en el gráfico anterior la resistencia a la compresión del concreto a edad de 60 días empezó a incrementarse al incluir la adición de puzolana hasta en un 10%, la curva decae al incluir porcentajes mayores a 10% como son 15% y 20%.

GRÁFICO 05: Curva de comparación de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 y 60 días



Las edades de los especímenes influyen en el comportamiento del concreto al incluir adición de puzolana. A edades tempranas la adición no se hace presente disminuyendo la resistencia de compresión, mientras que en edades mayores la adición de puzolana aumenta la resistencia a la compresión hasta en un 13%.

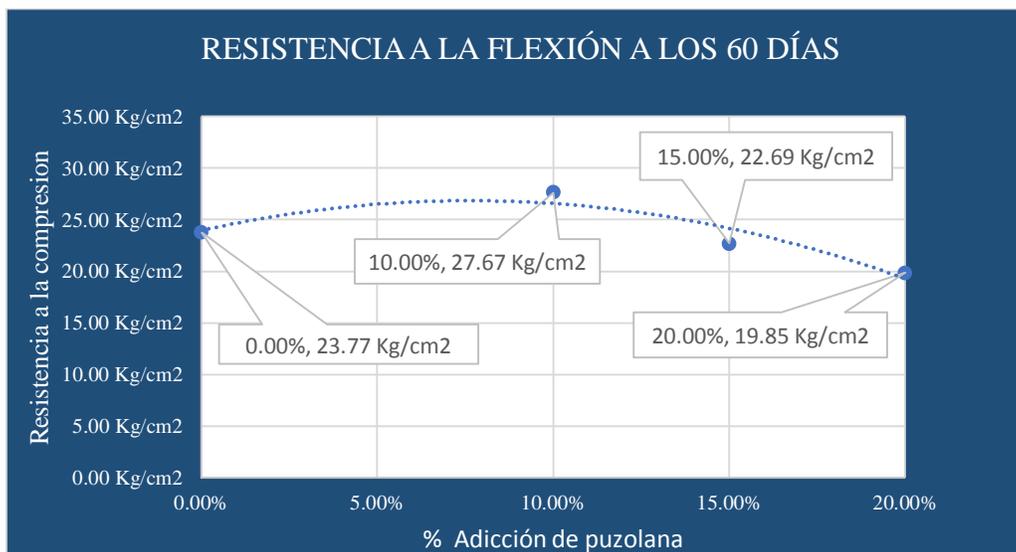
4.4. Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión

Se realizó el ensayo de resistencia a la flexión a 24 especímenes prismáticos cuyos valores promedio se muestran a continuación:

TABLA 22: Resistencia a la flexión del concreto a los 60 días

PROMEDIO DE ENSAYOS A FLEXIÓN		
% DE ADICIÓN DE PUZOLANA	EDAD DE ENSAYO	VARIACIÓN A LOS 60 DÍAS
	60 DÍAS	
0.00%	24 kg/cm ²	0.00%
10.00%	28 kg/cm ²	16.41%
15.00%	23 kg/cm ²	-4.54%
20.00%	20 kg/cm ²	-16.49%

GRÁFICO 06: Curva de Resistencia a la flexión del concreto a los 60 días



Como se observa en el gráfico anterior la resistencia a la flexión del concreto a edad de 60 días empezó a incrementarse hasta en un 16.41% al incluir la adición de puzolana en un 10%, la curva decae al incluir porcentajes mayores a 10% como son 15% y 20% obteniendo un decrecimiento de 4.54% y 16.49% respectivamente.

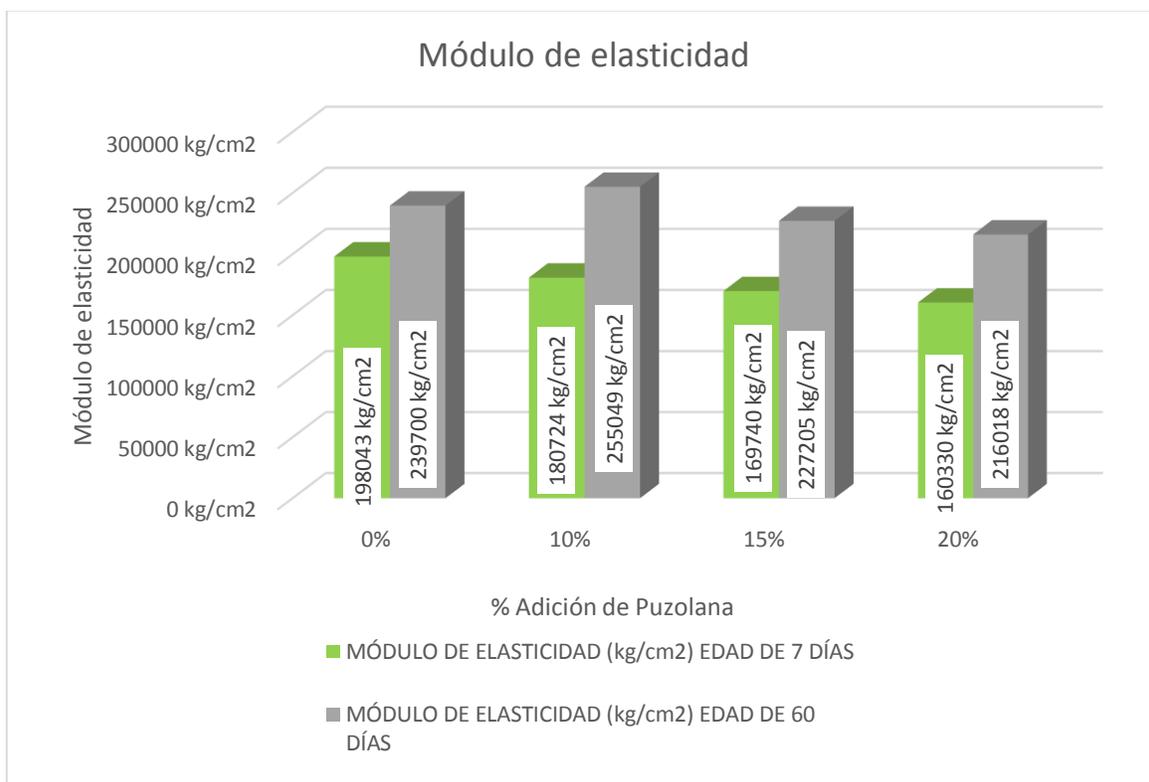
4.5. Análisis de los resultados obtenidos del módulo de elasticidad

Se realizó el cálculo del módulo de elasticidad a partir de la rotura a la compresión de 72 especímenes de concreto cilíndricos, a continuación, se presentan los resultados promedio obtenidos:

TABLA 23: Módulo de elasticidad del concreto a los 7 y 60 días

% ADICIÓN DE PUZOLANA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)		VARIACIÓN A LOS 7 DÍAS	VARIACIÓN A LOS 60 DÍAS
	EDAD DE 7 DÍAS	EDAD DE 60 DÍAS		
0%	198043 kg/cm ²	239700 kg/cm ²	0%	0%
10%	180724 kg/cm ²	255049 kg/cm ²	-9%	6%
15%	169740 kg/cm ²	227205 kg/cm ²	-14%	-5%
20%	160330 kg/cm ²	216018 kg/cm ²	-19%	-10%

GRÁFICO 07: Módulo de elasticidad del concreto a los 7 y 60 días



Las edades de los especímenes influyen en el comportamiento del concreto al incluir adición de puzolana. A edades tempranas la adición no se hace presente disminuyendo el módulo de elasticidad, mientras que en edades mayores la adición de puzolana aumenta el módulo de elasticidad hasta en un 6%.

4.6. Análisis del costo del concreto sólo considerando materiales

A continuación, se presenta los análisis de costos unitarios por m^3 de concreto sin incluir mano de obra ni equipos para las diferentes dosificaciones de adición de puzolana:

TABLA 24: Costo de materiales del concreto por m^3 (0% de adición de Pozzolana)

Descripción	Und.	Cantidad	P.U (S/.)	Parcial
Cemento tipo I	Bls/m3	6.61	23	152.03
Agua Potable	m3	0.22	2	0.44
Agregado Fino	m3	0.51	50	25.50
Agregado Grueso	m3	0.60	50	30.00
PUZOLANA VOLCANICA	Kg	0.00	0	0.00
TOTAL (S/.)				207.97

TABLA 25: Costo de materiales del concreto por m3 (10% de adición de Puzolana)

Descripción	Und.	Cantidad	P.U (S/.)	Parcial
Cemento tipo I	Bls	5.95	23.00	136.85
Agua Potable	m3	0.22	2.00	0.44
Agregado Fino	m3	0.51	50.00	25.50
Agregado Grueso	m3	0.60	50.00	30.00
PUZOLANA VOLCANICA	Kg	28.09	0.01	0.28
TOTAL (S/.)				193.07

TABLA 26: Costo de materiales del concreto por m3 (15% de adición de Puzolana)

Descripción	Und.	Cantidad	P.U (S/.)	Parcial
Cemento	Bls	5.62	23.00	129.26
Agua Potable	m3	0.22	2.00	0.44
Agregado Fino	m3	0.51	50.00	25.50
Agregado Grueso	m3	0.60	50.00	30.00
PUZOLANA VOLCANICA	Kg	42.14	0.01	0.42
TOTAL (S/.)				185.62

TABLA 27: Costo de materiales del concreto por m3 (20% de adición de Puzolana)

Descripción	Und.	Cantidad	P.U (S/.)	Parcial
Cemento	Bls	5.29	23.00	121.67
Agua Potable	m3	0.22	2.00	0.44
Agregado Fino	m3	0.51	50.00	25.50
Agregado Grueso	m3	0.60	50.00	30.00
PUZOLANA VOLCANICA	Kg	56.19	0.01	0.56
TOTAL(S/.)				178.17

TABLA 28: Resumen costo de materiales del concreto

% ADICIÓN DE PUZOLANA	Precio del concreto S/.	Resistencia Compresión (60 días)	Resistencia Flexión (60 días)	Variación de precio
0%	S/ 207.97	230.80 Kg/cm ²	23.77 Kg/cm ²	0.00%
10%	S/ 193.07	261.26 Kg/cm ²	27.67 Kg/cm ²	-7.17%
15%	S/ 185.62	207.33 Kg/cm ²	22.69 Kg/cm ²	-10.75%
20%	S/ 178.17	187.41 Kg/cm ²	19.85 Kg/cm ²	-14.33%

Como se observa en el gráfico anterior al incluir hasta en un 10% la adición de puzolana la resistencia a la compresión y flexión aumenta y a la vez el precio disminuye en 7.17% (de S/207.97 a S/193.07), mientras que para valores de adición de puzolana mayores a 10 % las resistencias decaen al igual que el precio del concreto.

GRÁFICO 08: Precio del concreto vs resistencia a la compresión

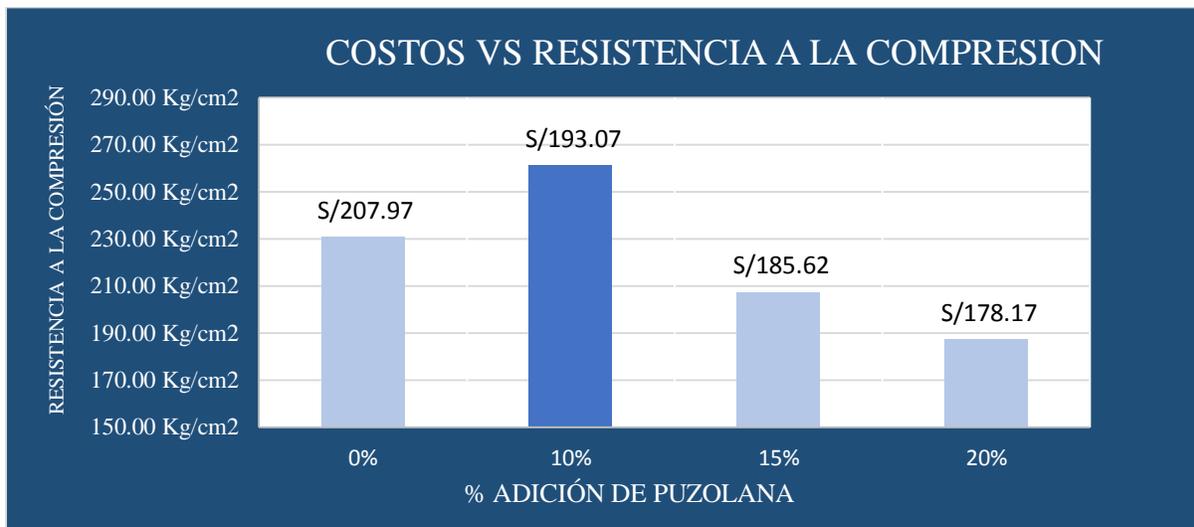


GRÁFICO 09: Precio del concreto vs resistencia a la flexión



4.6. Contrastación de la hipótesis

Mediante los experimentos y análisis de datos obtenidos se contrastó la hipótesis “El uso de la adición de puzolana volcánica en el concreto como reemplazo del factor cemento en 10%, 15% y 20% aumenta la resistencia mecánica de este en un 10%”. Obteniendo como resultado que el uso de adición de puzolana en un 10% en el concreto aumenta la resistencia a la compresión en un 13% y a la resistencia a la flexión en un 16.41%; el uso de adición de puzolana en un 15% disminuyó la resistencia a la compresión del concreto en -10% y a la flexión en -4.54%; el uso de adición de puzolana en un 20% disminuyó la resistencia a la compresión del concreto en -19% y a la flexión en -16.49%.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ El porcentaje óptimo de incorporación de adición de puzolana volcánica (roca traquita pulverizada) es de 10%, ya que esta dosificación aumentó la resistencia a la compresión del concreto a los 60 días en un 13% comparado con el diseño patrón, mientras que la incorporación de la adición mayor a 10% (15% y 20%) disminuyó la resistencia a la compresión (en 10% y 19% respectivamente). De igual manera la dosificación óptima aumento la resistencia a la flexión del concreto a los 60 días en un 16.41% comparado con el diseño patrón, mientras que la incorporación de la adición mayor a 10% (15% y 20%) disminuyó la resistencia a la flexión (en 4.54% y 16.49% respectivamente). Asimismo, la dosificación óptima aumento el módulo de elasticidad del concreto a los 60 días en un 6% comparado con el diseño patrón, mientras que la incorporación de la adición mayor a 10% (15% y 20%) disminuyó el módulo de elasticidad (en 5% y 10% respectivamente).
- ✓ La roca traquita pulverizada tamizada por la malla N°60 presenta una variación menor al 5% en la influencia en las características físico-mecánicas del concreto en comparación con la tamizada por la malla N°200, por lo que es válido considerar a la tamizada por la malla N°60 como puzolana natural con características muy similares a la tamizada por la malla N°200.
- ✓ La incorporación de la adición de puzolana traquítica en el diseño de concreto optimiza los costos de producción de este presentando un ahorro de S/ 14.9 cuando se adiciona un 10%, S/ 22.35 al adicionar un 15% y S/ 29.8 al adicionar un 20%. Montos que son altamente considerables al momento de ejecutar una obra de gran envergadura.
- ✓ La influencia en el concreto de la adición de puzolana traquítica sólo se presenta en el concreto cuyas edades son mayores, ya que su fraguado es lento y su medición no sería la correcta en edades tempranas.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Se debe implementar en el laboratorio de materiales de construcción de la Universidad Nacional de Cajamarca un plan de calibración anual de los equipos existentes, así como su mantenimiento periódico con el fin garantizar resultados más cercanos con la realidad.
- ✓ Se recomienda utilizar un aditivo acelerante de fragua al momento de utilizar roca traquita con adición puzolánica en la producción de concreto para alcanzar de manera más rápida la resistencia requerida.
- ✓ Realizar futuros estudios con adición de roca traquita en porcentajes entre 5% y 15% ensayándolas a distintas edades, con la posibilidad de encontrar un valor más óptimo en relación a costo y resistencia en el concreto.
- ✓ Impartir los resultados obtenidos en el presente estudio sobre todo en la ciudad de Cajamarca ya que posee abundante presencia de canteras con roca traquita, cuyo recurso natural debe aprovecharse al máximo para aumentar la calidad en sus construcciones y a la vez optimizar costos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Huatay Aliaga, Yovan (2008). Tesis de la Universidad Nacional de Cajamarca “Propiedades mecánicas del concreto elaborado con aditivo micro sílice. Cajamarca –Perú”.
2. Sánchez Valera, Luis Miguel (2016). Tesis “Determinación de los factores de corrección de resistencia a compresión de testigos de concreto de 3” y 4” de diámetro con $f'c= 210 \text{ kg/m}^2$ y $f'c= 280 \text{ kg/m}^2$ “
3. Huincho Salvatierra Edher (2011). Tesis “Estudio de los concretos de alta resistencia preparados con microsíllice, nanosíllice y superplastificante”
4. Villegas Martínez Carlos Alberto (2012), Tesis “Estudio del uso de puzolanas en la producción de morteros y concretos para revestimientos y fabricación de componentes constructivos con base cementicia”
5. Martínez López Carolina (2015). Tesis “Evaluación ambiental del uso de geopolímeros basados en dos puzolanas volcánicas como alternativa potencial al cemento portland”
6. Salazar Jaramilo, Alejandro (2001) Estudio y transformación de puzolanas naturales en productos de alta actividad para uso en la industria de la construcción. Desarrollo de productos y aplicaciones diversas en ECOMAT S.A.
7. Rivera L. Gerardo (2014) “Concreto Simple”
8. Rivva López, Enrique: “Diseño de Mezclas”, Lima – Perú, Edit. Hozlo S.C.R.L., 2013

NORMATIVA UTILIZADA

- i. NTP 334.005:2001 CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento portland. 2a. ed. R. 132-2001-INDECOPI-CRT (2001-12-03).
- ii. NTP 339.034:2008 HORMIGÓN (CONCRETO), Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión

- del concreto, en muestras cilíndricas. 3a. ed. R. 001-2008/INDECOPI-CRT (2008-01-25).
- iii. NTP 339.035:1999 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams. 2a. ed. R. 21-99- INDECOPI-CRT (1999-04-29).
 - iv. NTP 339.036:1999 HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco. 2a. ed. R. 21-99-INDECOPI-CRT (1999- 04-29).
 - v. NTP 339.070:1982 HORMIGÓN (CONCRETO). Toma de muestras de agua para la preparación y curado de morteros y hormigones de cemento portland.
 - vi. NTP 339.088:2006 HORMIGÓN (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos R. 13-2006/CRT- INDECOPI (2006-03-06).
 - vii. NTP 339.185:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).
 - viii. NTP 400.011:1976 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos R. 758-76 (1976).
 - ix. NTP 400.012:2001 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 2a. ed. R. 71-2001-INDECOPI-CRT (2001-07-17).
 - x. NTP 400.017:1999 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. 2a. ed. R. 21-99-INDECOPI-CRT (1999-04-29).
 - xi. NTP 400.019:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. 2a. ed. R. 7-2002- INDECOPI-CRT (2002-02-09).

