

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE
PUZOLANA VOLCÁNICA EN CAJAMARCA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

ELMER COLLANTES QUISPE

ASESOR:

M. en I. HÉCTOR ALBARINO PÉREZ LOAYZA

CAJAMARCA - PERÚ

2017

AGRADECIMIENTO

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él logre concluir mi carrera, a mis padres Rosa Wilma y Gricerio, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, a mi hija Zayra Priscila, a mis hermanos Frangel Iván, Luz Eyubani, Dilmer y Jhana Yudith por sus palabras y su compañía, a mis amigos, compañeros y todas aquellas personas que de una u otra manera ha contribuido para el logro de mis objetivos

Quisiera agradecer también a todos los docentes y trabajadores de la universidad nacional de Cajamarca que contribuyeron con el desarrollo de esta tesis, de manera especial al M. en I. Héctor Albarino Pérez Loayza, por sus valiosas aportaciones; por su profesionalismo, calidad humana, humildad al servicio de la investigación y por su amistad.

Agradezco también a los profesionales encargados del laboratorio de ensayos de materiales de la facultad de ingeniería de la universidad nacional de Cajamarca, gracias a Juan Villanueva Zumaran técnico de laboratorio, quienes con sus sabias enseñanzas, su vasto conocimiento y trato afable contribuyeron en la culminación satisfactoria de esta tesis. Un agradecimiento a todos los docentes que me encaminaron durante la carrera, de manera especial a los Ingenieros: Rosa Haydee Llique Mondragón, Jaime Raúl Valera Guerra, Marco Wilder Hoyos Saucedo y Simón Horna Pereira que me ayudaron a pulir este trabajo de investigación con sus sabias observaciones.

Gracias Dios....

DEDICATORIA

A mi madre: Rosa Wilma Quispe Barboza.

A mi padre: Gricerio Collantes Huayac.

A mis hermanos: Frangel Iván, Luz Eyubani, Dilmer y Jhana Yudith.

A mi hija: Zayra Priscila

A mis abuelas: Brisaida, Benedicta.

A mi sobrino: Cristhian Nylmar.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE IMÁGENES	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. HIPÓTESIS	2
1.3.1. Hipótesis general	2
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.	3
1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.	3
1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	3
1.7. DELIMITACIONES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.7.1. Delimitaciones.	4
1.7.2. Limitaciones.	4
MARCO TEÒRICO	5
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.1.1. Antecedentes internacionales.	5
2.1.2. Antecedentes nacionales.	6
2.1.3. Antecedentes locales.	7
2.2. BASES TEÓRICAS	8
2.2.1. Concreto	8
2.2.2. El agregado: según (Rivva, 2014).....	10
2.2.3. Cemento Portland:	11

2.2.4. Ventajas de las adiciones	13
2.2.5. Puzolana.	13
2.2.6. Sika® Cem Acelerante PE.	16
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.	17
MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.	21
3.2. CANTERA EN ESTUDIO.....	23
3.2.1. Elección de la cantera para el presente trabajo.....	23
3.2.2. Ubicación.	23
3.2.3. Extracción de los agregados de la cantera.....	23
3.3. PUZOLANA EN ESTUDIO	24
3.3.1. Elección de la puzolana para el presente trabajo.	24
3.3.2. Ubicación.	24
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	25
3.4.1. Tipo	25
3.4.2. Diseño.	25
3.4.3. VARIABLES.....	25
3.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO.....	26
3.5.1. Estudio de las características físicas y mecánicas de los agregados para el concreto	26
3.5.2. Extracción y preparación de muestras para ensayos.....	26
3.5.3. Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo	28
3.5.4. Granulometría.....	28
3.5.5. Tamaño máximo del agregado grueso	31
3.5.6. Tamaño máximo nominal del agregado grueso.....	31
3.5.7. Módulo de fineza	32
3.5.8. Peso específico y absorción.....	32
3.5.9. Peso unitario	38
3.5.10. Desgaste o abrasión del agregado grueso	42
3.5.11. Materiales más finos que pasan por el tamiz N° 200:	44
3.6. CARACTERÍSTICAS DE LA PUZOLANA	46
3.6.1. Determinación del peso específico y absorción	46
3.6.2. Preparación de la puzolana-traquita.....	47

3.7. MATERIALES UTILIZADOS EN EL ESTUDIO	48
3.7.1. AGREGADOS.....	48
3.8. CEMENTO.....	49
3.9. AGUA.....	49
3.10. PUZOLANA-TRAQUITA.....	49
3.11. METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DEL CONCRETO REFORZADO CON PUZOLANA-TRAQUITA.....	50
3.11.1. Estudios de las propiedades de los agregados de la cantera “la victoria”. ...	50
3.11.2. Diseños iniciales.....	51
3.11.3. Procedimiento realizado para la inclusión de Puzolana en las proporciones.	52
3.11.4. Elaboración de los especímenes de concreto para los ensayos mecánicos...	53
3.11.5. Curado de los especímenes de concreto.	56
3.12. VARIABLES DE EVALUACIÓN DEL ESTUDIO.....	56
3.12.1. Asentamiento en el concreto en estado fresco	57
3.12.2. Peso Unitario del concreto en estado fresco	58
3.12.3. Peso Unitario del concreto en estado endurecido	61
3.12.5. Resistencia a la flexión en especímenes prismáticos de concreto.....	64
3.12.6. Desarrollo de la resistencia del concreto.	66
3.12.7. Módulo de elasticidad del concreto.....	66
3.12.8. Uniformidad de esfuerzos a diferentes edades.....	68
3.13. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	68
3.13.1. Técnicas e instrumentos de recopilación de información.....	68
3.13.2. Técnicas de procesamiento y análisis de información.	68
3.13.3. Análisis de los resultados	69
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	70
4.1. ANÁLISIS DE LA CONSISTENCIA DE LAS MEZCLAS.....	70
4.2. ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	71
4.3. ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	72
4.4. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESIÓN	74
4.5. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A FLEXIÓN.....	78

4.6. ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	81
4.7. CONTRASTE DE HIPÓTESIS	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
5.1. CONCLUSIONES	85
5.2. RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	87
6.1. TESIS:.....	87
6.2. NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS.....	88
ANEXOS	91
7.1. ANEXO I: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.....	91
7.2. ANEXO II: PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA PUZOLANA- TRAQUITA.....	106
7.3. ANEXO III: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO	107
7.4. ANEXO IV: FICHA TECNICA DE SIKA® CEM ACELERANTE .PE.....	108
7.5. ANEXO V: CERTIFICADO DE DESARROLLO DE TESIS EN LABORATORIO.....	110
7.6. ANEXO VI: CERTIFICADO DE LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE LA PUZOLANA VOLCÁNICA.....	111
7.7. ANEXO VII: TABLAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS.....	112
7.8. ANEXO VIII: DISEÑO DE MEZCLAS	114
7.9. ANEXO IX: PÁNEL FOTOGRÁFICO	122
7.10. ANEXO X: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS	131
7.11. ANEXO XI: TABLAS DE ANALISIS DE COSTO DE MATERIALES.	155
7.12. ANEXO XII: CURVAS REPRESENTATIVAS DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA.....	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Traquita.....	15
Tabla N° 2: Porción de la muestra de campo requerida para los ensayos de laboratorio	27
Tabla N° 3: Requisitos granulométricos del agregado grueso	29
Tabla N° 4: Requisitos granulométricos del agregado grueso	30
Tabla N°5: Capacidad de los recipientes para ensayo de Peso Unitario	39
Tabla N° 6: Muestra requerida para el ensayo de abrasión	43
Tabla N° 7 Cantidad mínima de muestra para partículas menores al tamiz N° 200	44

Tabla N° 8: Resumen de las propiedades de los agregados a ser empleados en la mezcla	48
Tabla N° 9: Resumen de los datos técnicos de la Puzolana-Traquita.	49
Tabla N°10: Tiempo de prueba de los especímenes y tolerancia.....	63
Tabla N° 11: Asentamiento del concreto según el porcentaje de adición de Puzolana.	70
Tabla N°12: Peso unitario del concretó en estado fresco con adición de puzolana.	71
Tabla N°13: Peso unitario del concreto en estado endurecido a los 28 días con diferentes porcentajes de adición de puzolana.....	73
Tabla N° 14: Promedio de ensayos a compresión a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana.....	74
Tabla N° 15: Promedio de ensayos a flexión a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana.	78
Tabla N° 16: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana, método ACI 318	82
Tabla 17: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana, método ASTM 469.....	83
Tabla N° 18: Ensayo de partículas menores al tamiz N° 200 del agregado grueso	91
Tabla N° 19: Ensayo de partículas menores al tamiz N° 200 del agregado fino	91
Tabla N° 20: Ensayo N° 01 de granulometría del agregado grueso.....	92
Tabla N°21 Ensayo N° 02 de granulometría del agregado grueso.....	93
Tabla N° 22: Ensayo N° 03 de granulometría del agregado grueso.....	94
Tabla N° 23: Ensayo N° 01 de granulometría del agregado fino.....	96
Tabla N°24: Ensayo N° 02 de granulometría del agregado fino	97
Tabla N° 25: Ensayo N° 03 de granulometría del agregado fino.....	98
Tabla N° 26: Peso específico del agregado grueso	100
Tabla N°27: Peso específico del agregado fino	101
Tabla N° 28: Peso específico del agua para ensayo de peso específico de los agregados	102
Tabla N°29: Factor agua para ensayo de peso específico de los agregados	102
Tabla N° 30: Peso unitario del agregado grueso en estado seco suelto.....	103
Tabla N° 31: Peso unitario del agregado grueso en estado seco compactado	103
Tabla N° 32: Peso unitario del agregado fino en estado seco suelto.....	104
Tabla N° 33: Peso unitario del agregado fino en estado seco compactado	104
Tabla N° 34: Porcentaje de vacíos del agregado.....	105
Tabla N° 35: Resistencia a la abrasión del agregado grueso	105
Tabla N° 36: Peso específico puzolana volcánica (traquita).	106
Tabla N° 37: Resistencia a la compresión promedio	112
Tabla N° 38: Requerimientos de agua en l/m ³ y contenido de aire del concreto para los tamaños nominales máximos del agregado grueso y consistencia indicada	112
Tabla N°39: Relación agua/cemento del concreto por resistencia	112
Tabla N°40: Módulo de finura de la combinación de agregados	113
Tabla N° 41: Diseño de mezcla de concreto empleada para correcciones	114
Tabla N° 42: Corrección por agua adicional, apariencia, asentamiento y contenido de aire de los agregados.....	115
Tabla N° 43: Corrección por variación de la resistencia debido al grado de hidratación del concreto.....	116

Tabla N° 44: Corrección por variación de la resistencia debido al grado de hidratación del concreto	117
Tabla N° 45: Diseño de mezcla Patrón con adición de sikacem acelerante pe	118
Tabla N° 46: Diseño de mezcla con una adición de 10 % de Puzolana.	119
Tabla N° 47: Diseño de mezcla con una adición de 15% de Puzolana.	120
Tabla N° 48: Diseño de mezcla con una adición de 20% de Puzolana.	121
Tabla N° 49: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, sin adición de puzolana-traquita.	131
Tabla N°50: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, sin adición de puzolana.	132
Tabla N° 51: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, sin adición de puzolana.	133
Tabla N° 52: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, con 10% de adición de puzolana-traquita.	134
Tabla N° 53: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, con 10% de adición de puzolana traquita,	135
Tabla N° 54: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, con 10% de adición de puzolana-traquita.....	136
Tabla N° 55: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, con 15% de adición de puzolana-traquita.	137
Tabla N° 56: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, con 15.0% de adición de puzolana-traquita.....	138
Tabla N° 57: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, con 15% de adición de puzolana-traquita.....	139
Tabla N° 58: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, con 20% de adición de puzolana. Traquita	140
Tabla N° 59: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, con 20% de adición de puzolana-traquita.....	141
Tabla N° 60: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, con 20% de puzolana-traquita	142
Tabla N° 61: Especímenes ensayados a flexión, siete días de edad, sin adición de puzolana-traquita.	143
Tabla N° 62: Especímenes ensayados a flexión, catorce días de edad, sin adición de puzolana. Traquita	144
Tabla N° 63: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, sin adición de puzolana-traquita	145
Tabla N° 64: Especímenes ensayados a flexión, siete días de edad, con 10% de adición de puzolana-traquita	146
Tabla N° 65: Especímenes ensayados a flexión, catorce días de edad, con 10% de adición de puzolana-traquita.	147
Tabla N° 66: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, con 10% de adición de puzolana-traquita.	148
Tabla N° 67: Especímenes ensayados a flexión, siete días de edad, con 15% de adición de puzolana-traquita	149
Tabla N° 68: Especímenes ensayados a flexión, catorce días de edad, con 15% de adición de puzolana	150

Tabla N° 69: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, con 15 % de adición de puzolana-traquita.....	151
Tabla N° 70: Especímenes ensayados a flexión, siete días de edad, con 20% de adición de puzolana-traquita	152
Tabla N° 71: Especímenes ensayados a flexión, catorce días de edad, con 20% de adición de puzolana-traquita.	153
Tabla N° 72: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, con 20 % de adición de puzolana.....	154
Tabla 73: Costo de materiales con 0% de puzolana.....	155
Tabla 74: Costo de materiales con 10% de puzolana.....	155
Tabla 75: Costo de materiales con 15% de puzolana.....	156
Tabla 76 : Costo de materiales con 20% de puzolana.....	156
Tabla N° 77: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C05-28D-0%	157
Tabla N° 78: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F06-28D-0.0%	158
Tabla N° 79: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C06-28D-10%	159
Tabla N° 80: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F06-28D-10%	160
Tabla N° 81: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C05-28D-15%	161
Tabla N° 82: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F01-28D-15%	162
Tabla N°83: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C01-28D-20%	163
Tabla N°84: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F01-28D-20%	164

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1 Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes	8
Imagen N° 2: Fotografía satelital de la ubicación del estudio	23
Imagen N° 3: Ubicación caserío Llagamarca.	24
Imagen N° 4 Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura	64
Imagen N° 5: Determinación del volumen del recipiente para ensayos de peso unitario del agregado y del concreto	122
Imagen N° 6: Ensayo completo de peso unitario del agregado	122
Imagen N° 7: Ensayo del peso específico del agregado.....	123
Imagen N° 8: Ensayo completo de granulometría del agregado.	123
Imagen N° 9: Ensayo completo de abrasión del Agregado.....	124
Imagen N° 10: Ensayo completo de partículas menores a la 200.....	124
Imagen N° 11: Ensayo de gravedad específica de la puzolana-traquita.	125
Imagen N° 12: Equipo y Máquina lista para los ensayos.....	125
Imagen N° 13: Ensayo de slump y peso unitario de concreto fresco.....	126
Imagen N° 14: Rotura de probetas patrón de diseño.....	126
Imagen N° 15: Proceso de preparación de puzolana-traquita.....	127

Imagen N° 16: Preparación de mezcla	128
Imagen N° 17: Ensayo a la compresión	129
Imagen N° 18: Ensayo a la flexión.	129
Imagen N° 19: Desencofrado de probetas.	130
Imagen N° 20: Eliminación de muestras ensayadas fuera del laboratorio de ensayo de materiales.....	130

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Asentamiento del concreto a diferentes porcentajes de adición de Puzolana.	70
Gráfico N° 2: Peso Unitario del concreto en estado fresco a diferentes porcentajes de adición de puzolana	72
Gráfico N° 3: Peso unitario del concreto en estado endurecido a diferentes porcentajes de adición de puzolana.....	73
Gráfico N° 4: Promedio de ensayos a compresión, a edad de siete días y diferentes porcentajes de adición de puzolana	75
Gráfico N° 5: Promedio de ensayos a compresión, a edad de catorce días y diferentes porcentajes de adición de puzolana.....	75
Gráfico N° 6: Promedio de ensayos a compresión, a edad de veintiocho días y diferentes porcentajes de adición de puzolana traquita.	76
Gráfico N° 7: Promedio de ensayos a compresión, a edad de veintiocho días y diferentes porcentajes de adición de puzolana traquita.	76
Gráfico N° 8: Consolidado de los promedios de ensayos a compresión, a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana.....	77
Gráfico N° 9: Promedio de ensayos a flexión, a edad de siete días y diferentes porcentajes de adición de puzolana.....	79
Gráfico N° 10: Promedio de ensayos flexión, a edad de catorce días y diferentes porcentajes de adición de puzolana.....	79
Gráfico N° 11 Promedio de ensayos a flexión, a edad de veintiocho días y diferentes porcentajes de adición de puzolana.....	80
Gráfico N° 12 Promedio de ensayos a flexión, a edad de sesenta días y diferentes porcentajes de adición de puzolana.....	80
Gráfico N° 13: Consolidado de los promedios de ensayos a flexión, a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana.....	81
Gráfico N° 14: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana, método ACI 318	82
Gráfico N° 15: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana, método ASTM 469.....	83
Gráfico N° 16: Requisito granulométrico del agregado grueso.	95
Gráfico N° 17: Requisito granulométrico del agregado fino.	99
Gráfico N° 18: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C05-28D-0%	157