- xii. NTP 400.021:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. 2a. ed. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).
- xiii. NTP 400.022:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. 2a. ed. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002- 05-30).
- xiv. NTP 400.037:2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto) R. 13-2002-INDECOPI-CRT (2002-02-27).
- xv. ASTM C150-07 Standard Specification for Portland cement.
- xvi. ASTM C188-95 (2003) Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.
- xvii. ASTM C127-07 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- xviii. ASTM C128-07a Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- xix. ASTM C131-06 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- xx. ASTM C136-06 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- xxi. ASTM C289-07 Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method).
- xxii. ASTM C29/C29M-07 Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate.
- xxiii. ASTM C33-07 Standard Specification for Concrete Aggregates.
- xxiv. ASTM C40-04 Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete.
- xxv. ASTM C535-03e1 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large Size Coarse Aggregate by Abrasion and

Impact in the Los Angeles Machine.

xxvi. ASTM D75-03 Standard Practice for Sampling Aggregate

ANEXOS

ANEXO N° 01. RESULTADOS DE ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

TABLA 29: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso (Ensayo N°01)

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO EN (g.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO HUSO N° 67 A.S.T.M. C 33	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	566.00	7.08	7.08	92.93	90	100
1/2"	12.50	2650.00	33.13	40.20	59.80	45	70
3/8"	9.50	2984.00	37.30	77.50	22.50	20	55
N°4	4.75	1762.00	22.03	99.53	0.47	0.00	10
N°8	2.36	12.00	0.15	99.68	0.32	0.00	5
N°16	1.18	0.00	0.00	99.68	0.32	0.00	0.00
N°30	0.60	0.00	0.00	99.68	0.32	0.00	0.00
N°50	0.30	0.00	0.00	99.68	0.32	0.00	0.00
N°100	0.15	0.00	0.00	99.68	0.32	0.00	0.00
N°200	0.075	0.00	0.00	99.68	0.32	0.00	0.00
CAZOLETA	--	26.00	0.33	100.00	0.00	0.00	0.00
PESO TOTAL		8000.00	MÓDULO DE FINEZA			6.825	

GRÁFICO 10: Curva Granulométrico del Agregado Grueso
Ensayo N°01

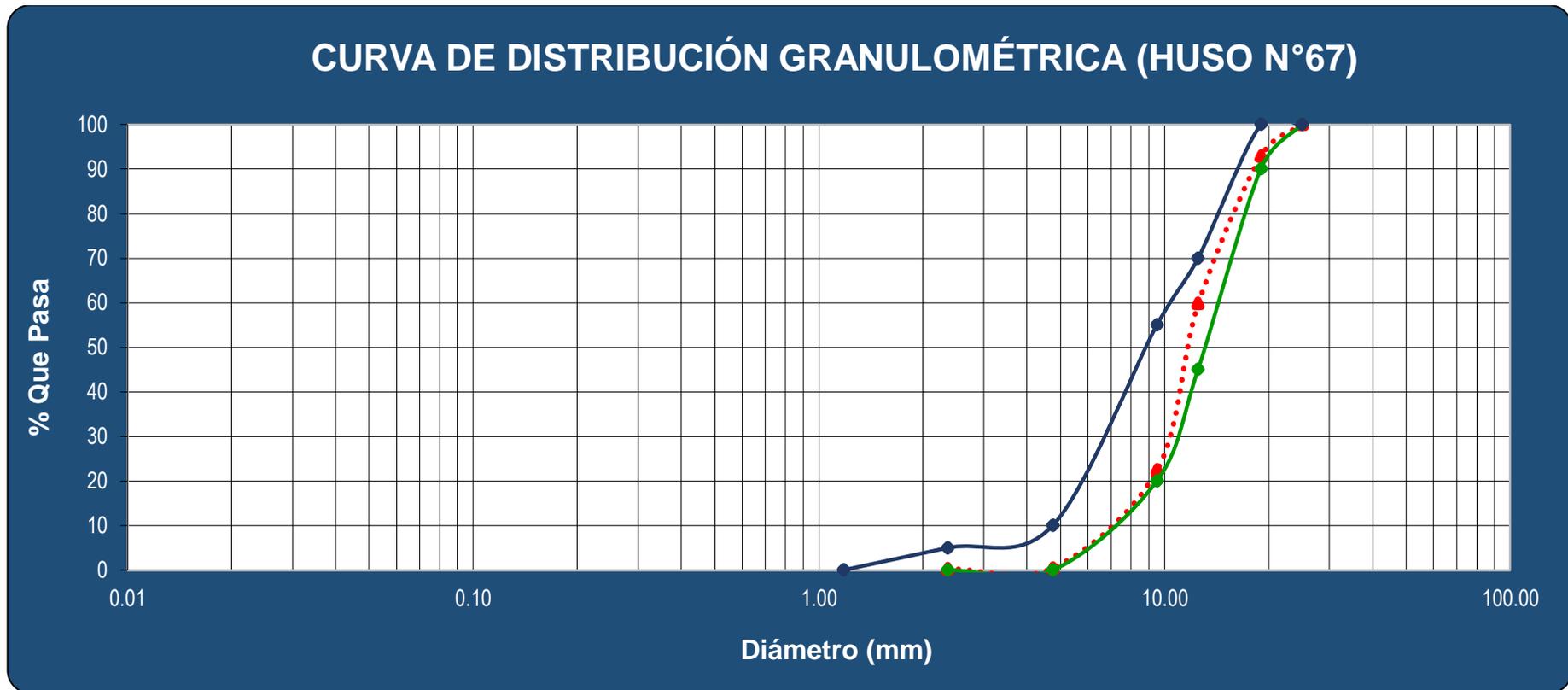


TABLA 30: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso (Ensayo N°02)

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO EN (g.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO HUSO N° 67 A.S.T.M. C 33	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	577.00	7.21	7.21	92.79	90	100
1/2"	12.50	2652.00	33.15	40.36	59.64	45	70
3/8"	9.50	2981.00	37.26	77.63	22.38	20	55
N°4	4.75	1750.00	21.88	99.50	0.50	0.00	10
N°8	2.36	16.00	0.20	99.70	0.30	0.00	5
N°16	1.18	0.00	0.00	99.70	0.30	0.00	0.00
N°30	0.60	0.00	0.00	99.70	0.30	0.00	0.00
N°50	0.30	0.00	0.00	99.70	0.30	0.00	0.00
N°100	0.15	0.00	0.00	99.70	0.30	0.00	0.00
N°200	0.075	0.00	0.00	99.70	0.30	0.00	0.00
CAZOLETA	--	24.00	0.30	100.00	0.00	0.00	0.00
PESO TOTAL		8000.00	MÓDULO DE FINEZA			6.828	

GRÁFICO 11: Curva Granulométrico del Agregado Grueso
Ensayo N°02

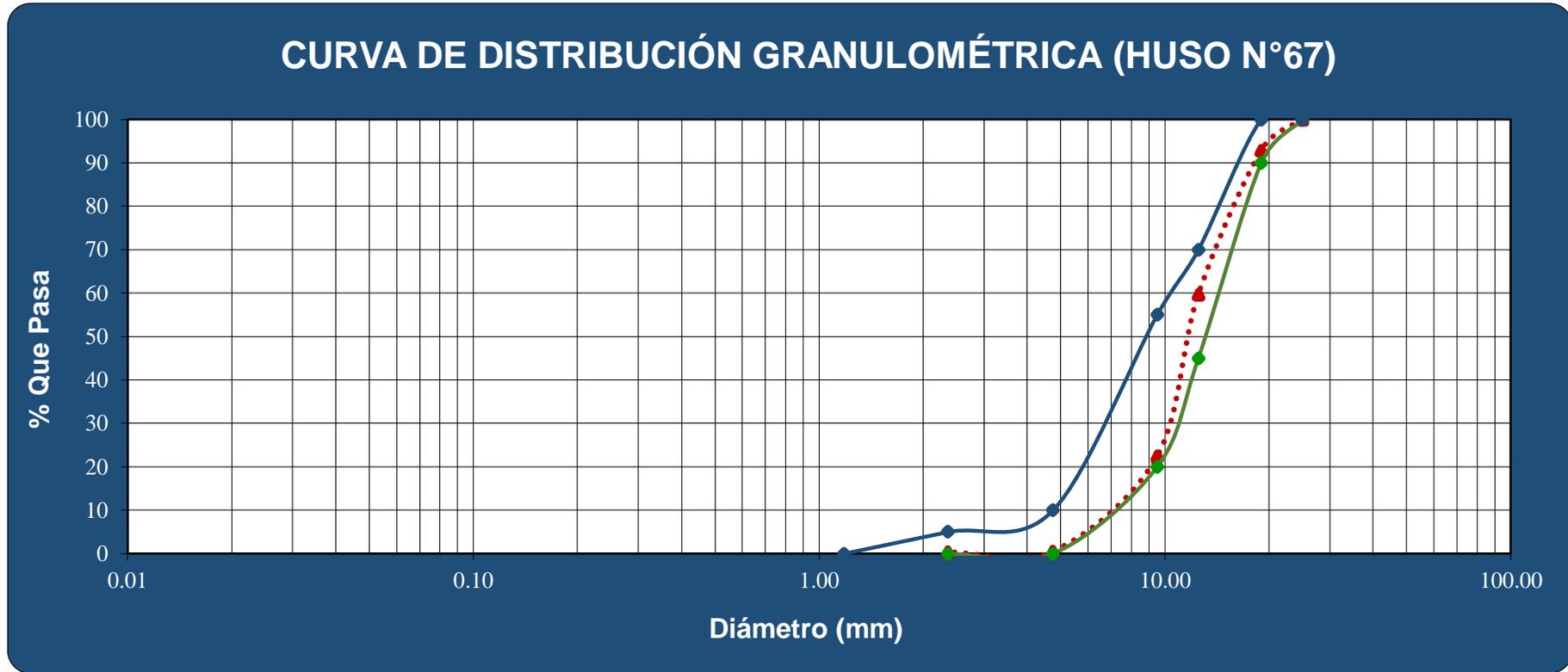
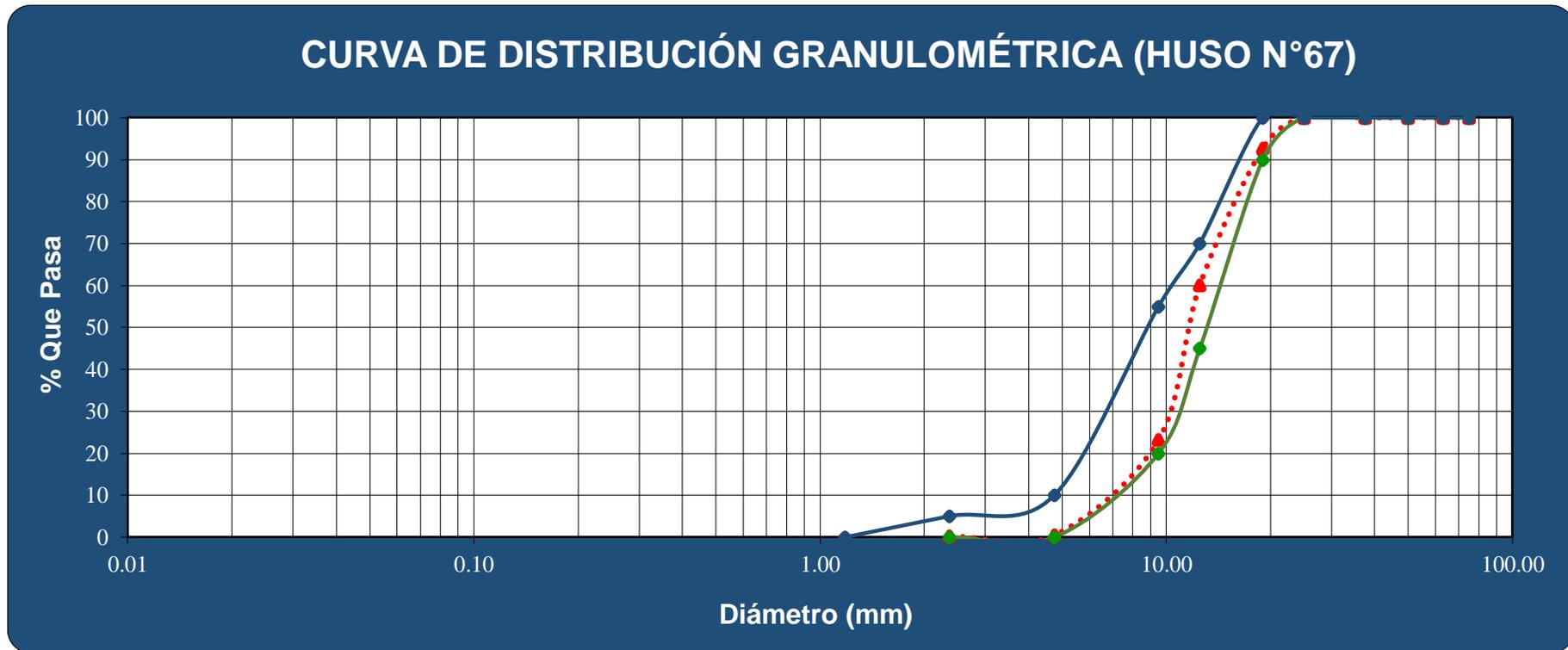


TABLA 31: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso (Ensayo N°03)

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO EN (g.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO HUSO N° 67 A.S.T.M. C 33	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	597.00	7.46	7.46	92.54	90	100
1/2"	12.50	2529.00	31.61	39.08	60.93	45	70
3/8"	9.50	2877.00	35.96	75.04	24.96	20	55
N°4	4.75	1955.00	24.44	99.48	0.53	0.00	10
N°8	2.36	22.00	0.28	99.75	0.25	0.00	5
N°16	1.18	0.00	0.00	99.75	0.25	0.00	0.00
N°30	0.60	0.00	0.00	99.75	0.25	0.00	0.00
N°50	0.30	0.00	0.00	99.75	0.25	0.00	0.00
N°100	0.15	0.00	0.00	99.75	0.25	0.00	0.00
N°200	0.075	0.00	0.00	99.75	0.25	0.00	0.00
CAZOLETA	--	20.00	0.25	100.00	0.00	0.00	0.00
PESO TOTAL		8000.00	MÓDULO DE FINEZA			6.807	

GRÁFICO 12: Curva Granulométrico del Agregado Grueso
Ensayo N°03



ANEXO N° 02. RESULTADOS DE ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

TABLA 32: Análisis Granulométrico del Agregado Fino
Ensayo N°01

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO NTP 400:037 (GRADACIÓN "M")	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	90.00	9.00	9.00	91.00	89	100
N°8	2.36	136.00	13.60	22.60	77.40	65	100
N°16	1.18	178.00	17.80	40.40	59.60	45	100
N°30	0.60	211.00	21.10	61.50	38.50	25	80
N°50	0.30	201.00	20.10	81.60	18.40	5	48
N°100	0.15	120.00	12.00	93.60	6.40	0	12
N°200	0.075	36.00	3.60	97.20	2.80	0	0
CAZOLETA	--	28.00	2.80	100.00	0.00	0	0
PESO TOTAL		1000.00	100.00	MÓDULO DE FINEZA		3.087	

GRÁFICO 13: Curva Granulométrico del Agregado Fino
Ensayo N°01

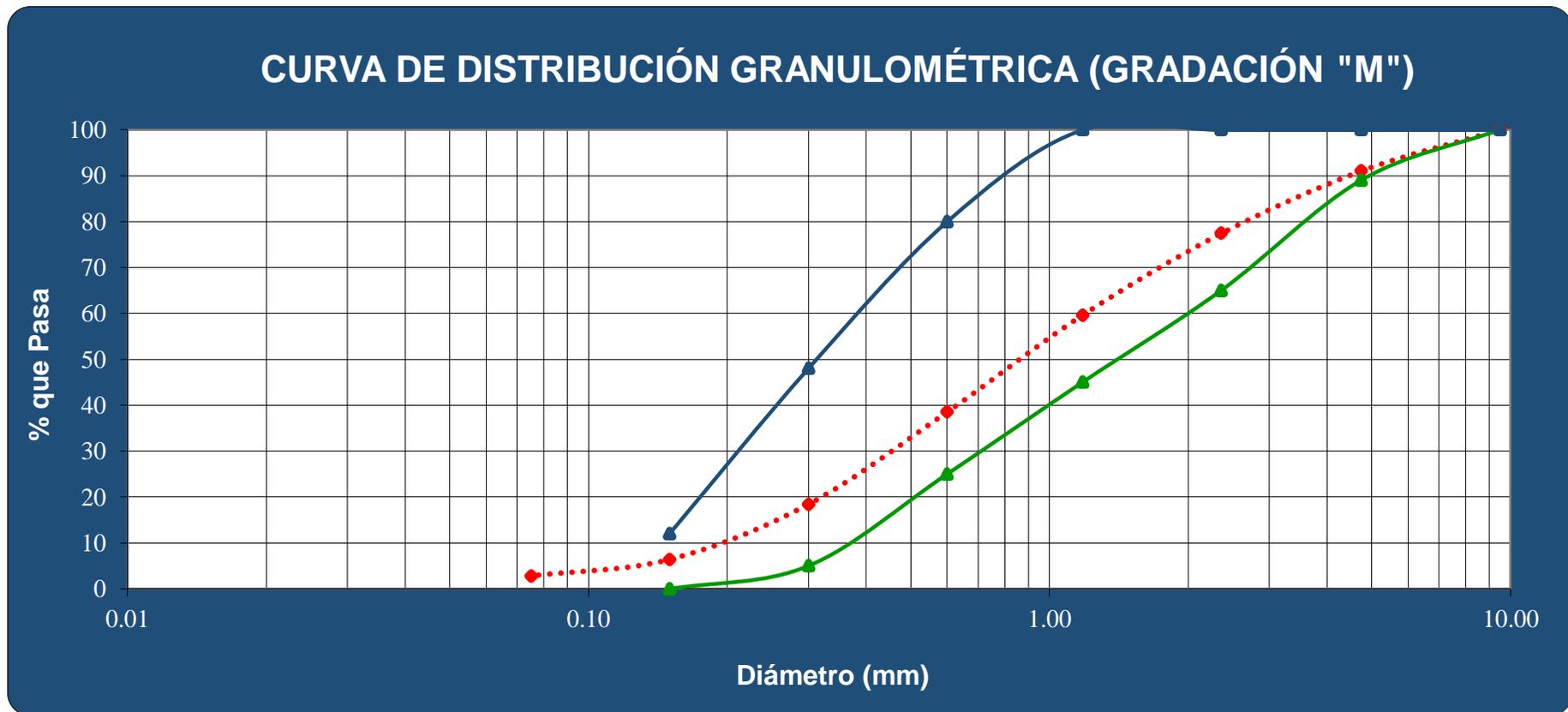


TABLA 33: Análisis Granulométrico del Agregado Fino

Ensayo N°02

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENINIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO NTP 400:037 (GRADACIÓN "M")	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	91.00	9.10	9.10	90.90	89	100
N°8	2.36	133.00	13.30	22.40	77.60	65	100
N°16	1.18	180.00	18.00	40.40	59.60	45	100
N°30	0.60	209.00	20.90	61.30	38.70	25	80
N°50	0.30	203.00	20.30	81.60	18.40	5	48
N°100	0.15	123.00	12.30	93.90	6.10	0	12
N°200	0.075	38.00	3.80	97.70	2.30	0	0
CAZOLETA	--	23.00	2.30	100.00	0.00	0	0
PESO TOTAL		1000.00	100.00	MÓDULO DE FINEZA		3.087	

GRÁFICO 14: Curva Granulométrico del Agregado Fino
Ensayo N°02

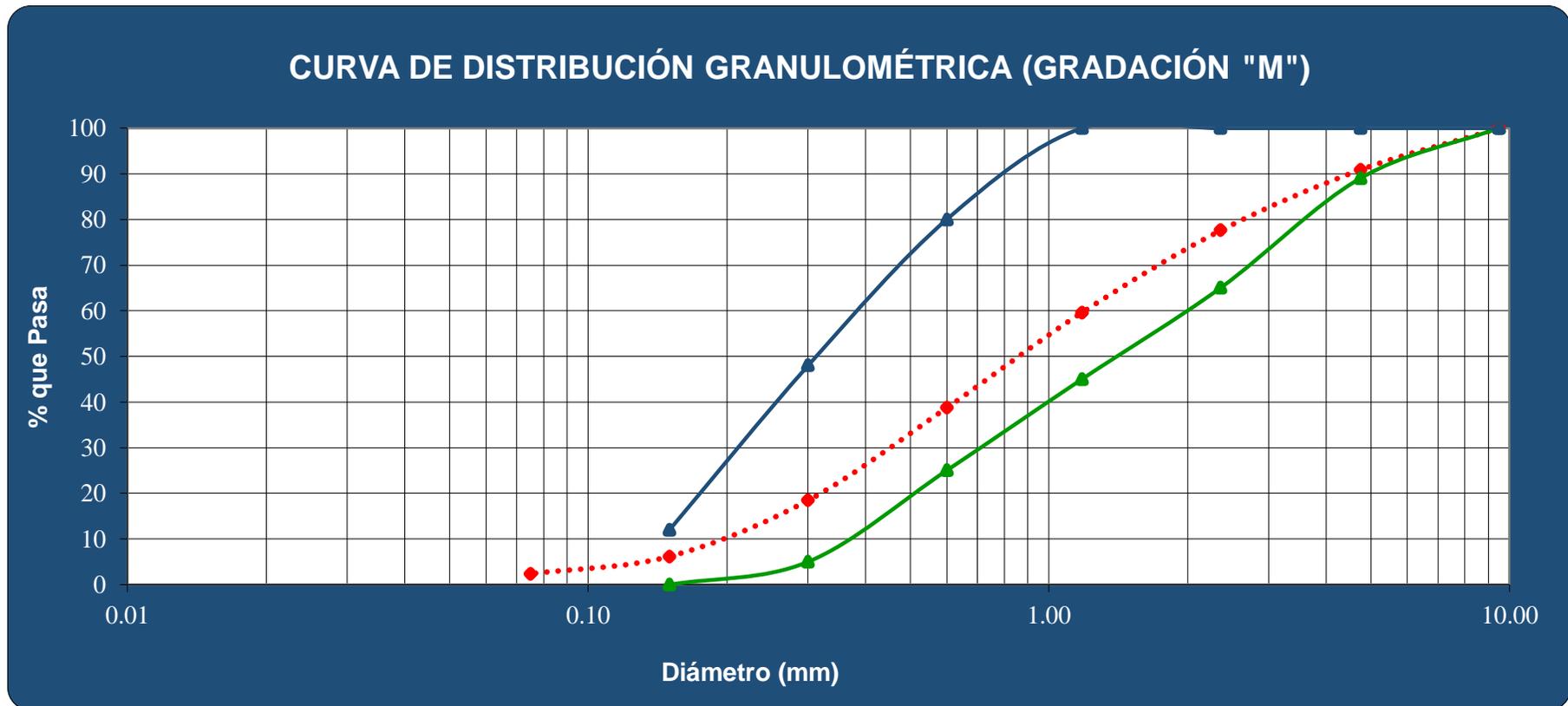
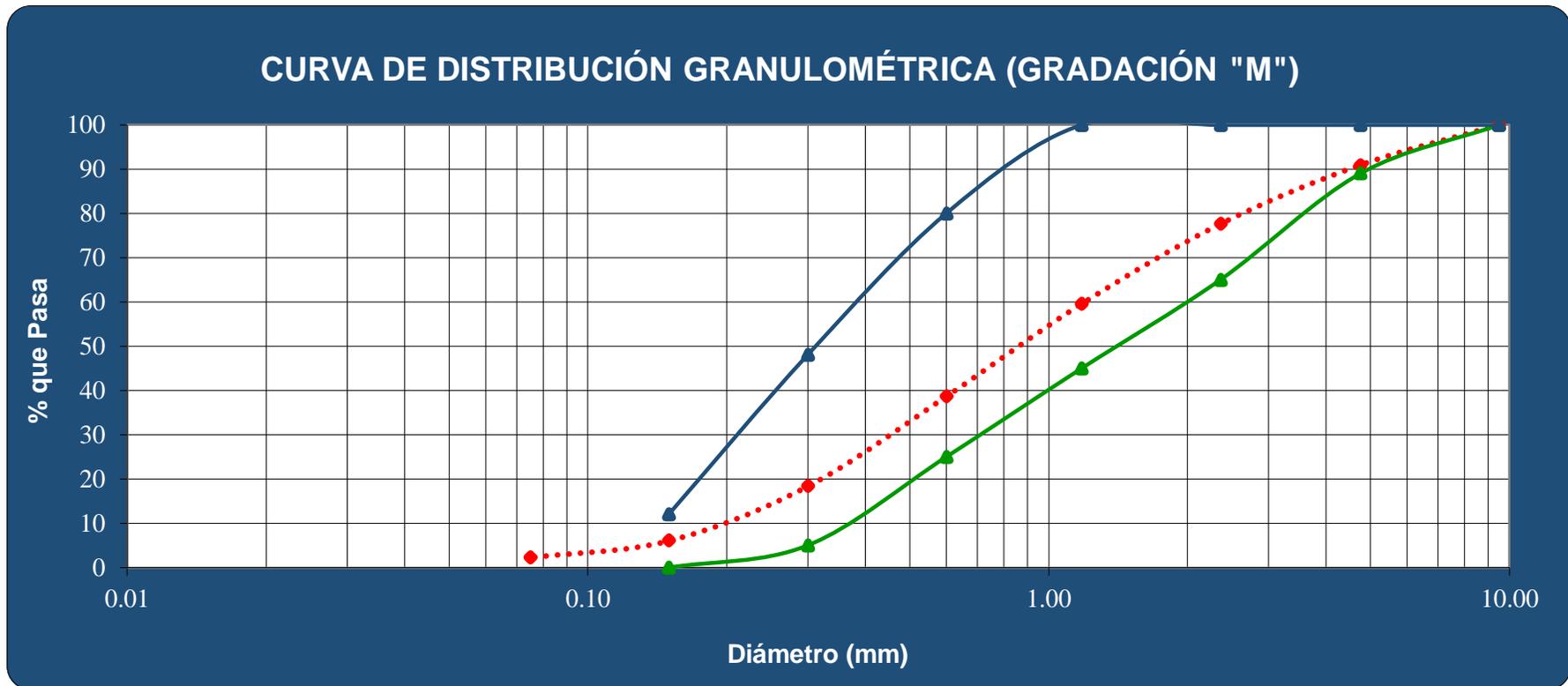