Gráfico N° 19: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F06-28D-0%	158
Gráfico N° 20 Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C05-28D-10%	159
Gráfico N° 21: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F06-28D-10%	160
Gráfico N° 22: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C05-28D-15%	161
Gráfico N° 23: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F01-28D-15%	162
Gráfico N° 24: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C01-28D-20%	163
Gráfico N° 25: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F01-28D-20%	164

RESUMEN

En este trabajo se analizó la variación de la resistencia mecánica del concreto con la adición de puzolana volcánica en porcentajes de 10%, 15% y 20% del peso del cemento, se tomó como patrón de diseño a un concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Para ello se elaboraron, 180 especímenes entre cilíndricos y prismáticos, divididos en grupos de 6 para ensayos a compresión y flexión, con los diferentes porcentajes de adición de puzolana y ensayados a 7, 14, 28 y 60 días, los materiales utilizados fueron cemento Pacasmayo Tipo I, agregados extraídos del río Cajamarquino, cantera "La Victoria", Puzolana volcánica proveniente del caserío Llagamarca distrito de los Baños del Inca y agua del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca, determinándose las propiedades de los agregados y puzolana volcánica, materiales considerados representativos para la ubicación del estudio. Los resultados experimentales mostraron que bajo las tres dosificaciones el concreto incremento su resistencia a los diferentes esfuerzos, sin embargo el mayor incremento de resistencia a compresión fue de 24.26%, mientras que en flexión la resistencia se incrementó en 10.20 % correspondiendo estos incrementos a una adición de 10% de puzolana, obtenido a la edad de 60 días llegando a la conclusión que es el porcentaje óptimo para su elaboración.

Palabras clave: Concreto, puzolana, esfuerzos del concreto, resistencia mecánica, adiciones.

ABSTRACT

In this work, the variation of the mechanical strength of the concrete with the addition of volcanic pozzolana in percentages of 10%, 15% and 20% of the weight of the cement was analyzed as a design pattern for a concrete $f_c = 250 \text{ kg / Cm}^2$. For this, 180 cylindrical and prismatic specimens were prepared, divided into groups of 6 for compression and bending tests, with the different percentages of addition of pozzolana and tested at 7, 14, 28 and 60 days, the materials used were Pacasmayo cement Type I, aggregates extracted from the Cajamarquino River, "Victoria" quarry, volcanic Pozzolana from the Llagamarca hamlet district of the Baños del Inca and water from the campus of the National University of Cajamarca, determining the properties of aggregates and volcanic pozzolana, materials considered Representative for the study location. The experimental results showed that under the three dosages the concrete increased its resistance to the different stresses, nevertheless the greater increase of resistance to compression was of 24.26%, whereas in flexion the resistance increased in 10.20% corresponding these increases to an addition Of 10% of pozzolana, obtained at the age of 60 days, concluding that it is the optimal percentage for its elaboration.

Keywords: Concrete, pozzolana, concrete stresses, mechanical strength, additions.

I

CAPÍTULO

INTRODUCCIÓN.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La historia del concreto es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano supero la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

En la historia de la humanidad los arquitectos y constructores han buscado soluciones tecnológicas especiales para realizar sus obras arquitectónicas. En el siglo I d.c. Antonio Vitrubio relata, que los Romanos utilizaron la Puzolana como aditivo mineral en la elaboración de sus concretos, éstas fueron extraídas de un pueblo llamado Pozzuoli al pie del Vesubio, era una piedra volcánica, porosa y ligera. Así también, utilizaron aditivos naturales como leche, sangre y grasa animal para mejorar la trabajabilidad de las mezclas en concretos y morteros.

Estos materiales fueron utilizados en la construcción del coliseo romano 80 años d.c. y el Panteón de Adriano construido en el año 123 d.c. que fué durante 1500 años la mayor cúpula construida, con 43.3 m. de diámetro, el uso de éstos materiales le han brindado la durabilidad a estas construcciones los cuales pueden ser apreciados hoy en día.

Actualmente en el sector de la construcción en el Perú se produce cementos puzolánicos, pero no utiliza puzolanas naturales disponibles tales como; puzolanas de origen volcánico.

El costo de los materiales de construcción es, en la mayoría de los casos la que incide en el costo total de una vivienda. Este hecho afecta negativamente en la posibilidad de acceder a una vivienda por parte de la población de bajos ingresos. La única forma de bajar los costos es mediante la autoconstrucción, que se da sin ninguna asesoría técnica, con graves deficiencias constructivas, por la falta de medios económicos el término de la construcción se prolonga de 30 años o más.

El estudio busca una alternativa tecnológica que utiliza puzolana volcánica, para concretos, reduciendo el volumen del cemento, proporcionando durabilidad y resistencia a los sulfatos, cumpliendo con los parámetros físicos y mecánicos que indican las normas vigentes.

De alcanzarse los resultados previstos se habría logrado una solución innovadora de uso de puzolana volcánica en la elaboración de concreto, mejorando las propiedades del concreto, menores costos y con posibilidades de ser aplicados por microempresas. Además dicha información se pondrá a disposición de constructores, proyectistas, microempresas, estudiantes y público en general, con la finalidad de tomar mejores decisiones en la construcción, específicamente en la región Cajamarca.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Con respecto al planteamiento, la presente investigación se orienta a saber:

¿Cuál es la influencia de la puzolana volcánica en las propiedades físico – mecánicas del concreto?

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

- La adición de puzolana volcánica al concreto del 10% al 20% en remplazo de la cantidad de cemento genera un incremento del 15% de resistencia mecánica del mismo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general.

- Determinar la influencia de la puzolana volcánica en la resistencia a la compresión y flexión del concreto.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Determinar las propiedades de los agregados que se utilizarán en el diseño de la mezcla de concreto.
- Determinar las propiedades de la puzolana volcánica.
- Determinar la dosificación adecuada de puzolana volcánica, hasta llegar a la óptima.
- Analizar y comparar la resistencia mecánica del concreto con los diferentes porcentajes de adición de puzolana volcánica.

1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente tesis comprende aspectos teóricos, pruebas de laboratorio y campo de materias primas, así como las mezclas elaboradas y su aplicación final. De igual forma pretende cubrir un análisis de ventajas de resistencia y costos del uso de un concreto con adición de puzolana volcánica, además de poner dicha investigación a disposición de la población cajamarquina y lo usen al momento de la construcción de edificaciones civiles.

1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

En el Perú, como en los otros países en vías desarrollo, a diferencia de los países desarrollados, el costo de los materiales de construcción supone en la mayoría de los casos, el componente más importante del costo total de una vivienda.

Este hecho todavía se acentúa más cuando trata de viviendas para la población con bajos ingresos.

El cemento es el insumo más caro en la elaboración de los elementos de concreto armado, impacto que recae el segmento mayoritario de la población de escasos recursos. Por éste motivo, el estudio de investigación está orientada a mejorar las tecnologías tradicionales, incorporando la puzolana volcánica en la elaboración de concreto.

Por otro lado, se tratará de minimizar los contenidos de cemento Pórtland en el concreto mediante la adición de puzolana volcánica, consiguiendo disminuir costos, mejorar las propiedades del concreto y sobre todo brindando la durabilidad del mismo.

Los resultados como una alternativa tecnológica, se pondrán a disposición para su uso, en especial por microempresarios previamente capacitados, proyectistas, estudiantes y público en general, con la finalidad de tomar mejores decisiones en la construcción, específicamente en la región Cajamarca.

1.7. DELIMITACIONES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Delimitaciones.

La presente investigación se ha realizado utilizando agregados de la planta de chancadora “cantera la victoria” donde se procesan agregados extraídos de las márgenes del río Cajamarquino, puzolana volcánica proveniente de Llagamarca-Baños del Inca-Cajamarca, cemento Pacasmayo tipo I y agua usada en el campus universitario, materiales representativos de la localidad de Cajamarca, por lo que el estudio se circunscribe a la localidad de Cajamarca.

1.7.2. Limitaciones.

Para el desarrollo de esta investigación no existieron limitaciones.

II

CAPÍTULO

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Byron Javier Jaigua Romero en el 2010 en la ciudad de Cuenca- España. Estudio de hormigones de altas prestaciones utilizando áridos y cemento local, cenizas volcánicas naturales y súper-plastificantes.

La actividad que generó la adición de puzolana nos permitió reducir las cantidades de cemento portland usado en los hormigones de altas prestaciones, constituyendo una atractiva propuesta desde el punto de vista medio ambiental.

- En cuanto a la resistencia del hormigón se cumplió con el objetivo, la resistencia máxima que se logró obtener fue de 503 kg/cm^2 a los 28 días con un contenido de ceniza volcánica del 20%.
- La adición del súper plastificante fue bastante efectivo ya que el asentamiento de la mezcla mediante el ensayo del cono de Abrahán nos dio sin superplastificante entre 2.5 a 5 cm según la norma. Por lo tanto el aditivo utilizado es bastante efectivo ya que dio mayor fluidez en el hormigón y aumentó el asentamiento considerablemente.
- En cuanto a los áridos empleados se puede concluir que son de buena calidad ya que cumplen con las normas establecidas, además fueron suficientes para lograr llegar a la resistencia planteada que era 500 Kg/cm^2 siendo este el principal objetivo, aun así se logró llegar a 503 Kg/cm^2 a los 28 días, que consumió nuestras expectativas.