TABLA 34: Análisis Granulométrico del Agregado Fino
Ensayo N°03

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENINIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO NTP 400:037 (GRADACIÓN "M")	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	88.00	8.80	8.80	91.20	89	100
N°8	2.36	131.00	13.10	21.90	78.10	65	100
N°16	1.18	182.00	18.20	40.10	59.90	45	100
N°30	0.60	207.00	20.70	60.80	39.20	25	80
N°50	0.30	201.00	20.10	80.90	19.10	5	48
N°100	0.15	125.00	12.50	93.40	6.60	0	12
N°200	0.075	41.00	4.10	97.50	2.50	0	0
CAZOLETA	--	25.00	2.50	100.00	0.00	0	0
PESO TOTAL		1000.00	100.00	MÓDULO DE FINEZA		3.059	

GRÁFICO 15: Curva Granulométrico del Agregado Fino
Ensayo N°03



ANEXO N° 03. RESULTADOS DE ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

TABLA 35: Ensayo de Peso Específico del Agregado Grueso

Descripción	Und.	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03	Promedio
Peso de muestra SSS	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	4234.20	4232.70	4233.00	
Peso de canastilla sumergida	g	2367.40	2367.40	2367.40	
Peso de la muestra superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	2967.00	2966.00	2967.00	
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	1866.80	1865.30	1865.60	
Peso Específico de Masa	g/cm³	2.618	2.614	2.615	2.616
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/cm³	2.647	2.644	2.645	2.645
Peso Específico de Aparente	g/cm³	2.697	2.695	2.694	2.695
Absorción (%)	%	1.112	1.146	1.112	1.124

ANEXO N° 04. RESULTADOS DE ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

TABLA 36: Ensayo de Peso Específico del Agregado Fino

Descripción	Und.	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03	Promedio
Peso del picnómetro	g	157.00	157.00	157.00	
Peso del picnómetro +agua hasta menisco	g	653.00	653.00	653.00	
Peso del picnómetro +agua + muestra	g	969.00	970.00	970.50	
Peso de la muestra superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	494.40	494.50	494.30	
Peso de agua añadida al frasco	g	312.00	313.00	313.50	
Peso Específico de Masa	g/m³	2.630	2.644	2.650	2.642
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/m³	2.660	2.674	2.681	2.671
Peso Específico de Aparente	g/m³	2.711	2.725	2.734	2.723
Absorción (%)	%	1.133	1.112	1.153	1.133

ANEXO N° 05. RESULTADOS DE ENSAYO DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

TABLA 37: Cálculo del Peso Específico del agua

Descripción	Und.	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03	Promedio
Peso del picnómetro	g	145.2	145	145	
Peso de la picnómetro + agua	g	644.1	643.8	644.1	
Volumen de la picnómetro	cm ³	500	500	500	
Peso específico del agua	g/cm ³	0.998	0.998	0.998	0.998
Peso específico del agua	Kg/m ³	998	998	998	998

TABLA 38: Cálculo del Factor del molde para el Agregado Grueso

Descripción	Und.	Ensayo N° 01	Ensayo N°02	Ensayo N°03	Promedio
Peso del Molde	g	4200	4200	4200	
Peso del Molde + Agua	g	13931.1	13930.8	13931.2	
Peso Agua	kg	9.7311	9.7308	9.7312	
Factor	1/m³	102.544	102.547	102.543	102.54

TABLA 39: Cálculo del Peso Unitario suelto para el Agregado Grueso

Descripción	Und.	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03	Promedio
Peso del recipiente	g	4200.00	4200.00	4200.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	18015.00	18022.00	18044.00	
Peso de la muestra suelta	g	13815.00	13822.00	13844.00	
Factor (f)	1/m ³	102.54	102.54	102.54	
Peso Unitario Suelto	g/cm³	1.4167	1.4174	1.4197	1.418
Peso Unitario Suelto	Kg/m³	1417	1417	1420	1418

TABLA 40: Cálculo del Peso Unitario compactado para el Agregado Grueso

Descripción	Und.	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03	Promedio
Peso del recipiente	g	4200.00	4200.00	4200.00	
Peso de muestra compactada + recipiente	g	19355.00	19365.00	19388.00	
Peso de la muestra suelta	g	15155.00	15165.00	15188.00	
Factor (f)	1/m ³	102.548	102.548	102.548	
Peso Unitario Compactado	g/cm³	1.5541	1.5551	1.5575	1.556
Peso Unitario Compactado	Kg/m³	1554	1555	1558	1556

TABLA 41: Cálculo del Factor del molde para el Agregado Fino

Descripción	Und.	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03	Promedio
Peso del Molde	g	3881	3881	3881	
Peso del Molde +Agua	g	6859.8	6860.3	6859.9	
Peso Agua	kg	2.9788	2.9793	2.9789	
Factor	1/m ³	335.034	334.978	335.023	335.012

TABLA 42: Cálculo del Peso Unitario suelto para el Agregado Fino

Descripción	Und.	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03	Promedio
Peso del recipiente	g	3881.00	3881.00	3881.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	9157.00	9160.00	9143.00	
Peso de la muestra suelta	g	5276.00	5279.00	5262.00	
Factor (f)	1/m ³	335.012	335.012	335.012	
Peso Unitario Suelto	g/cm³	1.768	1.769	1.763	1.766
Peso Unitario Suelto	Kg/m³	1768	1769	1763	1766

TABLA 43: Cálculo del Peso Unitario compactado para el Agregado Fino

Descripción	Und.	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03	Promedio
Peso del recipiente	g	3881.00	3881.00	3881.00	
Peso de muestra Compactada + recipiente	g	9563.00	9536.00	9545.00	
Peso de la muestra Compactada	g	5682.00	5655.00	5664.00	
Factor (f)	1/m ³	335.012	335.012	335.012	
Peso Unitario Compactado	gr/cm³	1.904	1.894	1.898	1.899
Peso Unitario Compactado	Kg/m³	1904	1894	1898	1899

ANEXO N° 06. RESULTADOS DE ENSAYO DE ABRASIÓN

TABLA 44: Cálculo del ensayo de Abrasión del Agregado Grueso

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (Rev./min)	N° de Revoluciones	Tamaño Máx. Nominal	Peso de la Muestra en (gr.)
B	Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
N° DE ENSAYOS				1°	2°	3°
Peso Inicial de la muestra seca al horno (gr.)				5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)				3671.2	3713.5	3691.8
% Desgaste				26.58	25.73	26.16
% Desgaste Promedio				26.16		

ANEXO N° 07. RESULTADOS DE ENSAYO MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N°200

TABLA 45: Cálculo de materiales más finos que pasan el tamiz N° 200 del Agregado Grueso

Descripción	Und.	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03	Promedio
Peso de Muestra Original	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra Lavada	g	2988.00	2989.00	2986.00	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	12.00	11.00	14.00	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	0.40%	0.37%	0.47%	0.41%

TABLA 46: Cálculo de materiales más finos que pasan el tamiz N° 200 del Agregado Fino

Descripción	Und.	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03	Promedio
Peso de Muestra Original	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra Lavada	g	485.40	486.30	485.90	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	14.60	13.70	14.10	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	2.92%	2.74%	2.82%	2.83 %

ANEXO N° 08. RESULTADOS DE ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ROCA TRAQUITA

TABLA 47: Cálculo de peso específico y absorción de la roca traquita

Descripción	Und.	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03	Promedio
Peso de fiola	g	157.00	157.00	157.00	
Peso de la fiola +agua hasta menisco	g	593.60	593.60	593.60	
peso de la fiola +agua + muestra	g	963.00	965.30	962.40	
Peso de la muestra superficialmente Seco	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	463.20	463.50	463.00	
volumen de agua añadida al frasco (g)	g	306.00	308.30	305.40	
Peso Específico de Masa	g/m³	2.388	2.418	2.379	2.395
Absorción (%)	%	7.945	7.880	7.991	7.939

ANEXO N° 09. DISEÑO DE MEZCLA DE LA MUESTRA DE PRUEBA

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO DE PRUEBA USANDO EL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

I. SELECCION DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

$$F'_{cr} = 1.2 * F'_c$$

F'_c = 210 Kg/cm²
F'_{cr} = 252.0 Kg/cm²

II. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO

TIPO :	PACASMAYO TIPO I	PESO ESPECIFICO =	3.08	gr/cm ³
--------	------------------	-------------------	------	--------------------

III. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	-	3/4"
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.642 g/cm ³	2.616 g/cm ³
PESO ESPECIFICO DE MASA SSS	2.671 g/cm ³	2.645 g/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.723 g/cm ³	2.695 g/cm ³
PESO UNITARIO SUELTO SECO	1766 Kg/m ³	1418 Kg/m ³
PESO UNITARIO SUELTO SECO COMPACTADO	1899 Kg/m ³	1556 Kg/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.37	0.81
ABSORCION (%)	1.133	1.124
MODULO DE FINURA	3.08	6.82
ABRASION (%)	-	26.16
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200	2.83	0.41

IV. DISEÑO DE MEZCLA

ASENTAMIENTO = 3"- 4"
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO = 205 Lt/m³
AIRE TOTAL (%) = 2.0
RELACION A/Mc = 0.62
CEMENTO = 332.15 Kg/m³
CEMENTO = 7.815 Bolsas/m³

MÉTODO DE LOS VOLÚMENES ABSOLUTOS

CEMENTO = 0.107839 m³
AGUA DE MEZCLADO = 0.205 m³
AIRE (%) = 0.02 m³
VOLUMEN DE LA PASTA = 0.332839 m³
VOLUMEN DE AGREGADOS : 0.667161 m³

MODULO DE COMBINACION : 5.097
MODULO DE COMB. CORREG : 4.987
% AGREGADO FINO = 48.98
% AGREGADO GRUESO = 51.02

AGREGADO FINO SECO = 863.00 Kg/m³
AGREGADO GRUESO SECO : 890.00 Kg/m³

VACIOS =	40.497
VACIOS POR CORREGIR =	5.497
FCORR. MC=	0.110

APORTE HUMEDAD AGREGADOS	
APORTE AF =	19.33
APORTE AG =	-2.79
TOTAL =	16.54

MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	332.15	Kg	CEMENTO	332.15	Kg
AGUA DE DISEÑO	205.00	Lt	AGUA DE DISEÑO	188.46	Lt
AGREGADO FINO SECO	863.00	Kg	AGREGADO FINO SECO	892.00	Kg
AGREGADO GRUESO SECO	890.00	Kg	AGREGADO GRUESO SECO	897.00	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%	AIRE TOTAL	2.00	%

PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO =	1		CEMENTO =	1	
A. FINO =	2.69		A. FINO =	2.210	
A. GRUESO =	2.70		A. GRUESO =	2.830	
AGUA =	24.1	(Lt/ Bolsa)	AGUA =	24.100	(Lt/ Bolsa)

Materiales húmedos para una mezcla de prueba	
TANDA (m ³) :	0.02
CEMENTO (g)	6643
AGREGADO GRUESO (g)	17940
AGREGADO FINO (g)	17840
AGUA EFECTIVA (cm ³)	3769

ANEXO N° 10. DISEÑO DE MEZCLA CORREGIDO POR APARIENCIA, ASENTAMIENTO, AGUA AÑADIDA Y RESISTENCIA (DISEÑO PATRÓN)

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN USANDO EL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

I. SELECCION DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

$$F'_{cr} = 1.2 * F'_c$$

F'_c = 210 Kg/cm²
F'_{cr} = 252.0 Kg/cm²

II. CARACTERISTICAS DEL CEMENTO

TIPO :	PACASMAYO TIPO I	PESO ESPECIFICO =	3.08	gr/cm ³
--------	------------------	-------------------	------	--------------------

III. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	-	3/4"
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.642 g/cm ³	2.616 g/cm ³
PESO ESPECIFICO DE MASA SSS	2.671 g/cm ³	2.645 g/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.723 g/cm ³	2.695 g/cm ³
PESO UNITARIO SUELTO SECO	1766 Kg/m ³	1418 Kg/m ³
PESO UNITARIO SUELTO SECO COMPACTADO	1899 Kg/m ³	1556 Kg/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.37	0.81
ABSORCION (%)	1.133	1.124
MODULO DE FINURA	3.08	6.82
ABRASION (%)	-	26.16
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200	2.83	0.41

IV. DISEÑO DE MEZCLA

ASENTAMIENTO = 3"- 4"
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO = 221 Lt/m³
AIRE TOTAL (%) = 2.0
RELACION A/Mc = 0.79
CEMENTO = 280.93 Kg/m³
CEMENTO = 6.610 Bolsas/m³

MÉTODO DE LOS VOLÚMENES ABSOLUTOS

CEMENTO = 0.091211 m³
AGUA DE MEZCLADO = 0.22058 m³
AIRE (%) = 0.02 m³
VOLUMEN DE LA PASTA = 0.331791 m³
VOLUMEN DE AGREGADOS : 0.668209 m³

MODULO DE COMBINACION : 5.013
MODULO DE COMB. CORREC : 4.903
% AGREGADO FINO = 51.24
% AGREGADO GRUESO = 48.76

VACIOS =	40.497
VACIOS POR CORREGIR =	5.497
FCORR. MC=	0.110

AGREGADO FINO SECO = 905.00 Kg/m³
AGREGADO GRUESO SECO : 852.00 Kg/m³

APORTE HUMEDAD AGREGADOS	
APORTE AF =	20.27
APORTE AG =	-2.68
TOTAL =	17.60

MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	280.93	Kg	CEMENTO	280.93	Kg
AGUA DE DISEÑO	220.58	Lt	AGUA DE DISEÑO	202.98	Lt
AGREGADO FINO SECO	905.00	Kg	AGREGADO FINO SECO	936.00	Kg
AGREGADO GRUESO SECO	852.00	Kg	AGREGADO GRUESO SECO	859.00	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%	AIRE TOTAL	2.00	%

PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO =	1		CEMENTO =	1	
A. FINO =	3.33		A. FINO =	2.740	
A. GRUESO =	3.06		A. GRUESO =	3.210	
AGUA =	30.7	(Lt/ Bolsa)	AGUA =	30.700	(Lt/ Bolsa)

Materiales húmedos para una mezcla de prueba	
TANDA (m ³) :	0.02
CEMENTO (g)	5619
AGREGADO GRUESO (g)	17180
AGREGADO FINO (g)	18720
AGUA EFECTIVA (cm ³)	4060

ANEXO N° 11. DISEÑOS DE MEZCLA CON INCLUSIÓN DE PUZOLANA VOLCÁNICA

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON REEMPLAZO DE 10% DE PUZOLANA USANDO EL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

I. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

$$F_{cr} = 1.2 * F_c$$

F_c = 210 Kg/cm²
F_{cr} = 252.0 Kg/cm²

II. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO

TIPO :	PACASMAYO TIPO I	PESO ESPECIFICO =	3.08 gr/cm ³
--------	------------------	-------------------	-------------------------

III. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	-	3/4"
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.642 g/cm ³	2.616 g/cm ³
PESO ESPECIFICO DE MASA SSS	2.671 g/cm ³	2.645 g/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.723 g/cm ³	2.695 g/cm ³
PESO UNITARIO SUELTO SECO	1766 Kg/m ³	1418 Kg/m ³
PESO UNITARIO SUELTO SECO COMPACTADO	1899 Kg/m ³	1556 Kg/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.37	0.81
ABSORCION (%)	1.133	1.124
MODULO DE FINURA	3.08	6.82
ABRASION (%)	-	26.16
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200	2.83	0.41

IV. CARACTERÍSTICAS DE LA PUZOLANA

NOMBRE =	PUZOLANA VOLCANICA (ROCA TRAQUITA)	% =	10	P.E. gr/cm ³ =	2.395
----------	------------------------------------	-----	----	---------------------------	-------

IV. DISEÑO DE MEZCLA

ASENTAMIENTO = 3"- 4"
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO = 221 Lt/m³
AIRE TOTAL (%) = 2.0
RELACION A/Mc = 0.79
CEMENTO = 280.93 Kg/m³
CEMENTO = 6.610 Bolsas/m³

MÉTODO DE LOS VOLUMENES ABSOLUTOS

PUZOLANA = 0.011730 m³
CEMENTO = 0.082090 m³
AGUA DE MEZCLADO = 0.22058 m³
AIRE (%) = 0.02 m³
VOLUMEN DE LA PASTA = 0.334400 m³
VOLUMEN DE AGREGADOS = 0.665600 m³

MODULO DE COMBINACION : 5.013
MODULO DE COMB. CORREGIDO : 4.903
% AGREGADO FINO = 51.24
% AGREGADO GRUESO = 48.76

VACIOS =	40.497
VACIOS POR CORREGIR =	5.497
FCORR. MC=	0.110

AGREGADO FINO SECO = 901.00 Kg/m³
AGREGADO GRUESO SECO = 849.00 Kg/m³

APOORTE HUMEDAD AGREGADOS	
APOORTE AF =	20.18
APOORTE AG =	-2.67
TOTAL =	17.52

MATERIALES DE DISEÑO		MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD	
CEMENTO =	252.84 Kg	CEMENTO	252.84 Kg
AGUA DE DISEÑO =	220.58 Lt	AGUA DE DISEÑO	203.06 Lt
AGREGADO FINO SECO =	901.00 Kg	AGREGADO FINO SECO	931.00 Kg
AGREGADO GRUESO SECO =	849.00 Kg	AGREGADO GRUESO SECO	856.00 Kg
AIRE TOTAL =	2.00 %	AIRE TOTAL	2.00 %
PUZOLANA =	28.09 Kg	PUZOLANA	28.09 Kg

PROPORCION EN PESO		PROPORCION EN VOLUMEN	
CEMENTO =	1	CEMENTO =	1
A. FINO =	3.68	A. FINO =	3.030
A. GRUESO =	3.39	A. GRUESO =	3.560
AGUA =	34.1 (Lt / Bolsa)	AGUA =	34.100 (Lt / Bolsa)

Materiales húmedos para una mezcla de prueba

TANDA (m ³) :	0.02
CEMENTO (g)	5057
AGREGADO GRUESO (g)	17120
AGREGADO FINO (g)	18620
AGUA EFECTIVA (cm ³)	4061
PUZOLANA (g)	562

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON REEMPLAZO DE 15% DE PUZOLANA USANDO EL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

I. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

$$F'_{cr} = 1.2 * F'_c$$

F_c = 210 Kg/cm²
 F_{cr} = 252.0 Kg/cm²

II. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO

TIPO :	PACASMAYO TIPO I	PESO ESPECIFICO =	3.08 gr/cm ³
--------	------------------	-------------------	-------------------------

III. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	-	3/4"
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.642 g/cm ³	2.616 g/cm ³
PESO ESPECIFICO DE MASA SSS	2.671 g/cm ³	2.645 g/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.723 g/cm ³	2.695 g/cm ³
PESO UNITARIO SUELTO SECO	1766 Kg/m ³	1418 Kg/m ³
PESO UNITARIO SUELTO SECO COMPACTADO	1899 Kg/m ³	1556 Kg/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.37	0.81
ABSORCION (%)	1.133	1.124
MODULO DE FINURA	3.08	6.82
ABRASION (%)	-	26.16
PORCENTAJE QUE PASA MALLA Nº 200	2.83	0.41

IV. CARACTERÍSTICAS DE LA PUZOLANA

NOMBRE =	PUZOLANA VOLCANICA (ROCA TRAQUITA)	% =	15	P.E. gr/cm ³ =	2.395
----------	------------------------------------	-----	----	---------------------------	-------

IV. DISEÑO DE MEZCLA

ASENTAMIENTO = 3"- 4"
 CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO = 221 Lt/m³
 AIRE TOTAL (%) = 2.0
 RELACION A/Mc = 0.79
 CEMENTO = 280.93 Kg/m³
 CEMENTO = 6.610 Bolsas/m³

MÉTODO DE LOS VOLUMENES ABSOLUTOS

PUZOLANA = 0.017595 m³
 CEMENTO = 0.077529 m³
 AGUA DE MEZCLADO = 0.22058 m³
 AIRE (%) = 0.02 m³
 VOLUMEN DE LA PASTA = 0.335704 m³
 VOLUMEN DE AGREGADOS = 0.664296 m³