- La dosificación más óptima nos dio con el 20% de ceniza volcánica lo cual plasmó con la hipótesis planteada.
- La sustitución de cemento por muestra no disminuyó la durabilidad del hormigón a los veintiocho días. Cuya durabilidad se la pudo evaluar o valorar de manera visual mediante la presentación de fisuras en las probetas, las cuales en nuestro proyecto no se evidenciaron.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Carol Sanchez Stasiw. Estudio experimental del empleo de diatomita en la producción de concreto de alto desempeño. Lima-Perú 2008.

La mezcla con mejor desempeño es la que contiene entre 5% y 10% de diatomita. Sin embargo, para esta investigación el diseño que brinda mejores resultados en los ensayos de permeabilidad, tiene mejor trabajabilidad y brinda mayores beneficios económicos es la que contiene 5%

A mayor cantidad de diatomita, la relación agua/cemento aumenta. A pesar de que la cantidad de agua en la mezcla fue siempre constante y la variante fue la cantidad de aditivo necesaria para los diferentes diseños

Con respecto a la fragua se puede decir que a menor cantidad de diatomita, el tiempo de fraguado disminuye de manera directamente proporcional a la cantidad 101 de aditivo usado. Para que este diseño de mezcla sea atractivo técnico y comercialmente se modificó la dosis de aditivo retardante-plastificante, logrando una reducción en el tiempo de fragua alcanzando el de un concreto convencional en la mezcla DCD-05 (09:30 hrs fragua final).

Con respecto al ensayo de resistencia a la compresión, se concluye que a diferentes reemplazos de cemento por diatomita, el desarrollo de la misma cumplió con los resultados esperados de superar los 600 Kg/cm² pero sin alcanzar los 800 Kg/cm² logrados por el concreto con microsílíce.

2.1.3. Antecedentes locales.

Yovan Huatay Aliaga. Propiedades mecánicas del concreto elaborado con aditivo microsílíce. Cajamarca -Perú 2008.

- La mejor dosificación de microsílíce para mejorar la resistencia del concreto fue el 5% del peso del cemento.
- Los concretos con adiciones de microsílíce (5%, 8%, 10% del peso del cemento) reportan resistencias a la compresión superiores al concreto elaborado sin ninguna adición (concreto patrón).
- La máxima resistencia a la compresión se obtuvo con el 5% de microsílíce la cual fue de 309 kg/cm² a los 28 días.
- Los porcentajes de incremento de la resistencia fueron del 46%, 33.19% y 31.76% para las dosificaciones de 5%, 8% y 10% de microsílíce, respectivamente.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Concreto

Rivva (2014). El concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del material y de la calidad profesional del ingeniero, el concreto es, en general, desconocido en muchos de sus siete grandes aspectos: naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección, y mantenimiento de los elementos estructurales.

La principal limitación a las múltiples aplicaciones que se pueden dar al concreto es el desconocimiento de alguno de los aspectos ya indicados; así como de la mayor o menor importancia de los mismos de acuerdo al empleo que se pretende dar al material. Ello obliga al estudio y actualización permanentes para obtener del concreto las máximas posibilidades que como material puede ofrecer al Ingeniero.

Aditivos =0.1% a 0.2%
Aire =1% a 3%
Cemento =7% a 15%
Agua =15% a 22%
Agregados =60% a 75%

Imagen N° 1 Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes

Fuente: Pasquel (2011)

1.2.1.1. Requisitos de la mezcla.

(Rivva, 2014). Las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes requisitos básicos:

1. La mezcla recién preparada deberá tener la trabajabilidad, consistencia y cohesividad que permitan su adecuada colocación en los encofrados.

Esta mezcla deberá estar libre de segregación y tener una exudación mínima.

2. La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del empleo que se va a dar a la estructura.

1.2.1.2. Composición del concreto.

El concreto endurecido se compone de:

1. Pasta.
2. Agregado.

1.2.1.3. La pasta.

a) Elementos fundamentales: Aquella parte del concreto endurecido conocida como pasta comprende a cuatro elementos fundamentales

1. El gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento.
2. Los poros incluidos en ella.
3. El cemento no hidratado, si lo hay.
4. Los cristales de hidróxido de calcio, o cal libre, que puedan haberse formado durante la hidratación del cemento.

Estos cuatro elementos tienen un papel fundamental en el comportamiento del concreto.

b) Funciones de la pasta

La pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto:

1. Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido.
2. Separar las partículas de agregado.
3. Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas.
4. Proporcionar lubricación a la masa cuando ésta aún no ha endurecido.

c) **Propiedades de la pasta**

Las propiedades de la pasta dependen de:

1. Las propiedades físicas y químicas del cemento.
2. Las proporciones relativas de cemento y agua en la mezcla.
3. El grado de hidratación del cemento, dado por la efectividad de la combinación química entre éste y el agua.

d) **Influencia la pasta en el concreto**

Sin desconocer el papel fundamental que tiene el agregado en las características finales del concreto, el comportamiento de éste como material de construcción está directamente influenciado por las características de la pasta y propiedades finales de ella.

Para un cemento dado, las características y porosidad de la pasta dependen fundamentalmente de la relación agua-material cementante y del grado de hidratación de éste, siendo mejores las propiedades del concreto y menor su porosidad cuanto más baja es la relación agua-material cementante de una mezcla trabajable y cuanto mayor es el grado de hidratación del cemento

Dependiendo el grado de hidratación del cemento de la reacción química entre éste y el agua, todas aquellas condiciones que favorezcan la hidratación tienen importancia en la influencia de la pasta en el concreto.

2.2.2. El agregado: según (Rivva, 2014)

2.2.2.1. Concepto

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto.

Ellos son materiales que están embebidos en la pasta y ocupan entre el 62% y el 78 de la unidad cúbica del concreto

Un adecuado conocimiento de la naturaleza física y química del concreto, así como del comportamiento de éste, implica necesariamente el de los materiales que conforman la corteza terrestre, estudiados a la luz de la geología y, específicamente, de la petrología.

2.2.2.2. Clasificación

El agregado empleado en la preparación del concreto se clasifica en agregado fino, agregado grueso y hormigón, conocido este último como agregado integral

Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el Tamiz de 3/8" y queda retenido en el tamiz N°- 200. El más usual de los agregados finos es la arena, definida como el producto resultante de la desintegración natural de las rocas.

Se define como agregado grueso a aquel que queda retenido en el Tamiz N°- 4 y es proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas. El agregado grueso suele clasificarse en grava y piedra triturada o chancada. La grava es el agregado grueso proveniente de la disgregación y abrasión natural de materiales pétreos. Se le encuentra generalmente en canteras y lechos de ríos depositado en forma natural. La piedra chancada, o piedra triturada, es el agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas y gravas.

Se define como hormigón, o agregado integral, al material conformado por una mezcla de arena y grava. Este material, mezclado en proporciones arbitrarias se da en forma natural en la corteza terrestre y se le emplea tal como se le extrae de la cantera.

2.2.3. Cemento Portland:

Es un aglomerante hidráulico producido mediante la calcinación, a temperaturas ligeramente inferiores a las de fusión, de una mezcla de materiales calizos y arcillosos, obteniendo el clínker que es un material deshidratado, y es molido con la adición de yeso y otras adiciones dando como resultado el producto final, cemento portland.

El cemento portland se divide en cinco categorías normadas por las especificaciones del (ASTM C150), y las Normas Técnicas Peruanas (NTP 334.009-2013) cada categoría poseen características físicas y químicas específicas.

2.2.3.1. Componentes principales del cemento portland:

Los óxidos principales (C= CaO, S= SiO₂, A= Al₂O₃, F= FeO₃) constituyen prácticamente más del 90% en peso del Clinker. De los cuatro óxidos principales la cal es de carácter básico y los otros tres son de carácter ácido, de ellos la sílice y la cal son componentes activos, y la alúmina y el hierro actúan como fundentes.

2.2.3.2. Compuestos secundarios del cemento pórland:

Los compuestos secundarios proceden de las impurezas de la materia prima; son la parte indeseable del cemento, siempre que no sobrepasen los límites establecidos. Estos compuestos pueden agruparse en:

- Óxido de cal libre.
- Óxido de magnesia.
- Óxido de sodio y potasio.
- Cantidades pequeñas de otros óxidos.