MODULO DE COMBINACION : 5.013
 MODULO DE COMB. CORREGIDO : 4.903
 % AGREGADO FINO = 51.24
 % AGREGADO GRUESO = 48.76

VACIOS =	40.497
VACIOS POR CORREGIR =	5.497
FCORR. MC=	0.110

AGREGADO FINO SECO = 899.00 Kg/m³
 AGREGADO GRUESO SECO = 847.00 Kg/m³

APORTE HUMEDAD AGREGADOS	
APORTE AF =	20.14
APORTE AG =	-2.66
TOTAL =	17.48

MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	=	238.79 Kg	CEMENTO	=	238.79 Kg
AGUA DE DISEÑO	=	220.58 Lt	AGUA DE DISEÑO	=	203.10 Lt
AGREGADO FINO SECO	=	899.00 Kg	AGREGADO FINO SECO	=	929.00 Kg
AGREGADO GRUESO SECO	=	847.00 Kg	AGREGADO GRUESO SECO	=	854.00 Kg
AIRE TOTAL	=	2.00 %	AIRE TOTAL	=	2.00 %
PUZOLANA	=	42.14 Kg	PUZOLANA	=	42.14 Kg

PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO =	1		CEMENTO =	1	
A. FINO =	3.89		A. FINO =	3.200	
A. GRUESO =	3.58		A. GRUESO =	3.760	
AGUA =	36.1	(Lt / Bolsa)	AGUA =	36.100	(Lt / Bolsa)

Materiales húmedos para una mezcla de prueba

TANDA (m ³) :	0.02
CEMENTO (g)	4776
AGREGADO GRUESO (g)	17080
AGREGADO FINO (g)	18580
AGUA EFECTIVA (cm ³)	4062
PUZOLANA (g)	843

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON REEMPLAZO DE 20% DE PUZOLANA USANDO EL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

I. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

$$F'_{cr} = 1.2 * F'_c$$

F_c = 210 Kg/cm²
 F_{cr} = 252.0 Kg/cm²

II. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO

TIPO :	PACASMAYO TIPO I	PESO ESPECIFICO =	3.08 gr/cm ³
--------	------------------	-------------------	-------------------------

III. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	-	3/4"
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.642 g/cm ³	2.616 g/cm ³
PESO ESPECIFICO DE MASA SSS	2.671 g/cm ³	2.645 g/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.723 g/cm ³	2.695 g/cm ³
PESO UNITARIO SUELTO SECO	1766 Kg/m ³	1418 Kg/m ³
PESO UNITARIO SUELTO SECO COMPACTADO	1899 Kg/m ³	1556 Kg/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.37	0.81
ABSORCION (%)	1.133	1.124
MODULO DE FINURA	3.08	6.82
ABRASION (%)	-	26.16
PORCENTAJE QUE PASA MALLA Nº 200	2.83	0.41

IV. CARACTERÍSTICAS DE LA PUZOLANA

NOMBRE =	PUZOLANA VOLCANICA (ROCA TRAQUITA)	% =	20	P.E. gr/cm ³ =	2.395
----------	------------------------------------	-----	----	---------------------------	-------

IV. DISEÑO DE MEZCLA

ASENTAMIENTO = 3" - 4"
 CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO = 221 Lt/m³
 AIRE TOTAL (%) = 2.0
 RELACION A/Mc = 0.79
 CEMENTO = 280.93 Kg/m³
 CEMENTO = 6.610 Bolsas/m³

MÉTODO DE LOS VOLÚMENES ABSOLUTOS

PUZOLANA = 0.023460 m³
 CEMENTO = 0.072969 m³
 AGUA DE MEZCLADO = 0.22058 m³
 AIRE (%) = 0.02 m³
 VOLUMEN DE LA PASTA = 0.337008 m³
 VOLUMEN DE AGREGADOS = 0.662992 m³

MODULO DE COMBINACION : 5.013
 MODULO DE COMB. CORREGIDO : 4.903
 % AGREGADO FINO = 51.24
 % AGREGADO GRUESO = 48.76

VACIOS =	40.497
VACIOS POR CORREGIR =	5.497
FCORR. MC =	0.110

AGREGADO FINO SECO = 897.00 Kg/m³
 AGREGADO GRUESO SECO = 846.00 Kg/m³

APORTE HUMEDAD AGREGADOS	
APORTE AF =	20.09
APORTE AG =	-2.66
TOTAL =	17.44

MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	=	224.74 Kg	CEMENTO	=	224.74 Kg
AGUA DE DISEÑO	=	220.58 Lt	AGUA DE DISEÑO	=	203.14 Lt
AGREGADO FINO SECO	=	897.00 Kg	AGREGADO FINO SECO	=	927.00 Kg
AGREGADO GRUESO SECO	=	846.00 Kg	AGREGADO GRUESO SECO	=	853.00 Kg
AIRE TOTAL	=	2.00 %	AIRE TOTAL	=	2.00 %
PUZOLANA	=	56.19 Kg	PUZOLANA	=	56.19 Kg

PROPORCION EN PESO		PROPORCION EN VOLUMEN	
CEMENTO =	1	CEMENTO =	1
A. FINO =	4.12	A. FINO =	3.390
A. GRUESO =	3.80	A. GRUESO =	3.990
AGUA =	38.4 (Lt / Bolsa)	AGUA =	38.400 (Lt / Bolsa)

Materiales húmedos para una mezcla de prueba

TANDA (m ³) :	0.02
CEMENTO (g)	4495
AGREGADO GRUESO (g)	17060
AGREGADO FINO (g)	18540
AGUA EFECTIVA (cm ³)	4063
PUZOLANA (g)	1124

ANEXO N° 12. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS DE LA ROTURA DE PROBETAS

TABLA 48: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 7 días sin adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	PROMEDIO
Edad del Especímen (días)	7	7	7	7	7	7	7
% de Roca Traquita	0	0	0	0	0	0	0
Peso Promedio (kg)	12.97	12.89	13.05	13.1	12.91	12.97	12.98
Altura Promedio	30.5	30.6	30.6	30.4	30.7	30.6	30.57
Diámetro Promedio (cm)	15.25	15.22	15.32	15.2	15.31	15.17	15.24
Área (cm ²)	182.65	181.94	184.33	181.46	184.09	180.62	182.52
Carga Máxima de Rotura (KN)	29	29	29	28.5	29	28	28.75
Carga Máxima de Rotura (kg)	29000	29000	29000	28500	29000	28000	28750
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	158.77	159.4	157.32	157.06	157.53	155.02	157.52
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	198831.4	199223.3	197922.9	197758.2	198052.1	196468.2	198042.7
Tipo de Falla	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 6	-
Desviación Estándar	1.523058327						
Varianza	2.319706667						

TABLA 49: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 7 días con 10% de adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	PROMEDIO
Edad del Especímen (días)	7	7	7	7	7	7	7
% de Roca Traquita	10	10	10	10	10	10	10
Peso Promedio (kg)	12.97	13.03	13.12	13.08	13.04	13.04	13.04
Altura Promedio	30.6	30.6	30.7	30.5	30.5	30.5	30.57
Diámetro Promedio (cm)	15.22	15.32	15.28	15.2	15.28	15.28	15.26
Área (cm ²)	181.94	184.33	183.37	181.46	183.28	183.28	182.94
Carga Máxima de Rotura (KN)	24.5	23	25	23.5	24	24	24
Carga Máxima de Rotura (kg)	24500	23000	25000	23500	24000	24000	24000
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	134.66	124.77	136.33	129.51	130.95	130.95	131.2
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	183115.1	176262.9	184247.8	179575.1	180572.5	180572.5	180724.3
Tipo de Falla	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 6	-
Desviación Estándar	4.06483333						
Varianza	16.52287						

TABLA 50: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 7 días con 15% de adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	PROMEDIO
Edad del Especímen (días)	7	7	7	7	7	7	7
% de Roca Traquita	15	15	15	15	15	15	15
Peso Promedio (kg)	13.01	12.89	12.95	12.95	12.95	12.93	12.94
Altura Promedio	30.3	30.4	30.3	30.35	30.4	30.4	30.36
Diámetro Promedio (cm)	15.35	15.15	15.19	15.15	15.4	15.32	15.26
Área (cm ²)	185.06	180.27	181.2	180.27	186.27	184.33	182.9
Carga Máxima de Rotura (KN)	20.5	21.5	20	21.5	22	21.5	21.17
Carga Máxima de Rotura (kg)	20500	21500	20000	21500	22000	21500	21166.67
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	110.78	119.27	110.38	119.27	118.11	116.64	115.74
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	166082.7	172330.6	165783.6	172330.6	171493	170418.3	169739.8
Tipo de Falla	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 6	-
Desviación Estándar	4.115334332						
Varianza	16.93597667						

TABLA 51: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 7 días con 20% de adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	PROMEDIO
Edad del Especímen (días)	7	7	7	7	7	7	7
% de Roca Traquita	20	20	20	20	20	20	20
Peso Promedio (kg)	12.88	12.92	13.1	12.97	13.09	12.93	12.98
Altura Promedio	30.5	30.5	30.7	30.4	30.7	30.5	30.55
Diámetro Promedio (cm)	15.17	15.38	15.38	15.26	15.23	15.22	15.27
Área (cm ²)	180.84	185.78	185.78	182.89	182.18	181.94	183.23
Carga Máxima de Rotura (KN)	19.5	18	19	18.5	19.5	19	18.92
Carga Máxima de Rotura (kg)	19500	18000	19000	18500	19500	19000	18916.67
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	107.83	96.89	102.27	101.15	107.04	104.43	103.27
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	163860	155323	159579.2	158703.7	163257.5	161256.7	160330
Tipo de Falla	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 6	-
Desviación Estándar	4.06327167						
Varianza	16.51017667						

TABLA 52: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 60 días sin adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	PROM
Edad del Especímen (días)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
% de Roca Traquita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso Promedio (kg)	13.15	13.12	12.99	13.02	12.9	12.95	13	12.89	12.89	12.89	13.06	12.92	12.98
Altura Promedio	30.5	30.52	30.48	30.37	30.6	30.54	30.48	30.45	30.6	30.51	30.42	30.58	30.5
Diámetro Promedio (cm)	15.25	15.3	15.12	15.2	15.41	15.17	15.32	15.06	15.13	15.2	15.22	15.2	15.21
Área (cm ²)	182.65	183.73	179.55	181.46	186.51	180.62	184.36	178.01	179.67	181.53	181.98	181.41	181.79
Carga Máxima de Rotura (KN)	41.5	42	41	40.5	43	41.5	43.5	40	44	42.5	44	40	41.96
Carga Máxima de Rotura (kg)	41500	42000	41000	40500	43000	41500	43500	40000	44000	42500	44000	40000	41958.33
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	227.21	228.59	228.34	223.19	230.55	229.76	235.95	224.7	244.89	234.12	241.78	220.49	230.8
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	237853.71	238578.27	238449.19	235743.45	239600.27	239186.88	242389.18	236540.2	246937.29	241446.49	245363.71	234314.56	239700.27
Tipo de Falla	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 6	TIPO 6	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 4	TIPO 6	TIPO 5	-
Desviación Estándar	4.98												
Varianza	24.8004												

TABLA 53: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 60 días con 10% de adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	PROMEDIO
Edad del Especímen (días)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
% de Roca Traquita	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Peso Promedio (kg)	12.96	12.99	13.1	12.98	12.98	12.87	12.83	12.9	13.01	13	12.86	12.97	12.95
Altura Promedio	30.5	30.61	30.52	30.5	30.59	30.47	30.4	30.6	30.54	30.56	30.48	30.6	30.53
Diámetro Promedio (cm)	15	15.13	15.23	15.14	15.11	15.32	15.3	15.05	15.28	15.15	15.23	15.1	15.17
Área (cm ²)	176.71	179.67	182.27	180.03	179.2	184.36	183.73	177.78	183.37	180.17	182.18	179.08	180.71
Carga Máxima de Rotura (KN)	47	47.5	48.5	47	47	48.5	46.5	47.5	47	46.5	47.5	46	47.21
Carga Máxima de Rotura (kg)	47000	47500	48500	47000	47000	48500	46500	47500	47000	46500	47500	46000	47208.33
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	265.97	264.37	266.09	261.07	262.28	263.07	253.08	267.19	256.31	258.09	260.74	256.87	261.26
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	257343.61	256570.75	257402.43	254963.95	255554.73	255940.77	251034.1	257935.03	252627.89	253503.66	254801.87	252905.16	255048.66
Tipo de Falla	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 6	TIPO 6	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 4	TIPO 6	TIPO 5	-
Desviación Estándar	4.428306589												
Varianza	19.60989924												

TABLA 54: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 60 días con 15% de adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	PROMEDIO
Edad del Especímen (días)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
% de Roca Traquita	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Peso Promedio (kg)	12.91	12.97	13.05	12.99	12.95	13.07	12.85	12.99	12.99	12.9	12.91	12.94	12.96
Altura Promedio	30.51	30.6	30.54	30.5	30.42	30.65	30.47	30.51	30.55	30.5	30.6	30.55	30.53
Diámetro Promedio (cm)	15.17	15.32	15.3	15	15.22	15.22	15.11	15.19	15.24	15.28	15.12	15.24	15.2
Área (cm ²)	180.81	184.33	183.81	176.71	181.84	181.89	179.36	181.22	182.44	183.37	179.43	182.41	181.47
Carga Máxima de Rotura (KN)	37.5	39	38.5	37	37.5	38	37.5	37	38	38	36	37.5	37.63
Carga Máxima de Rotura (kg)	37500	39000	38500	37000	37500	38000	37500	37000	38000	38000	36000	37500	37625
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	207.4	211.57	209.46	209.38	206.22	208.92	209.07	204.17	208.29	207.23	200.63	205.58	207.33
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	227247.91	229524.61	228376.51	228331.23	226605.71	228081.43	228165.2	225475.21	227737.24	227155.97	223510.96	226248.85	227205.07
Tipo de Falla	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 6	TIPO 6	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 4	TIPO 6	TIPO 2	-
Desviación Estándar	2.897950164												
Varianza	8.398115152												

TABLA 55: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos a la edad de 60 días con 20% de adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	PROMEDIO
Edad del Especímen (días)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	60
% de Roca Traquita	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	20
Peso Promedio (kg)	12.89	12.97	12.93	12.89	12.93	12.95	12.87	12.99	12.96	12.86	13.08	-	12.94
Altura Promedio	30.6	30.4	30.45	30.55	30.4	30.5	30.5	30.6	30.6	30.6	30.4	-	30.51
Diámetro Promedio (cm)	15.13	15.35	15.21	15.28	15.14	15.3	15.22	15.32	15.21	15.22	15.14	-	15.23
Área (cm ²)	179.67	185.06	181.79	183.33	180.08	183.85	181.94	184.43	181.58	181.94	180.03	-	182.15
Carga Máxima de Rotura (KN)	34.5	34.5	35	34	33.5	34.5	33.5	34.5	34	33.5	34	-	34.14
Carga Máxima de Rotura (kg)	34500	34500	35000	34000	33500	34500	33500	34500	34000	33500	34000	-	34136.36
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	192.02	186.43	192.53	185.46	186.03	187.65	184.13	187.06	187.25	184.13	188.86	-	187.41
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	218660.27	215455.15	218950.7	214896.17	215226.07	216159.25	214123.07	215820.71	215927.9	214123.07	216854.93	-	216017.94
Tipo de Falla	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 6	TIPO 6	TIPO 2	TIPO 6	TIPO 4	TIPO 6	TIPO 6	-
Desviación Estándar	2.792107708												
Varianza	7.795865455												

TABLA 56: Resultados de la rotura de especímenes prismáticos a la edad de 60 días sin adición de puzolana

N° Espécimen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	PROMEDIO
Edad del Espécimen (días)	60	60	60	60	60	60	60
% de Roca Traquita	0	0	0	0	0	0	0
Peso Promedio (kg)	27.5	26.57	26.8	26.47	28.2	27.43	27.16
Altura Promedio (mm)	152.5	153.4	152.5	151.5	152.9	152.8	152.6
Ancho Promedio (mm)	150.38	151.4	150.9	151.8	150.9	151.2	151.1
Longitud Promedio (mm)	500.8	503.4	504.1	503.2	504.1	502.8	503.07
Longitud del tramo de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450
Carga Máxima de Rotura (Kg)	1250	1300	1150	1300	1150	1200	1225
Carga Máxima de Rotura (N)	12262.5	12753	11281.5	12753	11281.5	11772	12017.25
Resistencia a la Flexión (kg/cm2)	24.5	25	22.4	25.15	22.35	23.2	23.77
Desviación Estándar	1.278149704						
Varianza	1.633666667						

TABLA 57: Resultados de la rotura de especímenes prismáticos a la edad de 60 días con 10% adición de puzolana

N° Espécimen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	PROMEDIO
Edad del Espécimen (días)	60	60	60	60	60	60	60
% de Roca Traquita	10	10	10	10	10	10	10
Peso Promedio (kg)	28.05	27.56	26.98	27.46	28.1	27.47	27.6
Altura Promedio (mm)	154	151.89	153.26	152.47	152.52	152.98	152.85
Ancho Promedio (mm)	149.6	151.4	150.38	152.1	150.65	151.4	150.92
Longitud Promedio (mm)	503.5	501.9	502.8	503.2	503.2	501.4	502.67
Longitud del tramo de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450
Carga Máxima de Rotura (Kg)	1500	1450	1450	1400	1400	1350	1425
Resistencia a la Flexión (kg/cm2)	29.4	28.15	28.25	26.85	27.35	26	27.67
Desviación Estándar	1.193594012						
Varianza	1.424666667						

TABLA 58: Resultados de la rotura de especímenes prismáticos a la edad de 60 días con 15% adición de puzolana

N° Espécimen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	PROMEDIO
Edad del Espécimen (días)	60	60	60	60	60	60	60
% de Roca Traquita	15	15	15	15	15	15	15
Peso Promedio (kg)	27.35	26.95	27.15	26.98	28.64	27.38	27.41
Altura Promedio (mm)	153.4	154.3	154.15	153.87	152.9	153.85	153.75
Ancho Promedio (mm)	150.1	151.4	152	151.4	150.4	149.8	150.85
Longitud Promedio (mm)	500.5	503.4	504.2	502.5	504	501.5	502.68
Longitud del tramo de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450
Carga Máxima de Rotura (Kg)	1150	1200	1250	1200	1100	1150	1175
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	22.5	22.95	23.7	23	21.5	22.5	22.69
Desviación Estándar	0.731038075						
Varianza	0.534416667						

TABLA 59: Resultados de la rotura de especímenes prismáticos a la edad de 60 días con 20% adición de puzolana

N° Espécimen	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	PROMEDIO
Edad del Espécimen (días)	60	60	60	60	60	60	60
% de Roca Traquita	20	20	20	20	20	20	20
Peso Promedio (kg)	26.98	27.5	27.45	27.75	27.87	26.85	27.4
Altura Promedio (mm)	154.05	153.2	152.85	153.5	153.5	154.25	153.56
Ancho Promedio (mm)	149.5	149.9	150.5	150.14	149.98	151.1	150.19
Longitud Promedio (mm)	502.5	500.5	504.2	503.4	501.62	504	502.7
Longitud del tramo de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450
Carga Máxima de Rotura (Kg)	1000	1100	950	1050	1050	950	1016.67
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	19.65	21.6	18.55	20.5	20.55	18.25	19.85
Desviación Estándar	1.285690476						
Varianza	1.653						

ANEXO N° 13. CURVA DEFORMACIÓN UNITARIA VS ESFUERZO OBTENIDO DE LA ROTURA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS

TABLA 60: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Especimen 06- Edad de 07 días- 0% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-06-7d	ÁREA (cm ²)	177.3513318
TIPO DE ESPECIMEN	Cilíndrico	ALTURA (mm)	306
% ROCA TRAQUITA	0	PESO (Kg)	12.965
DÍAMETRO PROMEDIO (mm)	150.27	CARGA DE ROTURA (Kg)	28000
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
1000	0.05	0.163 E(-3)	5.54 Kg/cm ²
2000	0.15	0.490 E(-3)	11.07 Kg/cm ²
3000	0.27	0.882 E(-3)	16.61 Kg/cm ²
4000	0.37	1.209 E(-3)	22.15 Kg/cm ²
5000	0.45	1.471 E(-3)	27.68 Kg/cm ²
6000	0.55	1.797 E(-3)	33.22 Kg/cm ²
7000	0.63	2.059 E(-3)	38.75 Kg/cm ²
8000	0.69	2.255 E(-3)	44.29 Kg/cm ²
9000	0.79	2.582 E(-3)	49.83 Kg/cm ²
10000	0.84	2.745 E(-3)	55.36 Kg/cm ²
11000	0.92	3.007 E(-3)	60.90 Kg/cm ²
12000	0.97	3.170 E(-3)	66.44 Kg/cm ²
13000	1.03	3.366 E(-3)	71.97 Kg/cm ²
14000	1.09	3.562 E(-3)	77.51 Kg/cm ²
15000	1.15	3.758 E(-3)	83.05 Kg/cm ²
16000	1.2	3.922 E(-3)	88.58 Kg/cm ²
17000	1.27	4.150 E(-3)	94.12 Kg/cm ²
18000	1.31	4.281 E(-3)	99.65 Kg/cm ²
19000	1.35	4.412 E(-3)	105.19 Kg/cm ²
20000	1.4	4.575 E(-3)	110.73 Kg/cm ²
21000	1.43	4.673 E(-3)	116.26 Kg/cm ²
22000	1.51	4.935 E(-3)	121.80 Kg/cm ²
23000	1.53	5.000 E(-3)	127.34 Kg/cm ²
24000	1.57	5.131 E(-3)	132.87 Kg/cm ²
25000	1.62	5.294 E(-3)	138.41 Kg/cm ²
26000	1.69	5.523 E(-3)	143.95 Kg/cm ²
27000	1.78	5.817 E(-3)	149.48 Kg/cm ²
28000	1.85	6.046 E(-3)	155.02 Kg/cm ²