2.2.3.3. Tipos de cemento pórland:

Cemento tipo I: Este cemento se usó en la dosificación del concreto con adiciones de puzolana ya que es de uso general en la construcción y se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. El cemento portland Tipo I se fabrica mediante la molienda conjunta de clínker Tipo I y yeso, que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado. Sus aplicaciones más importantes son:

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

2.2.4. Ventajas de las adiciones

Según Sánchez Stasiw, Carol (2016). Las adiciones pueden ser utilizadas para el mejoramiento del desempeño del concreto en su estado fresco y endurecido. Son principalmente utilizados para mejorar la trabajabilidad, durabilidad y la resistencia. Estos materiales le permiten al productor de concreto diseñar y modificar la mezcla de concreto para satisfacer la aplicación deseada. Las mezclas de concreto con elevados contenidos de cemento Pórtland son susceptibles a la fisuración y a una mayor generación de calor (alto calor de hidratación). Estos efectos pueden ser controlados en alguna medida mediante la utilización de adiciones al cemento. Por otro lado, su utilización reduce el consumo de cemento Pórtland por unidad de volumen de concreto. El cemento Pórtland tiene un elevado consumo de energía y de emisiones asociadas con su producción. Este consumo energético se disminuye cuando se reduce la cantidad de cemento Pórtland utilizada en el concreto, implícitamente a esta ventaja se encuentra la protección del medio ambiente al reducir la emisión de CO₂ (dióxido de carbono), SO₂ (dióxido de azufre), NO₂ (dióxido de nitrógeno).

2.2.5. Puzolana.

Según la norma ASTM C 618-01, las puzolanas son un material silíceo o sílico-aluminoso, que por sí mismo puede tener poca o ninguna actividad hidráulica pero que, finamente dividido y en presencia de agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas.

- Cenizas volcánicas

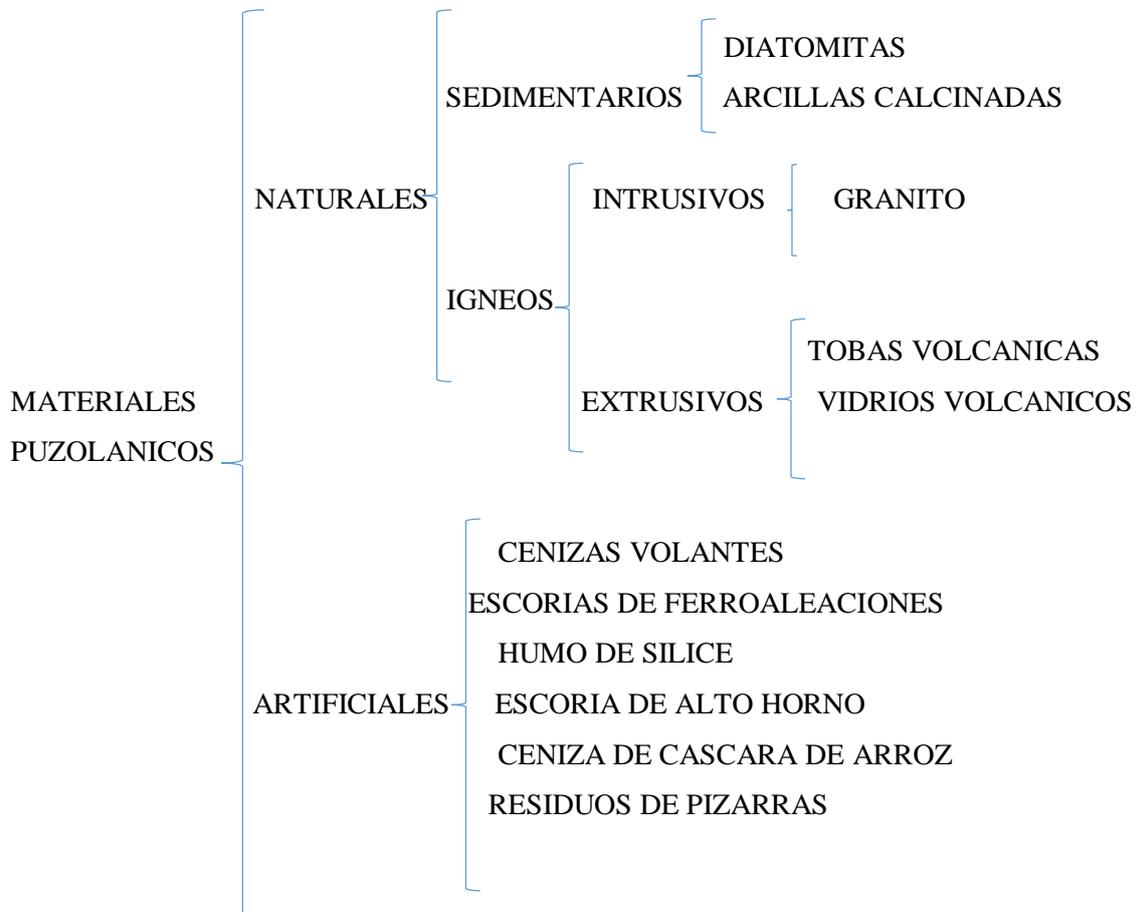
Se forman por erupciones de carácter explosivo, en pequeñas partículas que son templadas a temperatura ambiente, originando la formación del estado vítreo.

- Tufos o tobas volcánicas (zeolitas)

Pertenece al grupo de los silicatos hidratados de aluminio, integrada por más de cuarenta variedades, posee grandes cantidades de sílice (SiO₂) y alúmina reactiva (Al₂O₃). Producto de la acción hidrotermal sobre las cenizas volcánicas y de su posterior cementación diagenética. Se debe señalar que no todos los depósitos de este tipo son

puzolánicos, sino solamente los que son ácidos y ricos en vidrios. Al mismo tiempo, se distingue como de los mejores, los que contienen minerales ceolíticos.

FIGURA 01: Clasificación de los materiales puzolánicos



Fuente: [http://www.uniovi.es/usr/fblanco/lección 10 cementos. Materiales Adición. Pdf](http://www.uniovi.es/usr/fblanco/lección%2010%20cementos.Materiales%20Adición.Pdf), consulta. 20 de noviembre 2016.

2.2.3.1. Origen y características

Según **Javier Mena Bayón (2013)**. La traquita es una roca volcánica compuesta fundamentalmente por feldespato alcalino, tanto sanidina como anortoclasa. Estos pueden encontrarse como fenocristales y al mismo tiempo siendo las fases principales en la matriz de la roca. Algunos minerales máficos acompañantes pueden ser la biotita, los anfíboles y el clinopiroxeno. Podría llegar a tener cuarzo o feldespatoideos. El índice de color suele ser muy claro y no es frecuente que la matriz contenga un porcentaje importante de vidrio.

Tabla 1: Traquita.

Tipo	: Ígnea
Textura	: Vidrio
Serie Ígnea	: Alcalina
Conductividad	: Calor
Densidad	: 2.6 gr/cm ²
Aspecto	: Blanca o Gris claro
Estructura	: Porosa superficie áspera
Empleo	: Construcción

Fuente: Javier Mena Bayón (2013).

2.2.3.2. Clasificación de las puzolanas.

Quiñones Francisco J. (2000, p6). Los materiales denominados puzolanas naturales pueden tener dos orígenes distintos, uno puramente mineral y otro orgánico. Las puzolanas naturales de origen mineral son producto de la transformación del polvo y cenizas volcánicas que, como materiales piroclásticos incoherentes procedentes de erupciones explosivas, ricos en vidrio y en estado especial de radioactividad, son aptos para sufrir acciones endógenas. El origen volcánico de las puzolanas naturales es determinante en 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.

Según **Javier Mena Bayón (2013)**. La traquita es una roca volcánica compuesta fundamentalmente por feldespatos alcalinos, tanto sanidina como anortoclasa. Estos pueden encontrarse como fenocristales y al mismo tiempo siendo las fases principales en la matriz de la roca. Algunos minerales máficos acompañantes pueden ser la biotita, los anfíboles y el clinopiroxeno. Podría llegar a tener cuarzo o feldespatoides. El índice de color suele ser muy claro y no es frecuente que la matriz contenga un porcentaje importante de vidrio.

2.2.6. Sika® Cem Acelerante PE.

2.2.6.1. Descripción.

Aditivo líquido de acción acelerante sobre tiempo de fraguado y resistencias mecánicas del concreto. Cumple norma ASTM 494, tipo C.

2.2.6.2. Descripción.

Sika® Cem Acelerante PE debe usarse cuando se requiera: Obtener concreto con altas resistencias a temprana edad, reducir el tiempo de desencofrado y facilitar el rápido avance de las obras, colocar concreto en ambiente frío o efectuar reparaciones rápidas en todo tipo de estructuras.