27000	1.9	6.209 E(-3)	149.48 Kg/cm2
26000	1.92	6.275 E(-3)	143.95 Kg/cm2

GRÁFICO 16: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 06- Edad de 07 días- 0% de roca traquita

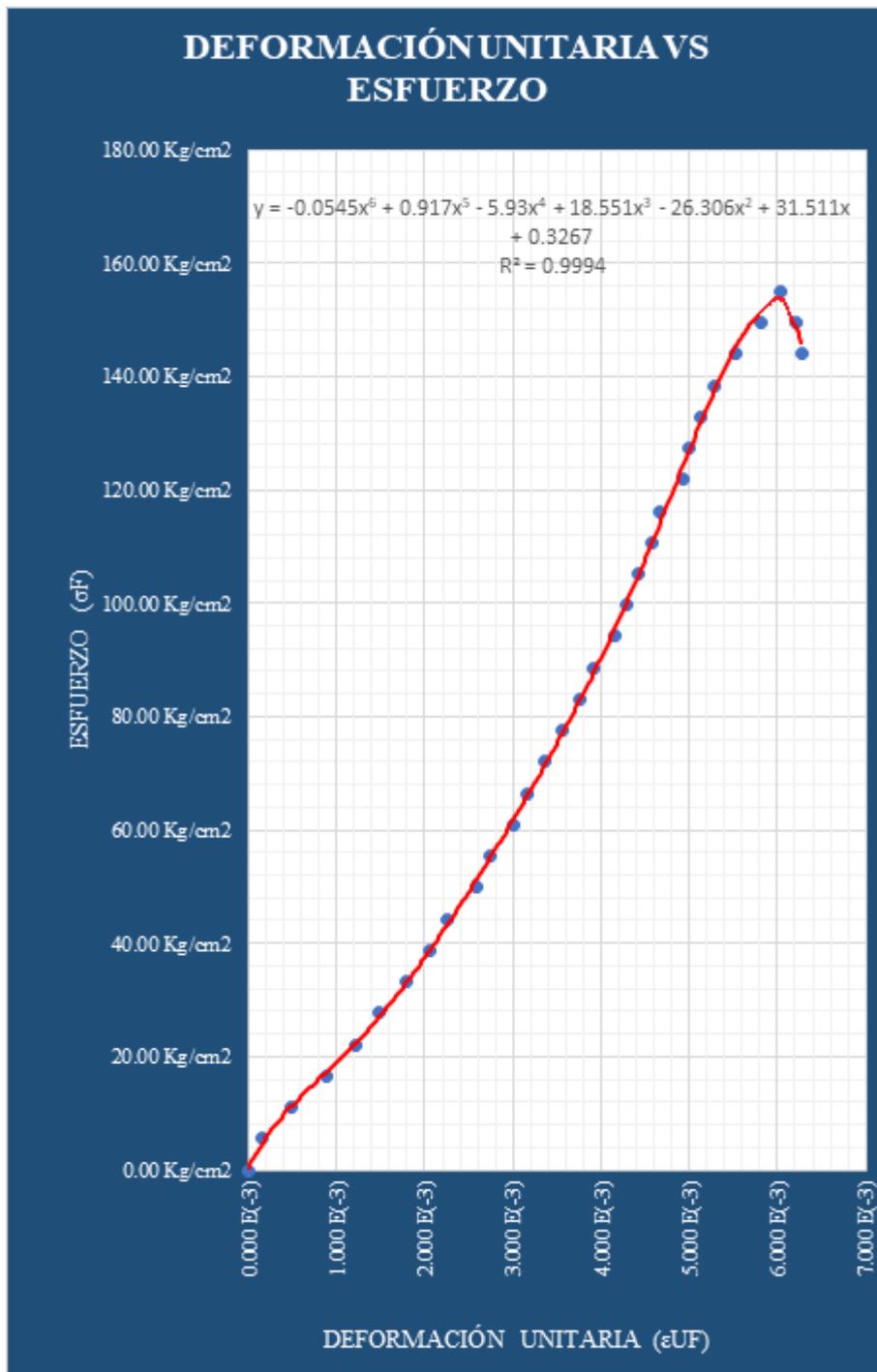


TABLA 61: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 06- Edad de 07 días- 10% de roca traquita

Nº ESPECÍMEN	E-06-7d	ÁREA (cm ²)	183.277512
TIPO DE ESPECIMEN	Cilíndrico	ALTURA (mm)	305
% ROCA TRAQUITA	10	PESO (Kg)	13.035
DÍAMETRO PROMEDIO (mm)	152.76	CARGA DE ROTURA (Kg)	24000
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
1000	0.12	0.393 E(-3)	5.46 Kg/cm ²
2000	0.24	0.787 E(-3)	10.91 Kg/cm ²
3000	0.35	1.148 E(-3)	16.37 Kg/cm ²
4000	0.45	1.475 E(-3)	21.82 Kg/cm ²
5000	0.56	1.836 E(-3)	27.28 Kg/cm ²
6000	0.63	2.066 E(-3)	32.74 Kg/cm ²
7000	0.71	2.328 E(-3)	38.19 Kg/cm ²
8000	0.8	2.623 E(-3)	43.65 Kg/cm ²
9000	0.89	2.918 E(-3)	49.11 Kg/cm ²
10000	0.98	3.213 E(-3)	54.56 Kg/cm ²
11000	1.06	3.475 E(-3)	60.02 Kg/cm ²
12000	1.11	3.639 E(-3)	65.47 Kg/cm ²
13000	1.15	3.770 E(-3)	70.93 Kg/cm ²
14000	1.19	3.902 E(-3)	76.39 Kg/cm ²
15000	1.24	4.066 E(-3)	81.84 Kg/cm ²
16000	1.27	4.164 E(-3)	87.30 Kg/cm ²
17000	1.31	4.295 E(-3)	92.76 Kg/cm ²
18000	1.36	4.459 E(-3)	98.21 Kg/cm ²
19000	1.4	4.590 E(-3)	103.67 Kg/cm ²
20000	1.43	4.689 E(-3)	109.12 Kg/cm ²
21000	1.51	4.951 E(-3)	114.58 Kg/cm ²
22000	1.54	5.049 E(-3)	120.04 Kg/cm ²
23000	1.57	5.148 E(-3)	125.49 Kg/cm ²
24000	1.63	5.344 E(-3)	130.95 Kg/cm ²
23000	1.68	5.508 E(-3)	125.49 Kg/cm ²
22000	1.75	5.738 E(-3)	120.04 Kg/cm ²

GRÁFICO 17: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 06- Edad de 07 días- 10% de roca traquita

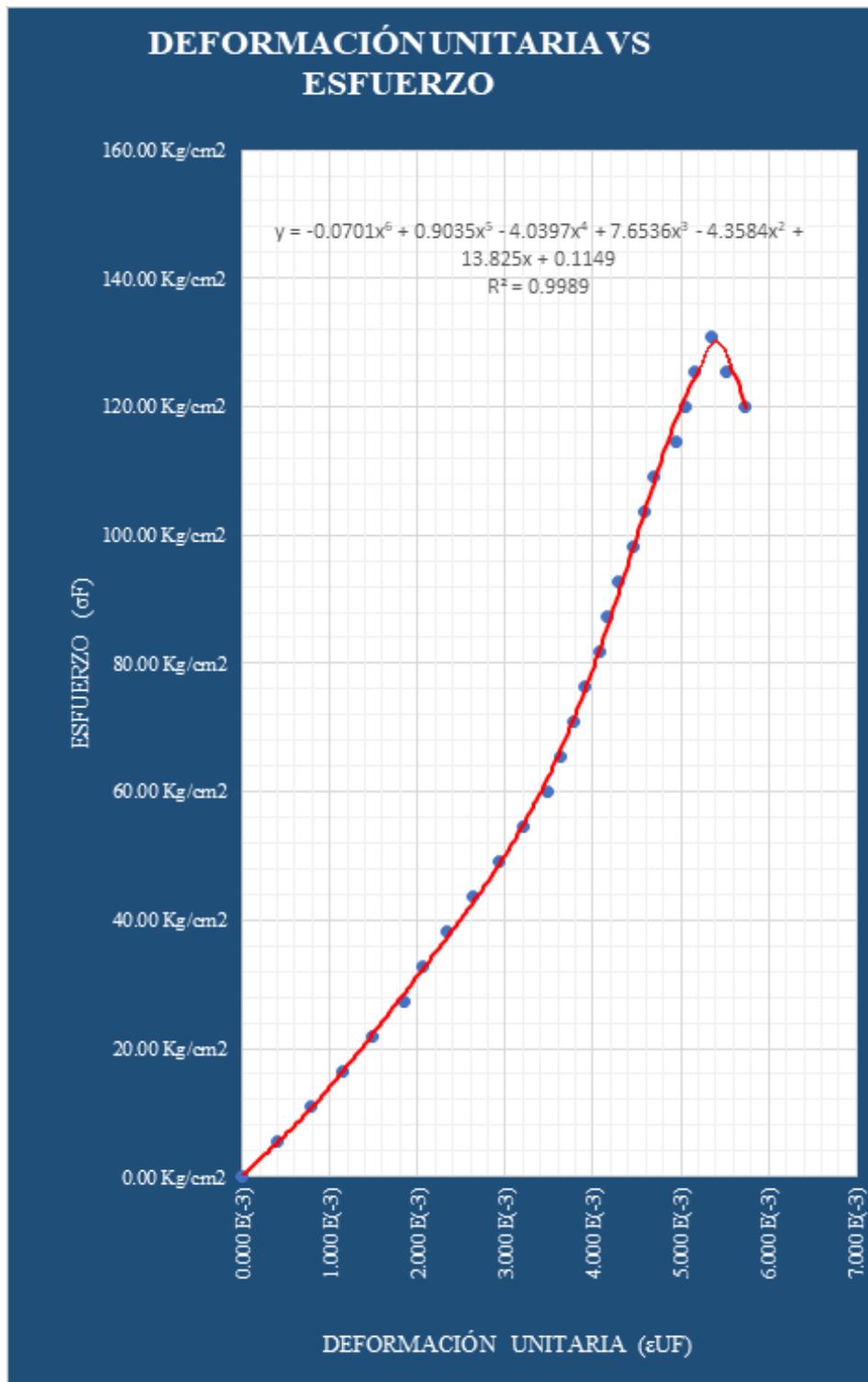


TABLA 62: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 03- Edad de 07 días- 15% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-03- 7d	ÁREA (cm ²)	181.1958496
TIPO DE ESPECIMEN	Cilíndrico	ALTURA (mm)	303
% ROCA TRAQUITA	15	PESO (Kg)	12.945
DÍAMETRO PROMEDIO (mm)	151.9	CARGA DE ROTURA (Kg)	20000
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
1000	0.1	0.330 E(-3)	5.52 Kg/cm ²
2000	0.21	0.693 E(-3)	11.04 Kg/cm ²
3000	0.32	1.056 E(-3)	16.56 Kg/cm ²
4000	0.41	1.353 E(-3)	22.08 Kg/cm ²
5000	0.52	1.716 E(-3)	27.59 Kg/cm ²
6000	0.6	1.980 E(-3)	33.11 Kg/cm ²
7000	0.69	2.277 E(-3)	38.63 Kg/cm ²
8000	0.79	2.607 E(-3)	44.15 Kg/cm ²
9000	0.88	2.904 E(-3)	49.67 Kg/cm ²
10000	0.96	3.168 E(-3)	55.19 Kg/cm ²
11000	1.03	3.399 E(-3)	60.71 Kg/cm ²
12000	1.09	3.597 E(-3)	66.23 Kg/cm ²
13000	1.15	3.795 E(-3)	71.75 Kg/cm ²
14000	1.19	3.927 E(-3)	77.26 Kg/cm ²
15000	1.23	4.059 E(-3)	82.78 Kg/cm ²
16000	1.27	4.191 E(-3)	88.30 Kg/cm ²
17000	1.3	4.290 E(-3)	93.82 Kg/cm ²
18000	1.36	4.488 E(-3)	99.34 Kg/cm ²
19000	1.41	4.653 E(-3)	104.86 Kg/cm ²
20000	1.46	4.818 E(-3)	110.38 Kg/cm ²
19000	1.5	4.950 E(-3)	104.86 Kg/cm ²
18000	1.55	5.116 E(-3)	99.34 Kg/cm ²

GRÁFICO 18: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 03- Edad de 07 días- 15% de roca traquita

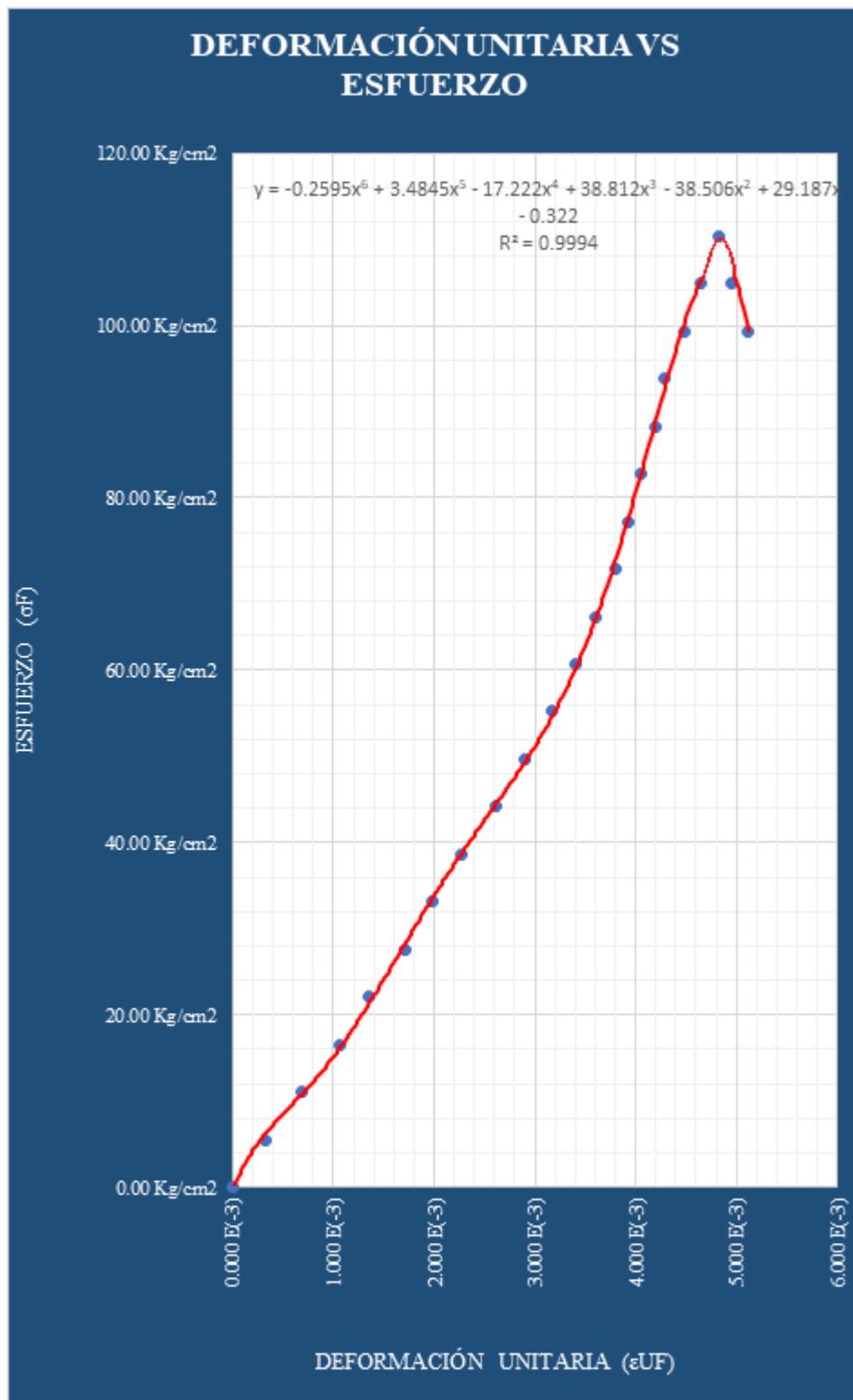


TABLA 63: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Especimen 06- Edad de 07 días- 20% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-06- 7d	ÁREA (cm ²)	181.9362279
TIPO DE ESPECIMEN	Cilíndrico	ALTURA (mm)	305
% ROCA TRAQUITA	20	PESO (Kg)	12.93
DÍAMETRO PROMEDIO (mm)	152.2	CARGA DE ROTURA (Kg)	19000
CARGA (Kg)	DEF (mm)	εUF	σF
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
1000	0.06	0.197 E(-3)	5.50 Kg/cm ²
2000	0.11	0.361 E(-3)	10.99 Kg/cm ²
3000	0.21	0.689 E(-3)	16.49 Kg/cm ²
4000	0.3	0.984 E(-3)	21.99 Kg/cm ²
5000	0.42	1.377 E(-3)	27.48 Kg/cm ²
6000	0.51	1.672 E(-3)	32.98 Kg/cm ²
7000	0.59	1.934 E(-3)	38.48 Kg/cm ²
8000	0.67	2.197 E(-3)	43.97 Kg/cm ²
9000	0.75	2.459 E(-3)	49.47 Kg/cm ²
10000	0.82	2.689 E(-3)	54.96 Kg/cm ²
11000	0.88	2.885 E(-3)	60.46 Kg/cm ²
12000	0.94	3.082 E(-3)	65.96 Kg/cm ²
13000	0.99	3.246 E(-3)	71.45 Kg/cm ²
14000	1.04	3.410 E(-3)	76.95 Kg/cm ²
15000	1.09	3.574 E(-3)	82.45 Kg/cm ²
16000	1.13	3.705 E(-3)	87.94 Kg/cm ²
17000	1.15	3.770 E(-3)	93.44 Kg/cm ²
18000	1.18	3.869 E(-3)	98.94 Kg/cm ²
19000	1.25	4.098 E(-3)	104.43 Kg/cm ²
18000	1.29	4.230 E(-3)	98.94 Kg/cm ²
17000	1.32	4.328 E(-3)	93.44 Kg/cm ²

GRÁFICO 19: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 06- Edad de 07 días- 20% de roca traquita

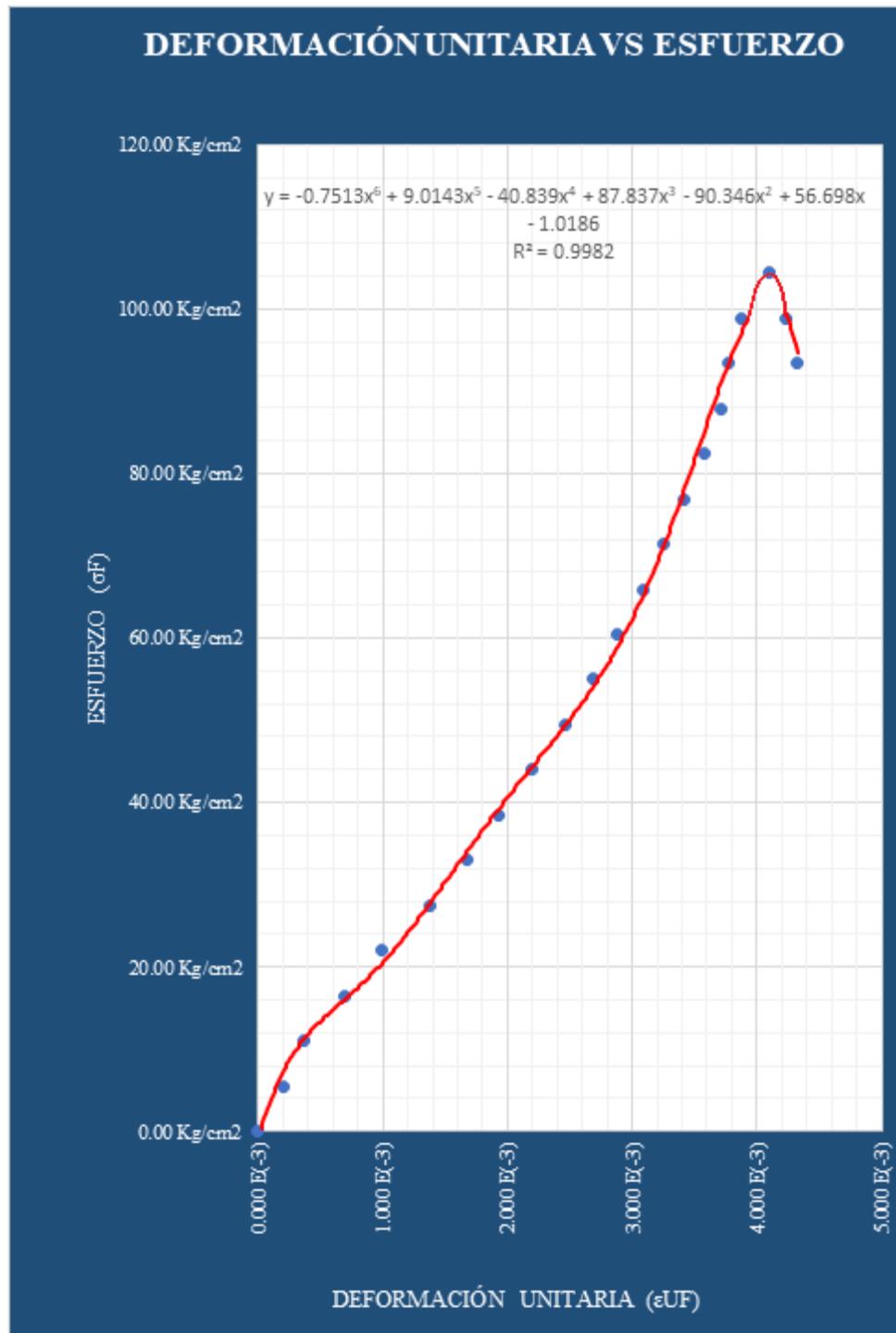


TABLA 64: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 01- Edad de 60 días- 0% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-01- 60d	ÁREA (cm ²)	182.65
TIPO DE ESPECIMEN	Cilíndrico	ALTURA (mm)	305
% ROCA TRAQUITA	0	PESO (Kg)	13.15
DÍAMETRO PROMEDIO (mm)	152.50	CARGA DE ROTURA (Kg)	41500
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
1000	0.15	0.492 E(-3)	5.47 Kg/cm ²
2000	0.25	0.820 E(-3)	10.95 Kg/cm ²
3000	0.38	1.246 E(-3)	16.42 Kg/cm ²
4000	0.5	1.639 E(-3)	21.90 Kg/cm ²
5000	0.63	2.066 E(-3)	27.37 Kg/cm ²
6000	0.75	2.459 E(-3)	32.85 Kg/cm ²
7000	0.84	2.754 E(-3)	38.32 Kg/cm ²
8000	0.89	2.918 E(-3)	43.80 Kg/cm ²
9000	0.91	2.984 E(-3)	49.27 Kg/cm ²
10000	1	3.279 E(-3)	54.75 Kg/cm ²
11000	1.07	3.508 E(-3)	60.22 Kg/cm ²
12000	1.15	3.770 E(-3)	65.70 Kg/cm ²
13000	1.19	3.902 E(-3)	71.17 Kg/cm ²
14000	1.23	4.033 E(-3)	76.65 Kg/cm ²
15000	1.27	4.164 E(-3)	82.12 Kg/cm ²
16000	1.31	4.295 E(-3)	87.60 Kg/cm ²
17000	1.34	4.393 E(-3)	93.07 Kg/cm ²
18000	1.38	4.525 E(-3)	98.55 Kg/cm ²
19000	1.4	4.590 E(-3)	104.02 Kg/cm ²
20000	1.42	4.656 E(-3)	109.50 Kg/cm ²
21000	1.46	4.787 E(-3)	114.97 Kg/cm ²
22000	1.5	4.918 E(-3)	120.45 Kg/cm ²
23000	1.53	5.016 E(-3)	125.92 Kg/cm ²
24000	1.56	5.115 E(-3)	131.40 Kg/cm ²
25000	1.59	5.213 E(-3)	136.87 Kg/cm ²
26000	1.61	5.279 E(-3)	142.35 Kg/cm ²
27000	1.64	5.377 E(-3)	147.82 Kg/cm ²
28000	1.66	5.443 E(-3)	153.30 Kg/cm ²
29000	1.69	5.541 E(-3)	158.77 Kg/cm ²
30000	1.72	5.639 E(-3)	164.24 Kg/cm ²
31000	1.74	5.705 E(-3)	169.72 Kg/cm ²
32000	1.77	5.803 E(-3)	175.19 Kg/cm ²
33000	1.8	5.902 E(-3)	180.67 Kg/cm ²
34000	1.83	6.000 E(-3)	186.14 Kg/cm ²

35000	1.86	6.098 E(-3)	191.62 Kg/cm2
36000	1.88	6.164 E(-3)	197.09 Kg/cm2
37000	1.91	6.262 E(-3)	202.57 Kg/cm2
38000	1.94	6.361 E(-3)	208.04 Kg/cm2
39000	1.96	6.426 E(-3)	213.52 Kg/cm2
40000	2	6.557 E(-3)	218.99 Kg/cm2
41000	2.03	6.656 E(-3)	224.47 Kg/cm2
41500	2.06	6.754 E(-3)	227.21 Kg/cm2
41000	2.09	6.852 E(-3)	224.47 Kg/cm2
40000	2.13	6.984 E(-3)	218.99 Kg/cm2

GRÁFICO 20: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 01- Edad de 60 días- 0% de roca traquita

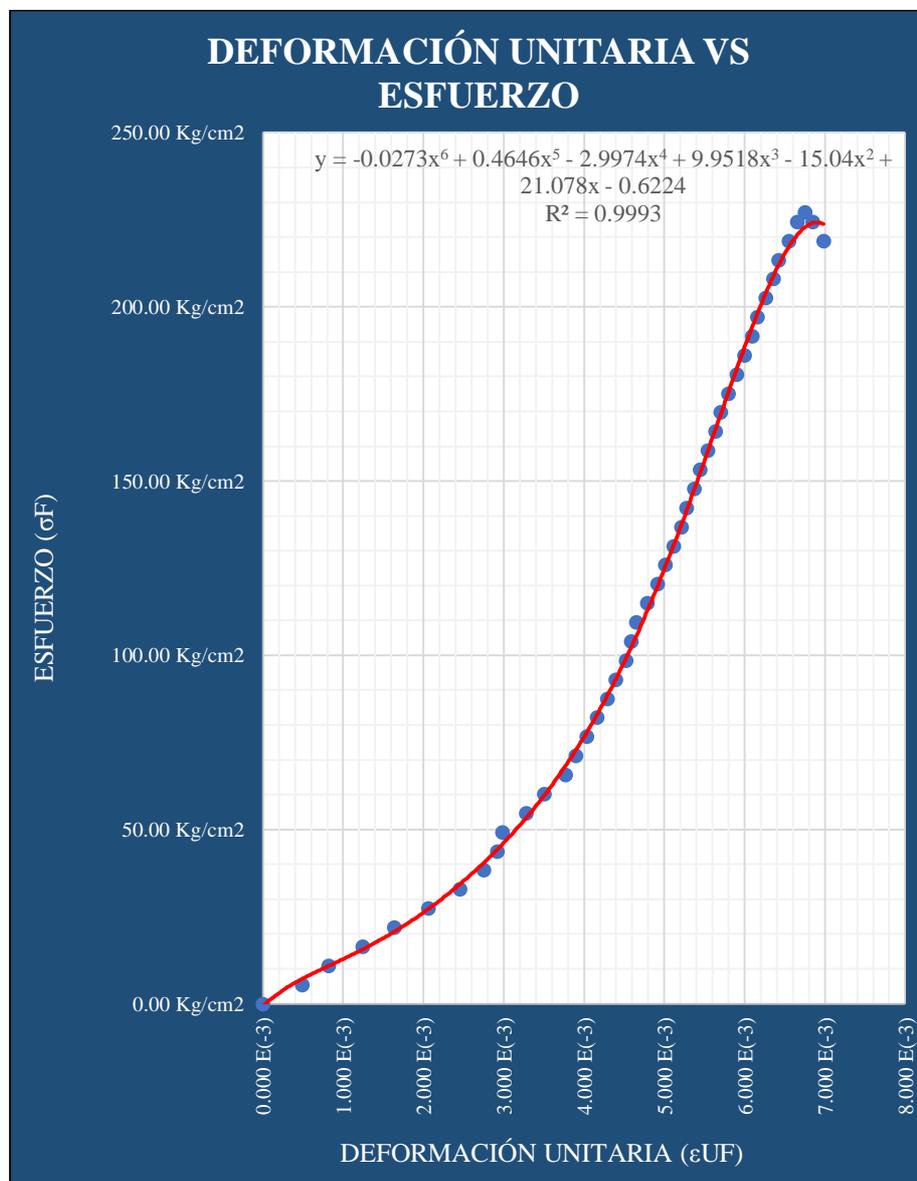


TABLA 65: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 12- Edad de 60 días- 10% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-12- 60d	ÁREA (cm ²)	179.08
TIPO DE ESPECIMEN	Cilíndrico	ALTURA (mm)	306
% ROCA TRAQUITA	10	PESO (Kg)	12.97
DÍAMETRO PROMEDIO (mm)	151.00	CARGA DE ROTURA (Kg)	46000
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
1000	0.09	0.294 E(-3)	5.58 Kg/cm ²
2000	0.25	0.817 E(-3)	11.17 Kg/cm ²
3000	0.36	1.176 E(-3)	16.75 Kg/cm ²
4000	0.48	1.569 E(-3)	22.34 Kg/cm ²
5000	0.58	1.895 E(-3)	27.92 Kg/cm ²
6000	0.68	2.222 E(-3)	33.50 Kg/cm ²
7000	0.82	2.680 E(-3)	39.09 Kg/cm ²
8000	0.96	3.137 E(-3)	44.67 Kg/cm ²
9000	1.1	3.595 E(-3)	50.26 Kg/cm ²
10000	1.14	3.725 E(-3)	55.84 Kg/cm ²
11000	1.23	4.020 E(-3)	61.43 Kg/cm ²
12000	1.31	4.281 E(-3)	67.01 Kg/cm ²
13000	1.42	4.641 E(-3)	72.59 Kg/cm ²
14000	1.48	4.837 E(-3)	78.18 Kg/cm ²
15000	1.54	5.033 E(-3)	83.76 Kg/cm ²
16000	1.57	5.131 E(-3)	89.35 Kg/cm ²
17000	1.62	5.294 E(-3)	94.93 Kg/cm ²
18000	1.67	5.458 E(-3)	100.51 Kg/cm ²
19000	1.7	5.556 E(-3)	106.10 Kg/cm ²
20000	1.74	5.686 E(-3)	111.68 Kg/cm ²
21000	1.77	5.784 E(-3)	117.27 Kg/cm ²
22000	1.8	5.882 E(-3)	122.85 Kg/cm ²
23000	1.85	6.046 E(-3)	128.44 Kg/cm ²
24000	1.87	6.111 E(-3)	134.02 Kg/cm ²
25000	1.91	6.242 E(-3)	139.60 Kg/cm ²
26000	1.93	6.307 E(-3)	145.19 Kg/cm ²
27000	1.96	6.405 E(-3)	150.77 Kg/cm ²
28000	1.99	6.503 E(-3)	156.36 Kg/cm ²
29000	2.03	6.634 E(-3)	161.94 Kg/cm ²
30000	2.05	6.699 E(-3)	167.52 Kg/cm ²
31000	2.08	6.797 E(-3)	173.11 Kg/cm ²
32000	2.12	6.928 E(-3)	178.69 Kg/cm ²
33000	2.14	6.993 E(-3)	184.28 Kg/cm ²
34000	2.16	7.059 E(-3)	189.86 Kg/cm ²

35000	2.19	7.157 E(-3)	195.44 Kg/cm2
36000	2.21	7.222 E(-3)	201.03 Kg/cm2
37000	2.23	7.288 E(-3)	206.61 Kg/cm2
38000	2.25	7.353 E(-3)	212.20 Kg/cm2
39000	2.3	7.516 E(-3)	217.78 Kg/cm2
40000	2.33	7.614 E(-3)	223.37 Kg/cm2
41000	2.35	7.680 E(-3)	228.95 Kg/cm2
42000	2.38	7.778 E(-3)	234.53 Kg/cm2
43000	2.4	7.843 E(-3)	240.12 Kg/cm2
44000	2.43	7.941 E(-3)	245.70 Kg/cm2
45000	2.45	8.007 E(-3)	251.29 Kg/cm2
46000	2.47	8.072 E(-3)	256.87 Kg/cm2
45000	2.5	8.170 E(-3)	251.29 Kg/cm2
44000	2.52	8.235 E(-3)	245.70 Kg/cm2

GRÁFICO 21: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 12- Edad de 60 días- 10% de roca traquita

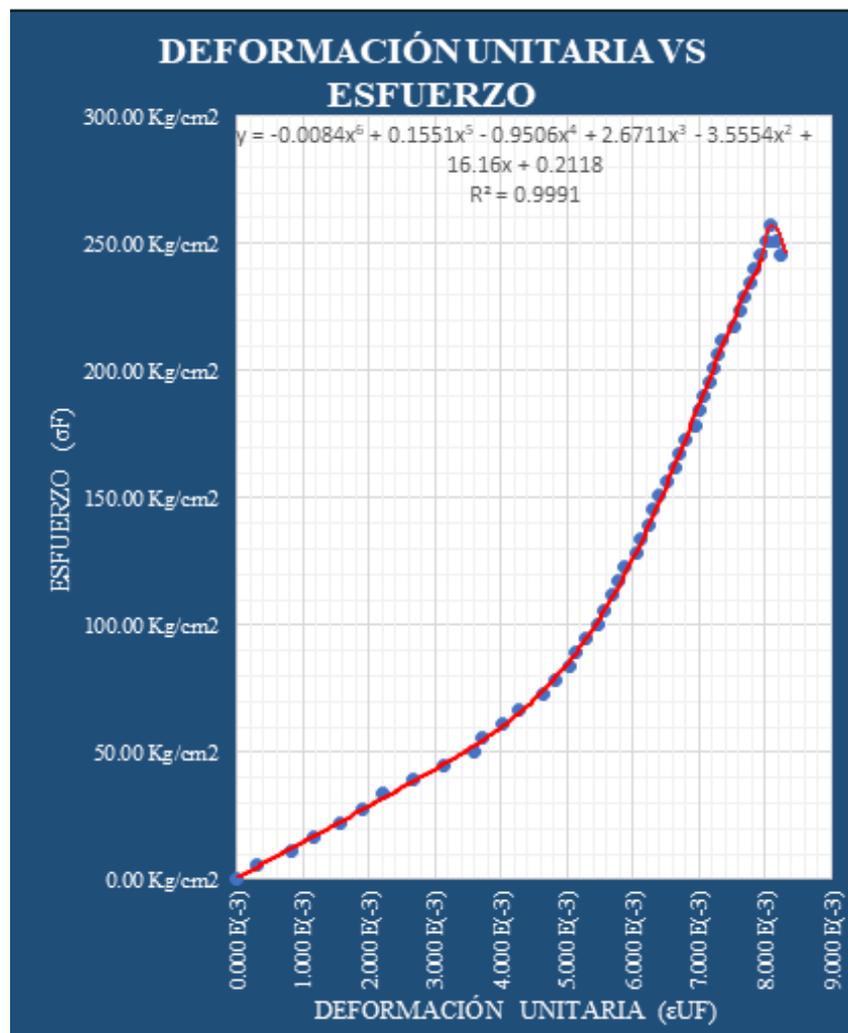


TABLA 66: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 04- Edad de 60 días- 15% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-04- 60d	ÁREA (cm ²)	176.7
TIPO DE ESPECIMEN	Cilíndrico	ALTURA (mm)	305
% ROCA TRAQUITA	15	PESO (Kg)	12.99
DÍAMETRO PROMEDIO (mm)	150.0	CARGA DE ROTURA (Kg)	37000

E 04-60D-15.%			
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
1000	0.08	0.262 E(-3)	5.66 Kg/cm ²
2000	0.19	0.623 E(-3)	11.32 Kg/cm ²
3000	0.28	0.918 E(-3)	16.98 Kg/cm ²
4000	0.39	1.279 E(-3)	22.64 Kg/cm ²
5000	0.48	1.574 E(-3)	28.29 Kg/cm ²
6000	0.56	1.836 E(-3)	33.95 Kg/cm ²
7000	0.64	2.098 E(-3)	39.61 Kg/cm ²
8000	0.7	2.295 E(-3)	45.27 Kg/cm ²
9000	0.75	2.459 E(-3)	50.93 Kg/cm ²
10000	0.79	2.590 E(-3)	56.59 Kg/cm ²
11000	0.83	2.721 E(-3)	62.25 Kg/cm ²
12000	0.87	2.852 E(-3)	67.91 Kg/cm ²
13000	0.91	2.984 E(-3)	73.56 Kg/cm ²
14000	0.95	3.115 E(-3)	79.22 Kg/cm ²
15000	0.99	3.246 E(-3)	84.88 Kg/cm ²
16000	1.03	3.377 E(-3)	90.54 Kg/cm ²
17000	1.06	3.475 E(-3)	96.20 Kg/cm ²
18000	1.12	3.672 E(-3)	101.86 Kg/cm ²
19000	1.17	3.836 E(-3)	107.52 Kg/cm ²
20000	1.21	3.967 E(-3)	113.18 Kg/cm ²
21000	1.26	4.131 E(-3)	118.84 Kg/cm ²
22000	1.3	4.262 E(-3)	124.49 Kg/cm ²
23000	1.34	4.393 E(-3)	130.15 Kg/cm ²
24000	1.38	4.525 E(-3)	135.81 Kg/cm ²
25000	1.42	4.656 E(-3)	141.47 Kg/cm ²
26000	1.48	4.852 E(-3)	147.13 Kg/cm ²
27000	1.52	4.984 E(-3)	152.79 Kg/cm ²
28000	1.56	5.115 E(-3)	158.45 Kg/cm ²
29000	1.62	5.311 E(-3)	164.11 Kg/cm ²
30000	1.68	5.508 E(-3)	169.77 Kg/cm ²
31000	1.71	5.607 E(-3)	175.42 Kg/cm ²

32000	1.76	5.770 E(-3)	181.08 Kg/cm2
33000	1.79	5.869 E(-3)	186.74 Kg/cm2
34000	1.82	5.967 E(-3)	192.40 Kg/cm2
35000	1.84	6.033 E(-3)	198.06 Kg/cm2
36000	1.86	6.098 E(-3)	203.72 Kg/cm2
37000	1.89	6.197 E(-3)	209.38 Kg/cm2
36000	1.91	6.262 E(-3)	203.72 Kg/cm2
35000	1.93	6.328 E(-3)	198.06 Kg/cm2

GRÁFICO 22: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 04- Edad de 60 días- 15% de roca traquita