2.2.6.3. Características / Ventajas

- El Sika® Cem Acelerante PE reduce los tiempos de desencofrado.
- Se obtienen resistencias más altas a temprana edad.
- Pronto uso de estructuras nuevas.
- Rápida puesta en uso de estructuras reparadas.
- Sika® Cem Acelerante PE contrarresta el efecto del frío sobre las
- Resistencias y el fraguado.
- Aumenta los rendimientos en la elaboración de prefabricados.

2.2.6.4. Modo de Empleo.

Sika® Cem Acelerante PE viene listo para usarse, agregándose al agua de mezcla. PRECAUCIONES Limpie todas las herramientas y equipos de aplicación con agua inmediatamente después de su uso. Los datos técnicos indicados en esta hoja técnica están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control. BASES Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

- **Absorción:** Es el aumento de la 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 de le expresa como porcentaje de la masa seca. [NTP 400.021-2013]
- **Agregado:** Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la NTP 400.011. Se les llama también áridos. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Agregado anguloso:** Son agregados que poseen aristas bien definidas formadas por la inserción de superficies aproximadamente planas. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Agregado bien graduado:** Agregado cuya distribución de tamaños de partículas produce una densidad máxima, es decir minimiza los vacíos. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Agregado fino:** Agregado extraído de rocas o piedras proveniente de la disgregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Agregado grueso:** Agregado grueso retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4) que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de roca. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Agregado que pasa:** Por un tamiz determinado, expresado generalmente en peso o porcentaje siempre que no retenga más del 5 % en masa (peso) del material tamizado. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Agregado retenido:** Un agregado es retenido por un tamiz cuando este no deja pasar más de un 5% en masa (peso) del material tamizado. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Cemento Portland:** Un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker de Portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda. [NTP 400.017-2011]

- **Contenido de aire:** Volumen total de vacíos de aire, sea incluido o atrapado, en la pasta de cemento, mortero u hormigón (concreto). El aire incluido aumenta la durabilidad del mortero u hormigón (concreto) endurecido sometido a congelación-deshielo y aumenta la trabajabilidad de las mezclas frescas. [NTP 339.047-2006]
- **Curado:** Proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales (especialmente temperatura y humedad) durante el fraguado y/o endurecimiento del cemento, mortero u hormigón (concreto). [NTP 339.047-2006]
- **Curva granulométrica:** Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Densidad de masa del agregado:** 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 vacío entre partículas, expresado en kg/m^3 . [NTP 400.017-2011]
- **Gravedad específica:** Es la relación de la densidad de un material a la densidad del agua destilada a una temperatura indicada. [NTP 400.021-2013]
- **Dosificación:** Proceso de medición, por peso o por volumen, de los ingredientes y su introducción en la mezcladora para una cantidad de concreto, mortero, grout o revoque. [NTP 339.047-2006]
- **Ensayo de asentamiento:** Medida de la consistencia del mortero u hormigón (concreto) fresco expresada por el descenso de una masa plástica representativa del pasión, al quedar libre del soporte metálico en que fue moldeado. [NTP 339.047-2006]
- **Fraguado:** Condición alcanzada por una pasta, mortero u hormigón (concreto) de cemento cuando ha perdido plasticidad a un grado convencional, generalmente medido en términos de resistencia a la penetración; fraguado inicial se refiere a la primera rigidez; fraguado final se refiere a la adquisición de una rigidez significativa. [NTP 339.047-2006]
- **Granulometría:** Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La NTP 400.012 establece el procedimiento para su distribución mediante el

tamizado, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Eventualmente se calcula la masa retenida y/o que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]

- **Homogeneidad de agregados:** Una mezcla de agregados es homogénea cuando cumple con los límites granulométricos establecidos en cada porción de la misma. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Módulo de elasticidad:** Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente para esfuerzos de tensión o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material. También conocido como módulo de Young o módulo Young de elasticidad, designado por el símbolo E. [NTP 339.047-2006]
- **Módulo de finura (MF):** Factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Relación agua-cemento (a/c):** Relación entre la masa de agua y la masa de cemento en el concreto. [NTP 339.047-2006]
- **Rendimiento:** Volumen por amasada (bachada, pastón) de concreto que se expresa en metros cúbicos (pies cúbicos). [NTP 339.047-2006]
- **Saturado superficialmente seco:** En relación a partículas del agregado, es la condición en la que los poros permeables de las partículas del agregado están llenos de agua hasta el punto en el que han alcanzado, por inmersión en agua, durante el periodo de tiempo determinado, pero sin contener agua libre en la superficie de las partículas. [NTP 400.022-2013]
- **Secado al horno:** En relación a las partículas del agregado. Es la condición en la que los agregados se han secado por calentamiento en un horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo suficiente para alcanzar una masa constante. [NTP 400.022-2013]
- **Tamaño máximo del agregado:** Es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]

- **Tamaño nominal máximo del agregado:** Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Trabajabilidad:** Es la propiedad del concreto, mortero, grout o revoque frescos, que determina sus características de trabajo, es decir, la facilidad para su mezclado, colocación, moldeo y acabado. [NTP 339.047-2006]
- **Vacíos:** En la unidad de volumen del agregado, espacio entre partículas en una masa de agregado no ocupado por la materia sólida del mineral. [NTP 400.017-2011].
- **Puzolana:** Material siliceo o silico- aluminoso que tiene poca actividad hidraulica. (ASTM C 618).

III CAPÍTULO

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.

La Investigación aquí expuesta fue realizada en el laboratorio de ensayos de materiales de la ciudad universitaria, que se encuentra ubicada en la Av. Atahualpa N°1050, en el Distrito de Cajamarca- Provincia de Cajamarca – Departamento Cajamarca – Región Cajamarca – Perú.

Esta tesis fue realizada desde Agosto del 2016 hasta Enero del presente año (2017).

Ubicación de Cajamarca con respecto al país.



Figura N°1 Ubicación de Cajamarca con respecto al Perú. Recuperado de:
<http://www.peruserviciosturisticos.com/cajamarca.php>



Figura N°2 Ubicación de Cajamarca con respecto al departamento. Recuperado de:
<http://www.peruserviciosturisticos.com/cajamarca.php>

a. Procedimiento.- Esta investigación tiene los siguientes procesos.

- i. Elección de la cantera de materiales que serán utilizados para el diseño del concreto para este fin.
- ii. Obtención de la muestra de ensayo.
- iii. Ensayo de materiales con el fin de obtener las características físico-mecánicas.
- iv. Procesamiento de datos
- v. Obtención de resultados

Los materiales y métodos que se han utilizado en esta investigación están separadas en: cantera, determinación de las características físicas y mecánicas de los agregados, diseño de mezclas, elaboración de los especímenes de prueba, elaboración de los especímenes específicos, curado de los especímenes elaborados y prueba de los especímenes a compresión y flexión; en cada ítem se describen tanto los materiales, equipo y metodología (método de experimentación y procedimiento); para obtener los datos necesarios para el procesamiento de resultados.

3.2. CANTERA EN ESTUDIO

3.2.1. Elección de la cantera para el presente trabajo.

Teniendo en cuenta a las normas técnicas peruanas y la gran demanda de agregados de este río; el material utilizado para la elaboración de los especímenes; los materiales empleados en este trabajo fueron de origen pluvial, tanto el agregado fino (arena gruesa) como el agregado grueso (piedra); provinieron de la acopiadora del Río Cajamarquino (fundo la victoria de la universidad nacional de Cajamarca).

3.2.2. Ubicación.

La Cantera “La Victoria” se encuentra ubicada en el Km 4+300 de la carretera Cajamarca – Jesús, a la altura del Fundo La Victoria de la Universidad Nacional de Cajamarca. Geográficamente se encuentra entre los paralelos $7^{\circ}11'04''$ y $7^{\circ}11'07''$ de latitud sur y los meridianos $78^{\circ}27'53''$ y $78^{\circ}27'59''$ de longitud oeste, y con coordenadas UTM; E 779854.37, N 9205018.09

A continuación se presenta el plano de ubicación de la cantera “La Victoria”.