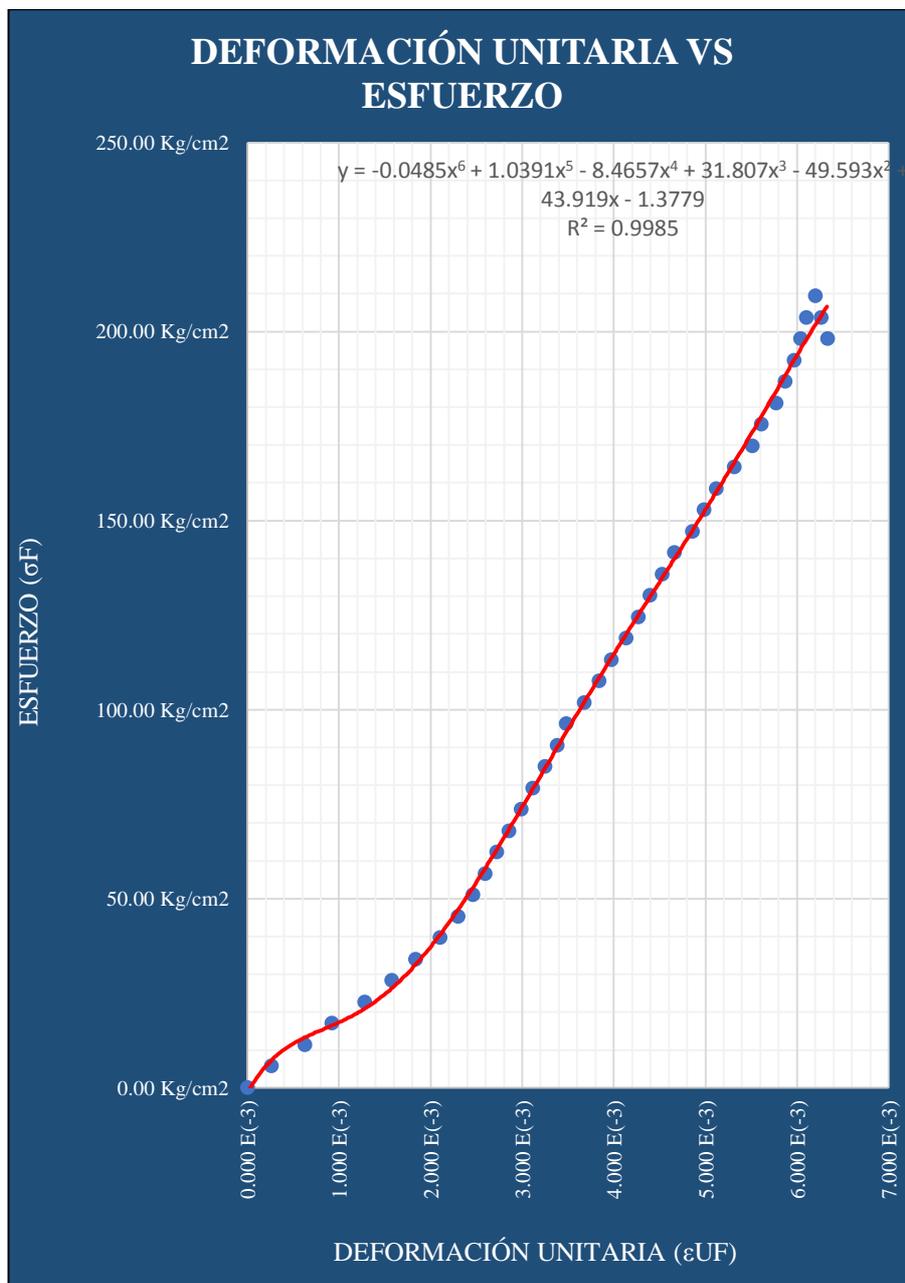


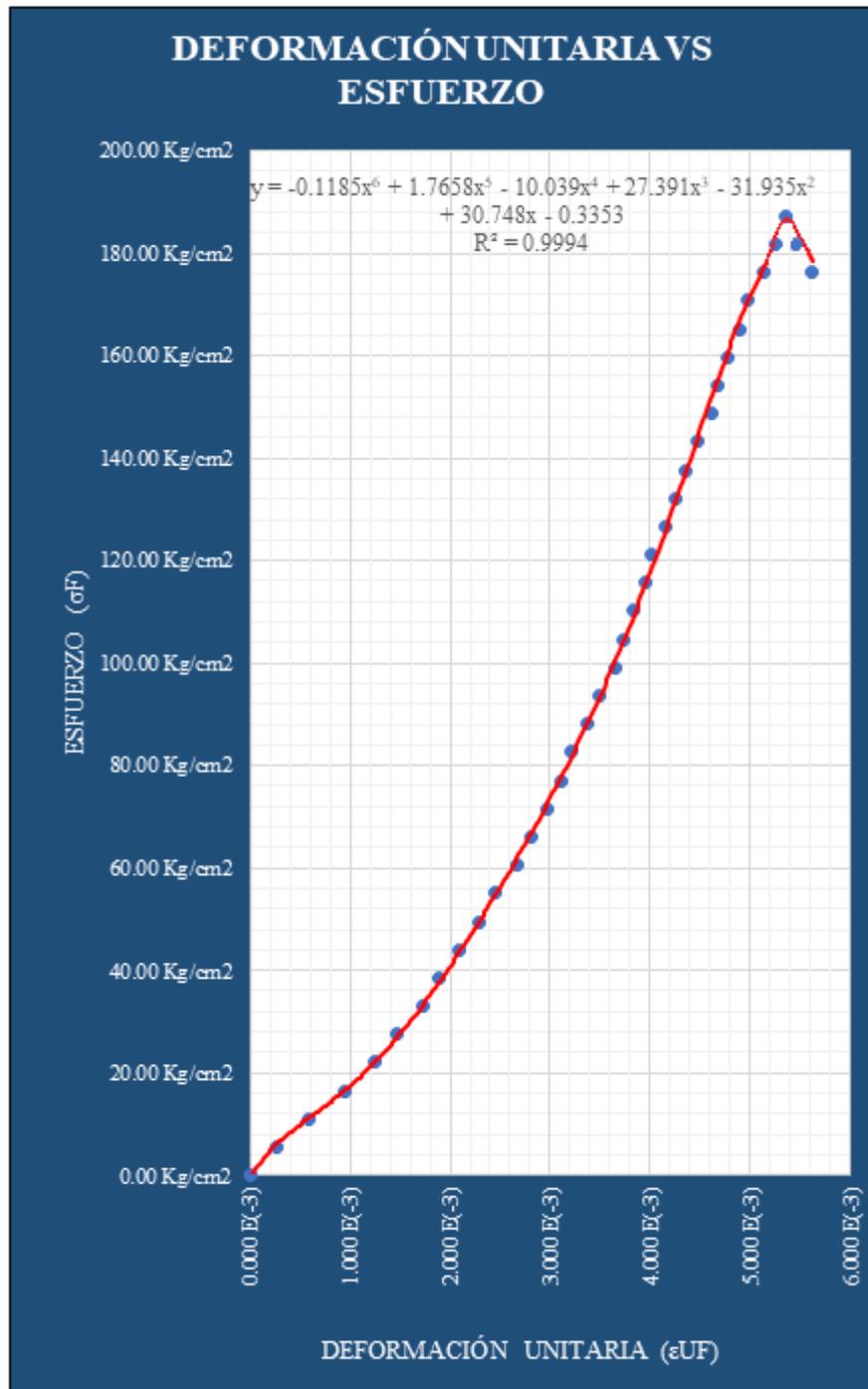
TABLA 67: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 09- Edad de 60 días- 20% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-09- 60d	ÁREA (cm ²)	181.6
TIPO DE ESPECIMEN	Cilíndrico	ALTURA (mm)	306
% ROCA TRAQUITA	20	PESO (Kg)	12.96
DÍAMETRO PROMEDIO (mm)	152.1	CARGA DE ROTURA (Kg)	34000

E09-60D-20.%			
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
1000	0.08	0.261 E(-3)	5.51 Kg/cm ²
2000	0.18	0.588 E(-3)	11.01 Kg/cm ²
3000	0.29	0.948 E(-3)	16.52 Kg/cm ²
4000	0.38	1.242 E(-3)	22.03 Kg/cm ²
5000	0.45	1.471 E(-3)	27.54 Kg/cm ²
6000	0.53	1.732 E(-3)	33.04 Kg/cm ²
7000	0.58	1.895 E(-3)	38.55 Kg/cm ²
8000	0.64	2.092 E(-3)	44.06 Kg/cm ²
9000	0.7	2.288 E(-3)	49.57 Kg/cm ²
10000	0.75	2.451 E(-3)	55.07 Kg/cm ²
11000	0.82	2.680 E(-3)	60.58 Kg/cm ²
12000	0.86	2.810 E(-3)	66.09 Kg/cm ²
13000	0.91	2.974 E(-3)	71.59 Kg/cm ²
14000	0.95	3.105 E(-3)	77.10 Kg/cm ²
15000	0.98	3.203 E(-3)	82.61 Kg/cm ²
16000	1.03	3.366 E(-3)	88.12 Kg/cm ²
17000	1.07	3.497 E(-3)	93.62 Kg/cm ²
18000	1.12	3.660 E(-3)	99.13 Kg/cm ²
19000	1.14	3.725 E(-3)	104.64 Kg/cm ²
20000	1.17	3.824 E(-3)	110.15 Kg/cm ²
21000	1.21	3.954 E(-3)	115.65 Kg/cm ²
22000	1.23	4.020 E(-3)	121.16 Kg/cm ²
23000	1.27	4.150 E(-3)	126.67 Kg/cm ²
24000	1.3	4.248 E(-3)	132.17 Kg/cm ²
25000	1.33	4.346 E(-3)	137.68 Kg/cm ²
26000	1.37	4.477 E(-3)	143.19 Kg/cm ²
27000	1.41	4.608 E(-3)	148.70 Kg/cm ²
28000	1.43	4.673 E(-3)	154.20 Kg/cm ²
29000	1.46	4.771 E(-3)	159.71 Kg/cm ²
30000	1.5	4.902 E(-3)	165.22 Kg/cm ²
31000	1.52	4.967 E(-3)	170.73 Kg/cm ²

32000	1.57	5.131 E(-3)	176.23 Kg/cm2
33000	1.61	5.261 E(-3)	181.74 Kg/cm2
34000	1.64	5.359 E(-3)	187.25 Kg/cm2
33000	1.67	5.458 E(-3)	181.74 Kg/cm2
32000	1.72	5.621 E(-3)	176.23 Kg/cm2

GRÁFICO 23: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 09- Edad de 60 días- 20% de roca traquita



ANEXO N° 14. CURVA DEFORMACIÓN UNITARIA VS ESFUERZO OBTENIDO DE LA ROTURA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS PRISMÁTICOS

TABLA 68: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Especimen 01- Edad de 60 días- 0% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-01	LONGITUD (mm)	500.80
TIPO DE ESPECIMEN	Prismático	ALTURA (mm)	152.5
% ROCA TRAQUITA	0	PESO (Kg)	27.50
ANCHO (mm)	150.38	CARGA DE ROTURA (Kg)	1250

E 01-60D-0%			
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
100	0.04	0.261 E(-3)	1.92 Kg/cm ²
200	0.09	0.588 E(-3)	3.85 Kg/cm ²
300	0.15	0.980 E(-3)	5.77 Kg/cm ²
400	0.19	1.242 E(-3)	7.69 Kg/cm ²
500	0.22	1.438 E(-3)	9.62 Kg/cm ²
600	0.26	1.699 E(-3)	11.54 Kg/cm ²
700	0.29	1.895 E(-3)	13.46 Kg/cm ²
800	0.33	2.157 E(-3)	15.38 Kg/cm ²
900	0.36	2.353 E(-3)	17.31 Kg/cm ²
1000	0.38	2.484 E(-3)	19.23 Kg/cm ²
1100	0.41	2.680 E(-3)	21.15 Kg/cm ²
1200	0.43	2.810 E(-3)	23.08 Kg/cm ²
1100	0.45	2.941 E(-3)	21.15 Kg/cm ²
1000	0.47	3.072 E(-3)	19.23 Kg/cm ²

GRÁFICO 24: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 01- Edad de 60 días- 0% de roca traquita

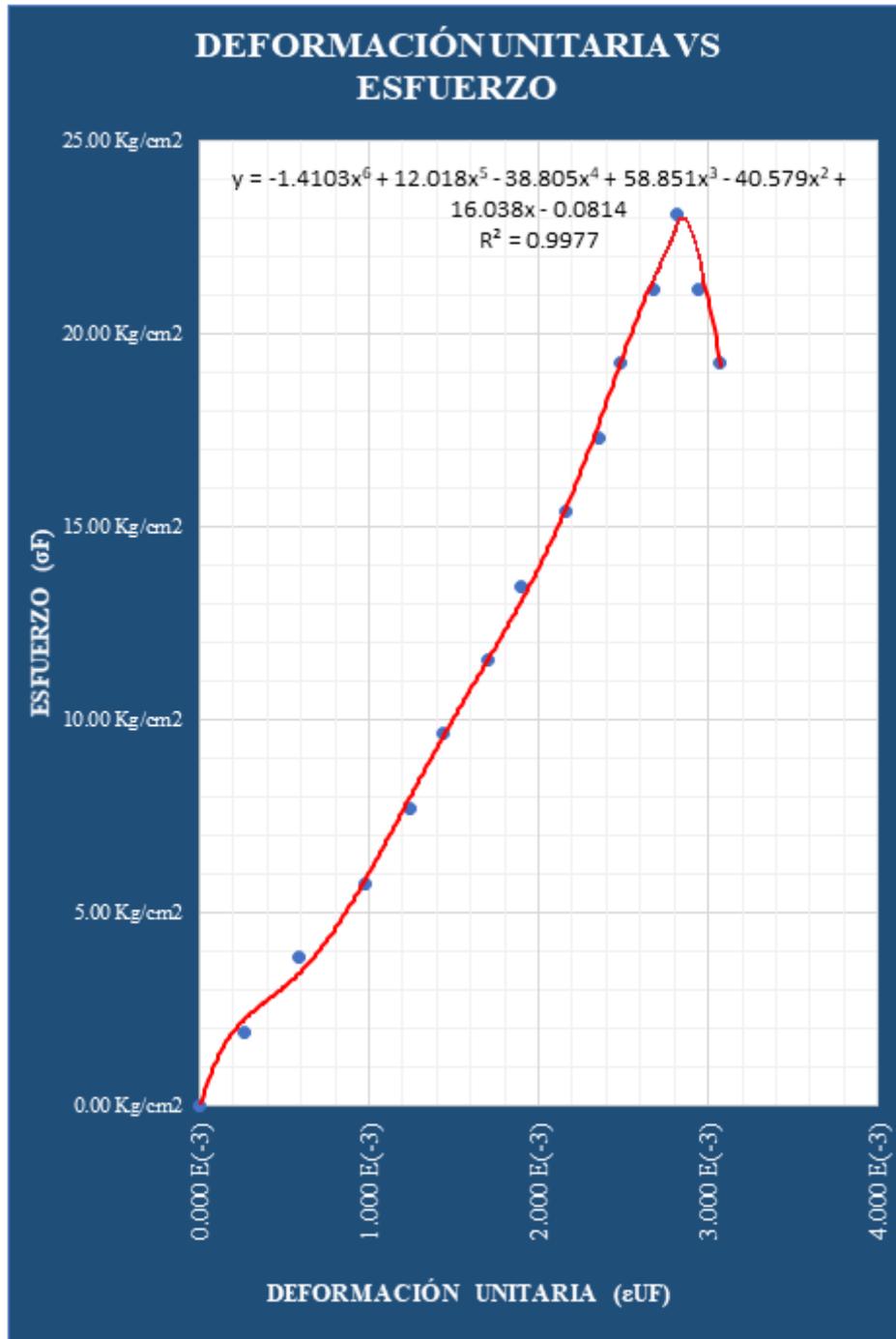


TABLA 69: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 02- Edad de 60 días- 0% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-02	LONGITUD (mm)	503.40
TIPO DE ESPECIMEN	Prismático	ALTURA (mm)	153.4
% ROCA TRAQUITA	0	PESO (Kg)	26.57
ANCHO (mm)	151.40	CARGA DE ROTURA (Kg)	1300

E 02-60D-0%			
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
100	0.03	0.196 E(-3)	1.94 Kg/cm ²
200	0.08	0.523 E(-3)	3.77 Kg/cm ²
300	0.15	0.980 E(-3)	5.71 Kg/cm ²
400	0.19	1.242 E(-3)	7.65 Kg/cm ²
500	0.22	1.438 E(-3)	9.59 Kg/cm ²
600	0.26	1.699 E(-3)	11.42 Kg/cm ²
700	0.29	1.895 E(-3)	13.36 Kg/cm ²
800	0.34	2.222 E(-3)	15.30 Kg/cm ²
900	0.37	2.418 E(-3)	17.23 Kg/cm ²
1000	0.38	2.484 E(-3)	19.07 Kg/cm ²
1100	0.41	2.680 E(-3)	21.01 Kg/cm ²
1200	0.43	2.810 E(-3)	22.94 Kg/cm ²
1300	0.45	2.941 E(-3)	24.88 Kg/cm ²
1200	0.47	3.072 E(-3)	22.94 Kg/cm ²
1100	0.49	3.203 E(-3)	21.01 Kg/cm ²

GRÁFICO 25: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 02- Edad de 60 días- 0% de roca traquita

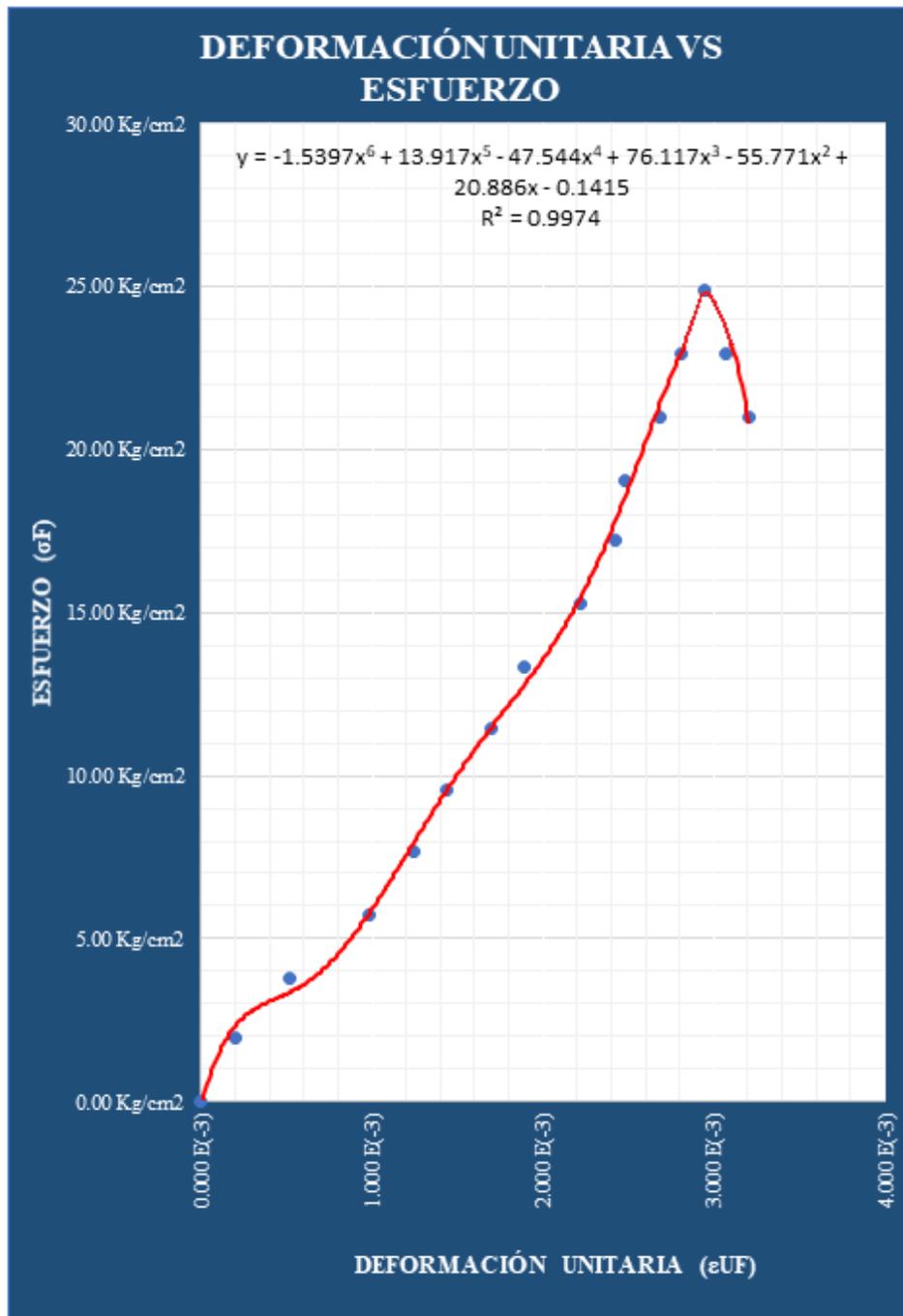


TABLA 70: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Especimen 01- Edad de 60 días- 10% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-01	LONGITUD (mm)	503.50
TIPO DE ESPECIMEN	Prismático	ALTURA (mm)	154
% ROCA TRAQUITA	10	PESO (Kg)	28.05
ANCHO (mm)	149.60	CARGA DE ROTURA (Kg)	1500

E 01-60D-10%			
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
100	0.03	0.195 E(-3)	1.94 Kg/cm ²
200	0.08	0.519 E(-3)	3.77 Kg/cm ²
300	0.15	0.974 E(-3)	5.71 Kg/cm ²
400	0.19	1.234 E(-3)	7.55 Kg/cm ²
500	0.22	1.429 E(-3)	9.48 Kg/cm ²
600	0.26	1.688 E(-3)	11.42 Kg/cm ²
700	0.29	1.883 E(-3)	13.26 Kg/cm ²
800	0.34	2.208 E(-3)	15.19 Kg/cm ²
900	0.37	2.403 E(-3)	17.13 Kg/cm ²
1000	0.38	2.468 E(-3)	18.97 Kg/cm ²
1100	0.41	2.662 E(-3)	20.90 Kg/cm ²
1200	0.43	2.792 E(-3)	22.74 Kg/cm ²
1300	0.45	2.922 E(-3)	24.68 Kg/cm ²
1400	0.48	3.117 E(-3)	26.61 Kg/cm ²
1500	0.5	3.247 E(-3)	28.45 Kg/cm ²
1400	0.53	3.442 E(-3)	26.61 Kg/cm ²
1300	0.56	3.636 E(-3)	24.68 Kg/cm ²

GRÁFICO 26: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 01- Edad de 60 días- 10% de roca traquita

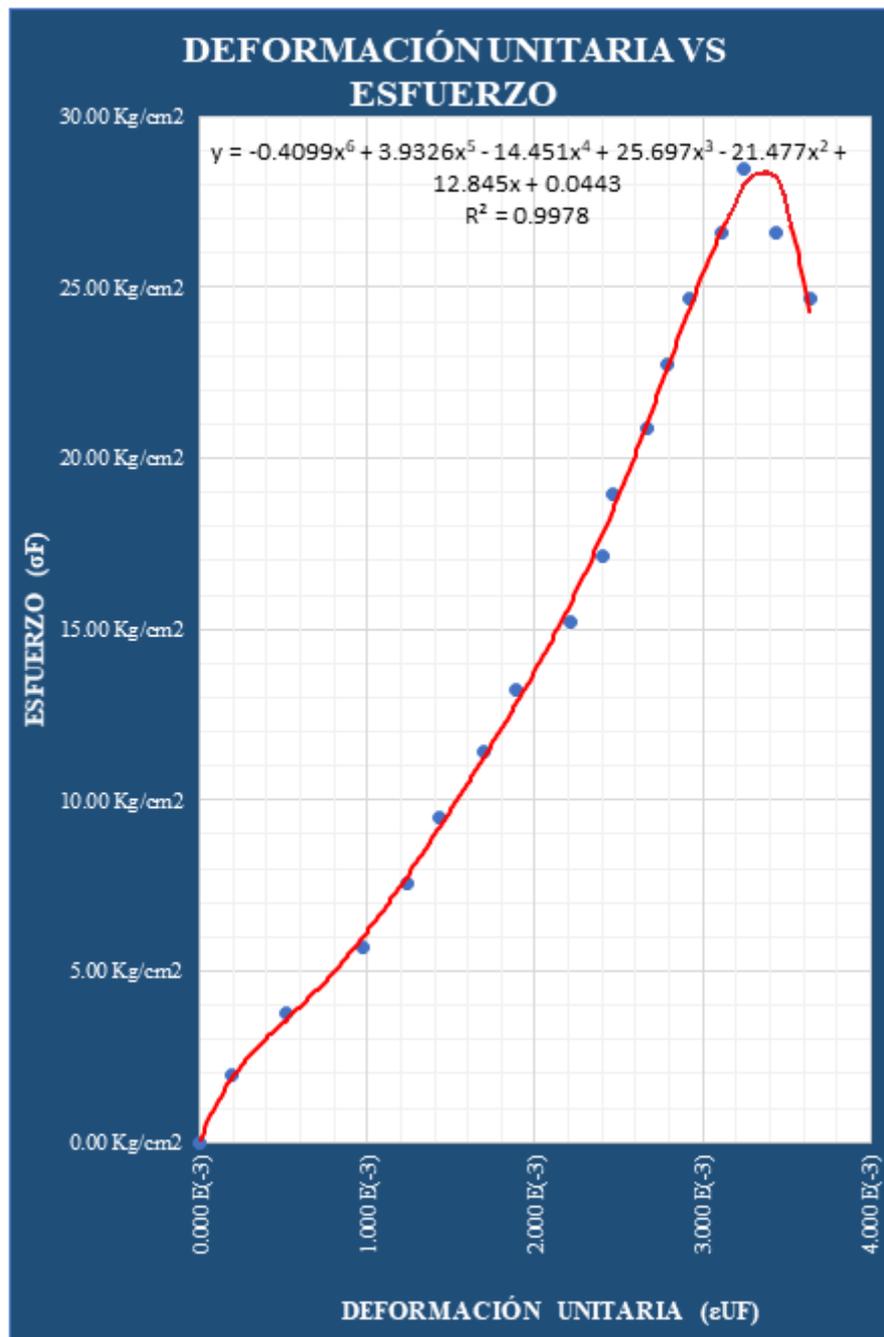


TABLA 71: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 02- Edad de 60 días- 15% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-02	LONGITUD (mm)	503.40
TIPO DE ESPECIMEN	Prismático	ALTURA (mm)	154.3
% ROCA TRAQUITA	15	PESO (Kg)	26.95
ANCHO (mm)	151.40	CARGA DE ROTURA (Kg)	1200