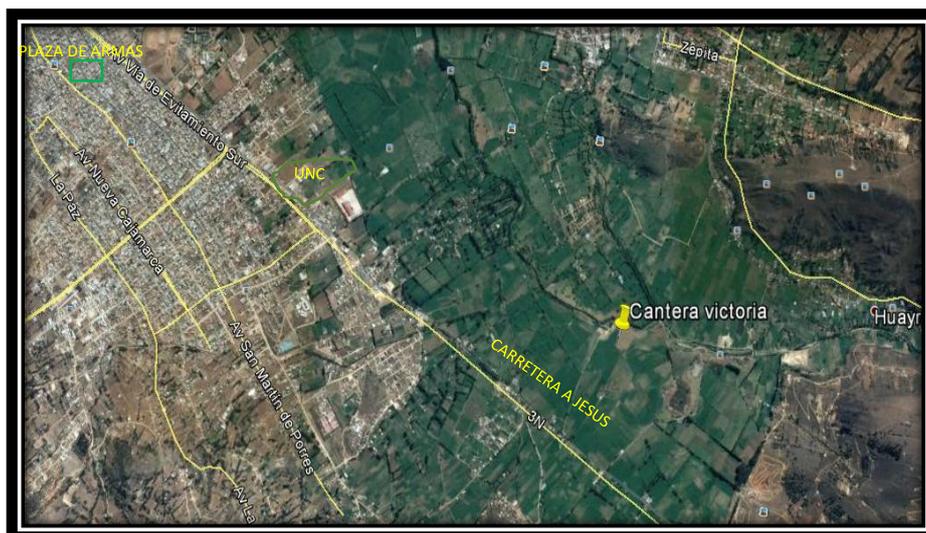


Imagen N° 2: Fotografía satelital de la ubicación del estudio

Fuente: Google Earth, Julio 2016

3.2.3. Extracción de los agregados de la cantera.

Los agregados materia de estudio, se encuentran de forma dispersa a lo largo del río Cajamarquino en un área aproximadamente de 3000 m², la potencia de explotación de la cantera llega en su punto más profundo a un metro con ochenta centímetros (1.80

m) , los ,materiales son extraídos desde las márgenes del río con maquinaria pesada que consta de retroexcavadoras de dos metros cúbicos de capacidad de la pala ($2m^3$), y transportados por volquetes de quince metros cúbicos de capacidad de la tolva ($15m^3$) ; estos últimos transportan el material a la zona de proceso, donde son lavados, reducidos a través de trituración y tamizados para su futura venta.

El material es triturado y separado mecánicamente a través de la maquinaria aquí se hace una clasificación en TMN de $\frac{1}{2}''$, $1'$ y $\frac{3}{4}''$, para su posterior despacho.

3.3. PUZOLANA EN ESTUDIO

3.3.1. Elección de la puzolana para el presente trabajo.

Teniendo en cuenta a las normas técnicas peruanas y el estudio de puzolana de Cajamarca; la puzolana empleada en este trabajo fue del caserío de Llagamarca del distrito de los Baños del Inca.

3.3.2. Ubicación.

El caserío de “Llagamarca” se encuentra ubicado a 2 Km+800 m, de la Plaza de Armas de Cajamarca a la altura del Fundo Tres Molinos. Con coordenadas UTM; E 773927.3, N 9211400.73

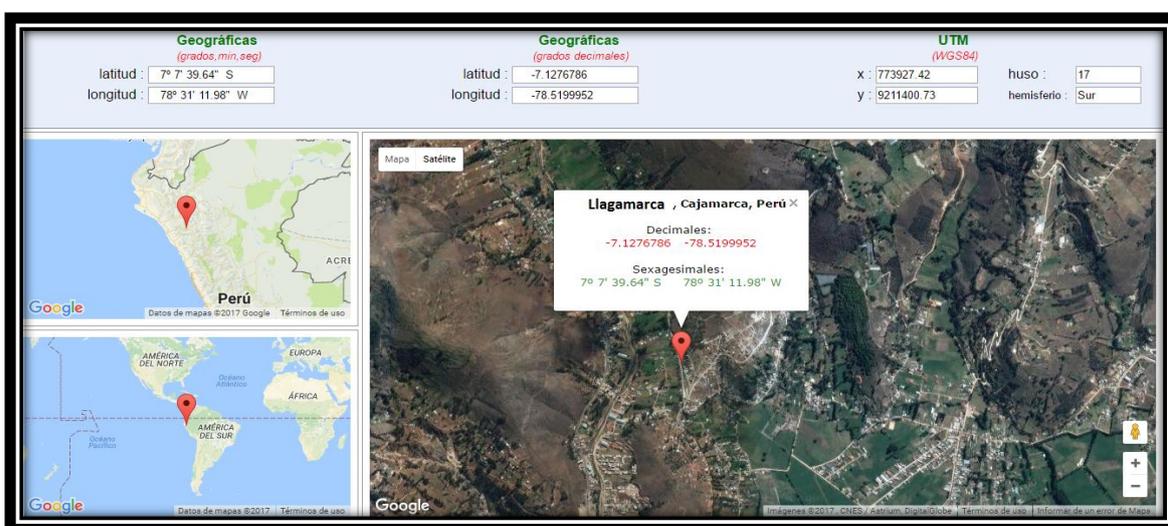


Imagen N° 3: Ubicación caserío Llagamarca.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

3.4.1. Tipo

El tipo de investigación de esta tesis fue aplicada, con un nivel descriptivo en su primera parte, luego explicativo y finalmente comparativo.

3.4.2. Diseño.

Por la naturaleza de las variables fue una investigación de diseño experimental, con un solo factor de control modificable (unifactorial), el cual fue la adición de puzolana volcánica.

3.4.3. VARIABLES

3.2.3.1. Variable independiente:

- Puzolana volcánica.

3.2.3.2. Variable dependiente:

- Resistencia a la compresión y flexión del concreto con el uso de puzolana volcánica.

Población de estudio

La población de estudio fue los especímenes de concreto con adición de puzolana volcánica

Muestra

- Probetas de concreto con adición de puzolana volcánica en remplazo del 10% de cemento = 24 unidades cilíndricas y 24 unidades prismáticas.
- Probetas de concreto con adición de puzolana volcánica en remplazo del 15% de cemento = 24 unidades cilíndricas y 24 unidades prismáticas.
- Probetas de concreto con adición de puzolana volcánica en remplazo del 20% de cemento = 24 unidades cilíndricas y 24 unidades prismáticas.
- probetas de concreto convencional: n = 18 unidades cilíndricas y 18 unidades prismáticas.

Unidad de análisis

La unidad de análisis de esta investigación se denominó “espécimen de concreto”, que es la denominación técnica correcta, sin embargo suele llamarse comúnmente “probeta”.

3.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO

3.5.1. Estudio de las características físicas y mecánicas de los agregados para el concreto

Los agregados representan en el concreto cerca del 60% del volumen del mismo, es así que la determinación de sus propiedades y características es muy importante para la obtención de un concreto de alta calidad y de las características de los agregados depende la resistencia, trabajabilidad, durabilidad, así como su comportamiento estructural de los elementos estructurales fabricados con estos materiales.

El estudio de las características físico-mecánicas de los agregados para el diseño de mezclas de concreto es indispensable para la obtención de concretos cuya calidad sea la adecuada. Para la verificación de las propiedades de los agregados es necesario que estos sean comparados con los parámetros establecidos en las NTPs o sus equivalentes en normas internacionales como las ASTMs.

3.5.2. Extracción y preparación de muestras para ensayos

Para la obtención del agregado fino y grueso de estudio se realizaron los procedimientos de muestreo descritos en la NTP 400.010-2011, en concordancia con la Norma ASTM D75, donde se describe la obtención de agregados almacenados en pilas.

- Obtención de la muestra desde pilas de acopio o unidades de transporte:

De ser posible evitar la toma de muestras de agregado grueso o agregado mezcla gruesa y fina de las reservas de unidades de transporte, particularmente la muestra es realizada para el propósito de la determinación de las propiedades del agregado que puedan depender de su granulometría. Si las circunstancias hacen necesario obtener muestras de agregado grueso o agregado mezcla gruesa y fina de las reservas de unidades de transporte, designar un plan de muestreo para este caso específico, aceptado por todas las partes involucradas; esto permitirá a la entidad que realiza el muestreo el uso de un plan que le dará confianza de los resultados obtenidos, de aceptar esta situación particular.

El plan de muestreo definirá el número de muestras necesarias para representar los lotes o sub-lotes de medidas específicas. Los principios generales para el muestreo de depósitos, son aplicables a muestreo de camiones, vagones, barcazas u otras unidades de transporte.

El número de las muestras de campo requeridas depende del estado y variación de la propiedad a medirse. Designar cada unidad de la que se obtuvo la muestra de campo, previa al muestreo. El número de muestras de la producción deberá ser suficiente como para otorgar la confianza deseada en los resultados de los ensayos

Las masas de las muestras de campo citadas son tentativas. Las masas deberán ser previstas para el tipo y cantidad de ensayos a los cuales el material va a estar sujeto y obtener material suficiente para ejecutar los mismos apropiadamente. La norma de aceptación y ensayos de control están cubiertas por las NTPs, donde se especifica la porción de la muestra de campo requerida para cada ensayo específico. En general, las cantidades indicadas en la Tabla N° 02 proveerán material adecuado para análisis granulométrico y ensayos de calidad rutinarios. Se extraerán porciones de muestra en el campo de acuerdo con el método de ensayo normalizado que se presenta en ASTM C 702 o por otros métodos de ensayo que sean aplicables.