E 02-60D-15%			
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
100	0.08	0.519 E(-3)	1.84 Kg/cm ²
200	0.15	0.974 E(-3)	3.77 Kg/cm ²
300	0.2	1.299 E(-3)	5.61 Kg/cm ²
400	0.25	1.623 E(-3)	7.55 Kg/cm ²
500	0.32	2.078 E(-3)	9.38 Kg/cm ²
600	0.37	2.403 E(-3)	11.32 Kg/cm ²
700	0.41	2.662 E(-3)	13.15 Kg/cm ²
800	0.45	2.922 E(-3)	15.09 Kg/cm ²
900	0.5	3.247 E(-3)	16.93 Kg/cm ²
1000	0.54	3.506 E(-3)	18.86 Kg/cm ²
1100	0.58	3.766 E(-3)	20.70 Kg/cm ²
1200	0.6	3.896 E(-3)	22.64 Kg/cm ²
1100	0.63	4.091 E(-3)	20.70 Kg/cm ²
1000	0.65	4.221 E(-3)	18.86 Kg/cm ²

GRÁFICO 27: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 02- Edad de 60 días- 15% de roca traquita

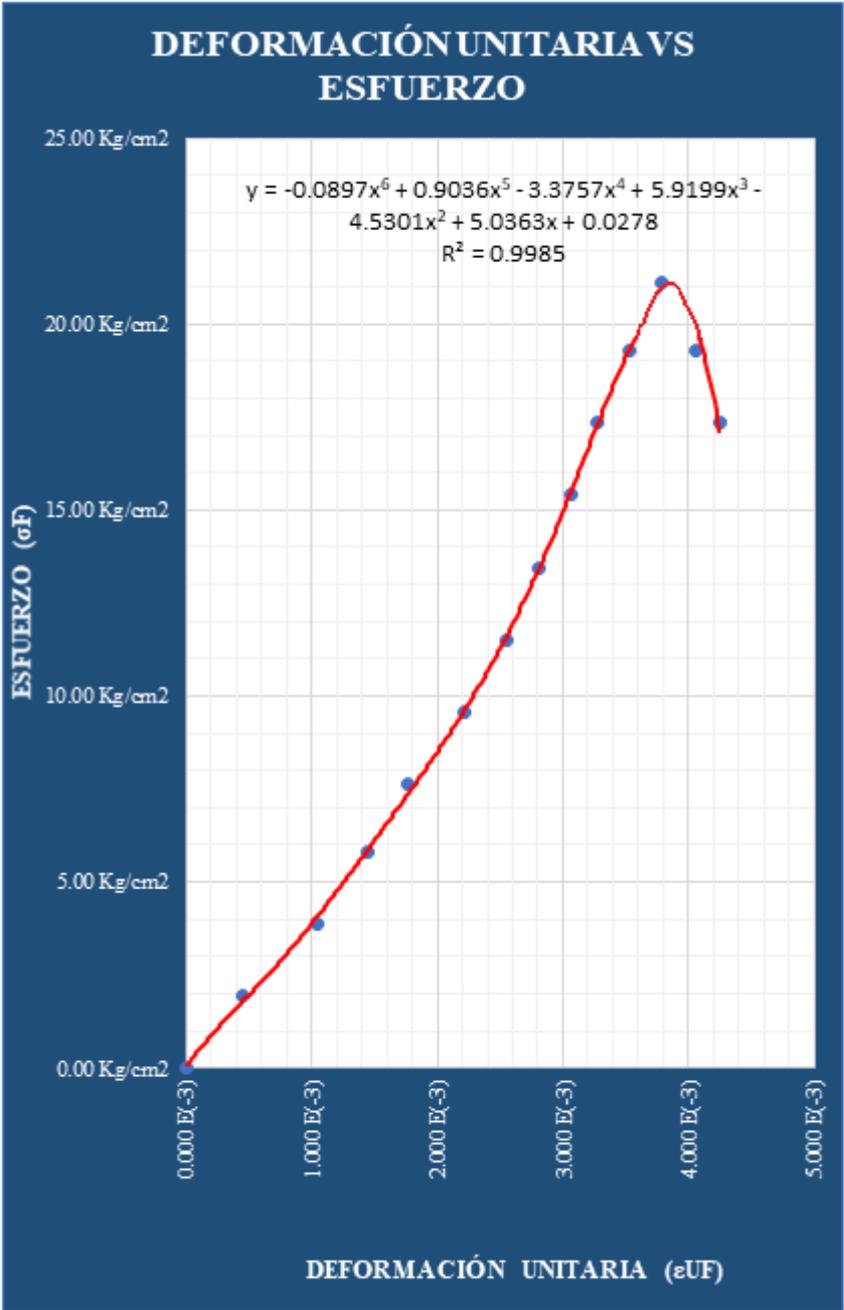
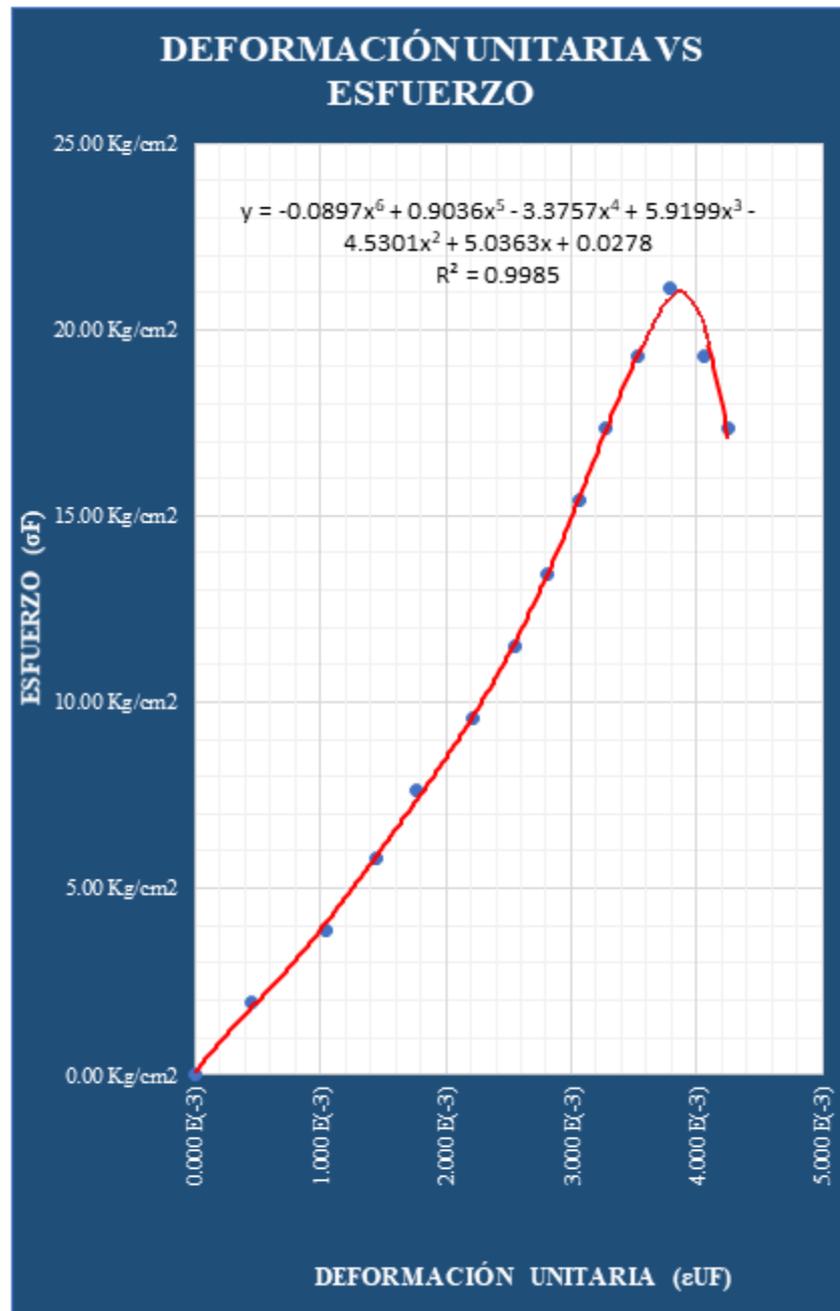


TABLA 72: Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 01- Edad de 60 días- 20% de roca traquita

N° ESPECÍMEN	E-02	LONGITUD (mm)	500.50
TIPO DE ESPECIMEN	Prismático	ALTURA (mm)	153.2
% ROCA TRAQUITA	20	PESO (Kg)	27.50
ANCHO (mm)	149.90	CARGA DE ROTURA (Kg)	1100

E 02-60D-20%			
CARGA (Kg)	DEF (mm)	ϵ_{UF}	σ_F
0	0	0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm ²
100	0.07	0.458 E(-3)	1.94 Kg/cm ²
200	0.16	1.046 E(-3)	3.87 Kg/cm ²
300	0.22	1.438 E(-3)	5.81 Kg/cm ²
400	0.27	1.765 E(-3)	7.65 Kg/cm ²
500	0.34	2.222 E(-3)	9.59 Kg/cm ²
600	0.39	2.549 E(-3)	11.52 Kg/cm ²
700	0.43	2.810 E(-3)	13.46 Kg/cm ²
800	0.47	3.072 E(-3)	15.40 Kg/cm ²
900	0.5	3.268 E(-3)	17.34 Kg/cm ²
1000	0.54	3.529 E(-3)	19.27 Kg/cm ²
1100	0.58	3.791 E(-3)	21.11 Kg/cm ²
1000	0.62	4.052 E(-3)	19.27 Kg/cm ²
900	0.65	4.248 E(-3)	17.34 Kg/cm ²

GRÁFICO 28: Curva Deformación Unitaria Vs Esfuerzo del Espécimen 02- Edad de 60 días- 20% de roca traquita



ANEXO N° 16. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO

TABLA 73: Resistencias obtenidas a la compresión del concreto a los 7 días

% ADICIÓN DE PUZOLANA	0.00%	10.00%	15.00%	20.00%
E-1	158.77	134.66	110.78	107.83
E-2	159.40	124.77	119.27	96.89
E-3	157.32	136.33	110.38	102.27
E-4	157.06	129.51	119.27	101.15
E-5	157.53	130.95	118.11	107.04
E-6	155.02	130.95	116.64	104.43
PROMEDIO DE ENSAYOS A COMPRESIÓN A EDAD DE 7 DÍAS	158	131	116	103

TABLA 74: Resistencias obtenidas a la compresión del concreto a los 60 días

% ADICIÓN DE PUZOLANA	0.00%	10.00%	15.00%	20.00%
E-1	227.21	265.97	207.40	192.02
E-2	228.59	264.37	211.57	186.43
E-3	228.34	266.09	209.46	192.53
E-4	223.19	261.07	209.38	185.46
E-5	230.55	262.28	206.22	186.03
E-6	229.76	263.07	208.92	187.65
E-7	235.95	253.08	209.07	184.13
E-8	224.70	267.19	204.17	187.06
E-9	244.89	256.31	208.29	187.25
E-10	234.12	258.09	207.23	184.13
E-11	241.78	260.74	200.63	188.86
E-12	220.49	256.87	205.58	-
PROMEDIO DE ENSAYOS A COMPRESIÓN A EDAD DE 60 DÍAS	231	261	207	187

TABLA 75: Resistencias obtenidas a la flexión del concreto a los 60 días

% ADICIÓN DE PUZOLANA	0.00%	10.00%	15.00%	20.00%
E-1	24.50	29.40	22.50	19.65
E-2	25.00	28.15	22.95	21.60
E-3	22.40	28.25	23.70	18.55
E-4	25.15	26.85	23.00	20.50
E-5	22.35	27.35	21.50	20.55
E-6	23.20	26.00	22.50	18.25
PROMEDIO DE ENSAYOS A FLEXIÓN A EDAD DE 60 DÍAS	24	28	23	20

ANEXO N° 17. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ENTRE ESPECÍMENES DE 6" CON ADICIÓN DE PUZOLANA TAMIZADA POR LA MALLA N°60 Y ESPECÍMENES DE 4" CON ADICIÓN DE PUZOLANA TAMIZADA POR LA MALLA N°200

TABLA 76: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos de D=4" a la edad de 60 días sin adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	PROMEDIO
Edad del Especímen (días)	60	60	60
% de Roca Traquita	0	0	0
Altura Promedio	20.36	20.32	20.34
Diámetro Promedio (cm)	10.12	10.08	10.10
Área (cm ²)	80.44	79.80	80.12
Carga Máxima de Rotura (KN)	11.50	11.50	11.50
Carga Máxima de Rotura (kg)	11500.00	11500.00	11500.00
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	142.97	144.11	143.54
Factor de corrección	1.66	1.66	1.66
Resistencia a la Compresión Final (kg/cm ²)	236.75	238.63	237.69
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	172737.06	173422.52	173079.79
Tipo de Falla	TIPO 6	TIPO 3	-

TABLA 77: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos de D=4" a la edad de 60 días con 10% de adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	PROMEDIO
Edad del Especímen (días)	60	60	60
% de Roca Traquita	10	10	10
Altura Promedio	30.50	30.61	30.56
Diámetro Promedio (cm)	10.08	10.09	10.09
Área (cm ²)	79.86	79.96	79.91
Carga Máxima de Rotura (KN)	13.00	13.50	13.25
Carga Máxima de Rotura (kg)	13000.00	13500.00	13250.00
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	162.78	168.83	165.80
Factor de corrección	1.66	1.66	1.66
Resistencia a la Compresión Final (kg/cm ²)	269.54	279.57	274.56
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	184312.99	187712.34	186012.67
Tipo de Falla	TIPO 6	TIPO 3	-

TABLA 78: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos de D=4" a la edad de 60 días con 15% de adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	PROMEDIO
Edad del Especímen (días)	60	60	60
% de Roca Traquita	15	15	15
Altura Promedio	20.35	20.34	20.35
Diámetro Promedio (cm)	10.10	10.08	10.09
Área (cm ²)	80.12	79.72	79.92
Carga Máxima de Rotura (KN)	10.00	10.00	10.00
Carga Máxima de Rotura (kg)	10000.00	10000.00	10000.00
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	124.82	125.44	125.13
Factor de corrección	1.66	1.66	1.66
Resistencia a la Compresión Final (kg/cm ²)	206.68	207.71	207.20
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	161397.11	161797.59	161597.35
Tipo de Falla	TIPO 3	TIPO 3	-

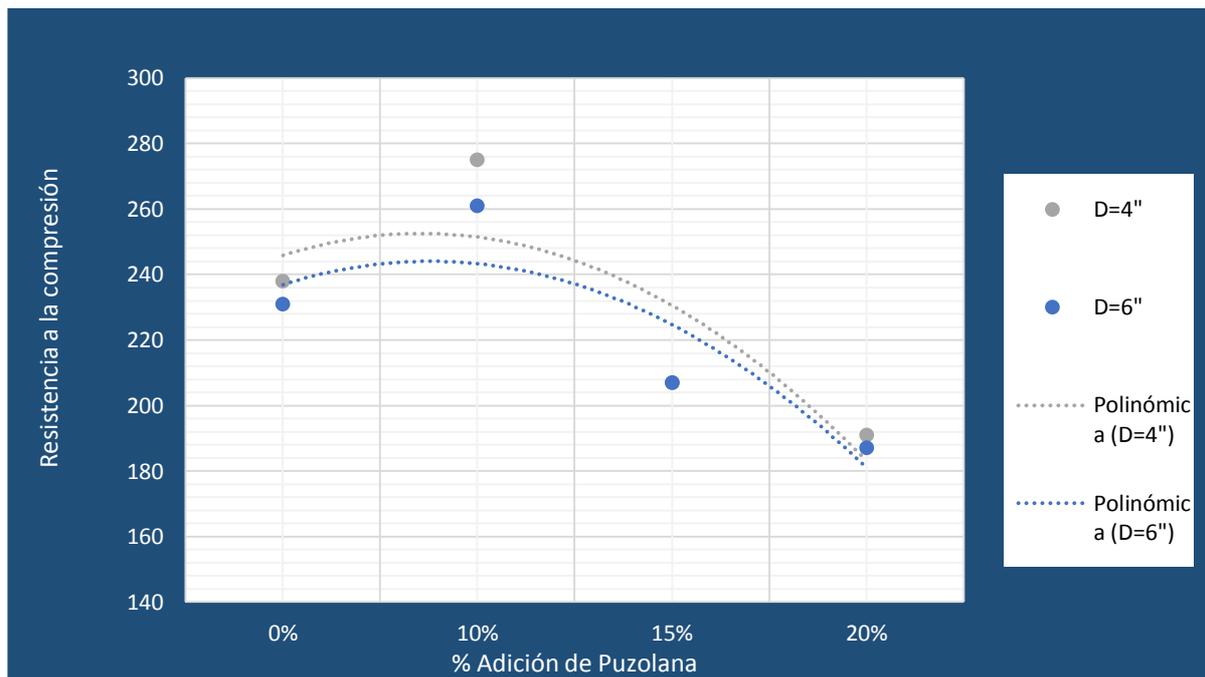
TABLA 79: Resultados de la rotura de especímenes cilíndricos de D=4" a la edad de 60 días con 20% de adición de puzolana

N° Especímen	E-1	E-2	PROMEDIO
Edad del Especímen (días)	60	60	60
% de Roca Traquita	20	20	20
Altura Promedio	20.35	20.32	20.34
Diámetro Promedio (cm)	10.11	10.09	10.10
Área (cm ²)	80.28	79.96	80.12
Carga Máxima de Rotura (KN)	9.00	9.50	9.25
Carga Máxima de Rotura (kg)	9000.00	9500.00	9250.00
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	112.11	118.81	115.46
Factor de corrección	1.66	1.66	1.66
Resistencia a la Compresión Final (kg/cm ²)	185.65	196.74	191.19
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	152963.29	157466.35	155214.82
Tipo de Falla	TIPO 1	TIPO 6	-

TABLA 80: Comparación de Resistencias a la compresión en probetas de 6" y 4" de diámetro

% Adición Puzolana	Resistencia a la compresión		Eficiencia (%)
	D=4"	D=6"	
0%	238 kg/cm ²	231 kg/cm ²	97.1021
10%	275 kg/cm ²	261 kg/cm ²	95.15712
15%	207 kg/cm ²	207 kg/cm ²	100.0632
20%	191 kg/cm ²	187 kg/cm ²	98.02379

GRÁFICO 32: Curvas de las Resistencias a la compresión en probetas de 6" y 4" de diámetro



ANEXO N° 18. FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PACASMAYO PORTLAND TIPO I



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 566 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 8000



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 N° 19. CONSTANCIA DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería



EL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA :

CONSTANCIA:

Que la Señorita ANA PAULA MARILYN MENDOZA ROJAS, Bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, **ha realizado sus ensayos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales** de la Facultad de Ingeniería de la UNC, para la Tesis Titulada "DETERMINACIONA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECANICAS DE UN CONCRETO DE $f'c=210\text{kg/cm}^2$ CON ADICION DE PUZOLANA". Dichos ensayos se realizaron del 12 de junio al 13 de octubre de 2017.

Se expide la presente, para los fines que estime conveniente.

Cajamarca, 20 de octubre de 2017.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería
Mauro Centurión Vargas
M.Cs. Ing. MAURO CENTURIÓN VARGAS
DIRECTOR

ANEXO N° 20. PANEL FOTOGRÁFICO



FIGURA 06: Acopio del Agregado Grueso- Cantera Tartar Chico



FIGURA 07: Transporte y Acopio del Agregado Grueso- Laboratorio de Materiales- Universidad Nacional de Cajamarca



*FIGURA 08: Transporte y Acopio del Agregado Fino- Laboratorio de Materiales-
Universidad Nacional de Cajamarca*



*FIGURA 09: Acopio del Agregado Fino y Grueso- Laboratorio de Materiales-
Universidad Nacional de Cajamarca*



FIGURA 10: Tamices seleccionados para el Agregado Grueso



FIGURA 11: Secado de muestra (agregado fino y grueso) en la estufa



FIGURA 12: Eliminación de partículas visibles de agua del agregado grueso



FIGURA 13: Secado de muestra (agregado grueso) en la estufa



FIGURA 14: Extendido del agregado fino sobre superficie plana



FIGURA 15: Prueba de humedad superficial del agregado fino



FIGURA 16: Picnómetro lleno con muestra (agregado fino) y agua hasta el 90 % de su capacidad



FIGURA 17: Determinación de la masa del picnómetro con agua



FIGURA 18: Lavado del agregado fino por el tamiz normalizado 75 μm (N°200)



FIGURA 19: Prueba de humedad superficial de la traquita



FIGURA 20: Picnómetro lleno con muestra (traquita) y agua hasta su capacidad de calibración



FIGURA 21: Engrasado de las probetas prismáticas (150mm x 150mm x 500mm)



FIGURA 22: Colocación de la mezcla en los moldes prismáticos



FIGURA 23: Llenado de probetas cilíndricas con la mezcla



FIGURA 24: Especímenes cubiertos con bolsas de plástico



FIGURA 25: Desencofrado de especímenes de concreto



FIGURA 26: Curado de especímenes de concreto



FIGURA 27: Ensayo de resistencia a la compresión de probetas prismáticas



FIGURA 28: Ensayo de resistencia a la flexión de especímenes prismáticos