Tabla N° 2: Porción de la muestra de campo requerida para los ensayos de laboratorio

Tamaño del agregado	Masa de la muestra de campo, mín. Kg (lbs)	Muestra de campo Volumen mín. L (Gal)
Agregado Fino		
2.36 mm [N° 8]	10 [22]	8 [2]
4.75 mm [N° 4]	10 [22]	8 [2]
Agregado Grueso		
09.5 mm [3/8 in.]	10 [22]	8 [2]
12.5 mm [1/2 in.]	15 [35]	12 [3]
19.0 mm [3/4 in.]	25 [55]	20 [5]
25.0 mm [1 in.]	50 [110]	40 [10]
37.5 mm [1 1/2 in.]	75 [165]	60 [15]
50.0 mm [2 in.]	110 [220]	80 [21]
63.0 mm [2 1/2 in.]	125 [275]	100 [26]
75.0 mm [3 in.]	150 [330]	120 [32]
90.0 mm [3 1/2 in.]	175 [385]	140 [37]

Fuente: NTP 400.010-2011

- **Procedimiento:** Teniendo en cuenta lo antes mencionado se procedió a realizar la

extracción de los materiales bajo el siguiente procedimiento:

- Para agregado grueso, se tomó la muestra en tres lugares, de la parte superior de la pila, del punto medio, y del fondo.
- Para agregado fino, se tomó la muestra que se encuentra bajo el material superficial, en tres lugares aleatorios.

De esta manera los agregados fueron recolectados en costales de plástico, para luego ser llevados a las instalaciones del Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNC.

3.5.3. Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo

Las muestras de agregados deben ser adecuados para cada tipo de prueba, éstas han sido reducidas a tamaños adecuados para ser ensayadas utilizando para ello lo descrito en la norma NTP 400.043 o su equivalente la Norma ASTM C 702.

Todas las muestras para la realización de los ensayos fueron obtenidas por los procedimientos descritos a continuación.

➤ **Procedimiento:** El material producto del ensayo fue colocado sobre una superficie libre de impurezas que puedan contaminar el mismo, luego se batió por tres veces el material con ayuda de una palana formando un pequeño montículo, enseguida se esparció el agregado de forma circular y se lo dividió en cuatro partes de apariencia simétrica, se tomó dos mitades opuestas y se procedió a repetir el ensayo hasta obtener las muestras según los pesos necesarios aproximados para cada ensayo

3.5.4. Granulometría

3.4.4.1. Granulometría del agregado grueso

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

Tabla N° 3: Requisitos granulométricos del agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1 ½ pulg)	25.0 mm (1 pulg)	19.0 mm (¾ pulg)	12.5 mm (1/2 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm. a 37.5 mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 15	...	...	...	...	...
2	63 mm. a 37.5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	50 mm. a 25.0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	50 mm. a 4.75 mm (2 pulg a N° 4)	...	...	...	100	90 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37.5 mm. a 4.75 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...
467	37.5 mm. a 4.75 mm (1 ½ pulg a N° 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	25 mm. a 12.5 mm (1 pulg a ½ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	25 mm. a 9.5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25 mm. a 4.75 mm (1 pulg a N° 4)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19.0 mm. a 9.5 mm (¾ pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	0 a 5	...	...
67	19.0 mm. a 4.75 mm (¾ pulg a N° 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 N° 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 N° 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	9.5 mm. a 1.18 mm (3/8 pulg a N° 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10
9	4.75 mm. a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10

Fuente: NTP 400.037-2002

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

3.4.4.2. Granulometría del agregado fino

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

Tabla N° 4: Requisitos granulométricos del agregado grueso

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

Fuente: NTP 400.037-2002

- Se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá hormigón (concreto) de la calidad requerida
- El hormigón (concreto) con agregado fino cercano a los mínimo porcentajes de las mallas 300 µm (N° 50) y 150 µm (N° 100), puede tener dificultades con la trabajabilidad, bombeado o excesiva exudación, lo que puede regularse con adiciones finas (fillers) o aditivos incorporadores de aire.
- El módulo de fineza recomendable está entre 2.3 y 3.1.

3.4.4.3. Análisis Granulométrico de los agregados

El método utilizado para determinar la granulometría del agregado Fino y Grueso fue el de Cribado, este método se utilizó para determinar la distribución aproximada de las partículas de los agregados. Para desarrollar el ensayo se deben reducir las muestras hasta tamaños apropiados para la prueba. Los procedimientos son descritos en la norma NTP 400.012, también en la ASTM C 136.

➤ **Aparatos :** Los aparatos y equipos a utilizar son los siguientes:

a) **Balanzas:** Las balanzas utilizadas en el ensayo de agregado fino, grueso y global deberán tener la siguiente exactitud y aproximación:

- Para agregado fino, con aproximación 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 masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

b) Tamices: Los tamices serán montados sobre armaduras construidas de tal manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado. Los tamices cumplirán con la NTP 350.001.

c) Horno: Un horno de medidas apropiadas capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

➤ **Procedimiento:** El procedimiento es como sigue:

a) Se secó la muestra a peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b) Se seleccionó tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado. Se encajó los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y se colocó la muestra en partes sobre el tamiz superior. Se agitó los tamices manualmente.

➤ **Expresión de resultados:** Los cálculos y resultados se encuentran en el Anexo I.

3.5.5. Tamaño máximo del agregado grueso

Según la NTP 400.037 Siendo el tamaño máximo el menor tamaño de tamiz por la que pasa la totalidad del agregado (100%)

Granulometrías muy distintas pueden dar el mismo valor del tamaño máximo del agregado grueso. Ello debe tenerse presente en la selección del agregado, de su granulometría y las proporciones de la mezcla.

3.5.6. Tamaño máximo nominal del agregado grueso

De acuerdo a la NTP 400.037 es el que corresponde al menor tamiz de la serie utiliza que produce el primer retenido. La NTP 400.010 nos indica que el tamaño máximo nominal del agregado es igual a un tamaño mayor que el primer tamiz que retiene más que el 10% del agregado.

3.5.7. Módulo de fineza

Este módulo es generalmente determinado para el agregado fino, sin embargo en algunas metodologías de diseño de mezclas es necesario obtener el módulo de fineza del agregado grueso.

Los agregados que presentan un módulo de fineza bajo indican una preponderancia de las partículas más finas con un área superficial total muy alta, la que será necesario cubrir con pasta.

El módulo de fineza sirve como una medida del valor lubricante de un agregado, dado que cuanto mayor es su valor menor será el valor lubricante y la demanda de agua por área superficial.

Pudiendo obtenerse con diferentes granulometrías el mismo módulo de fineza, éste no deberá emplearse para definir la granulometría de un agregado.

El módulo de fineza es un índice del mayor o menor grosor del conjunto de partículas de un agregado.

Gran número de granulometrías de agregados fino o grueso, o de una combinación de ambos, pueden dar un módulo de fineza determinado. Esta es la principal desventaja del empleo de este factor, el cual se utiliza como un índice de control de uniformidad de materiales.

➤ **Cálculo:**

Se calculó como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de 3"; 1 1/2"; 3/4"; 3/8"; N° 4; N° 8; N° 16; N° 30; N° 50; y N° 100, divididas entre 100.

➤ **Expresión de resultados:** Los cálculos y resultados se encuentran en el Anexo I.

3.5.8. Peso específico y absorción

Este ensayo tiene por finalidad establecer un procedimiento para determinar la densidad promedio de partículas de agregado grueso y fino (no incluye los orificios entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado tanto grueso como fino.

3.4.8.1. Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso

El método empleado para el desarrollo de este ensayo es el establecido en la NTP 400.021 en correspondencia con la ASTM C 127.

El método y materiales empleados para el cálculo de estos parámetros son los siguientes:

➤ **Aparatos**

a) Balanza: Un dispositivo para la determinación de la 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.

b) Recipiente para muestra: Una canasta de alambre de 3.35 mm (N° 6) o malla fina o un cubo de aproximadamente el mismo ancho y altura, con una capacidad de 7 litros, agregado de tamaño máximo nominal o menor de 37.5 mm (1 ½ in) 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.

c) Tanque de agua: Un recipiente hermético, en el que se coloca el recipiente de la muestra mientras está suspendido debajo de la balanza.

d) Tamices: Un tamiz de 4.75 mm (N° 4) u otros tamaños según sea necesario, conforme la NTP 350.001.

e) Estufa: Una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C ± 5 °C.

➤ **Procedimiento:** El procedimiento es como sigue:

a) Se secó la muestra de ensayo en una estufa hasta una masa constante a una temperatura de 110 °C, se enfrió a temperatura ambiente durante 3 h. Se sumergió el agregado en agua por un periodo de 24 h.

b) Se retiró la muestra del agua y se le secó la superficie con una franela, teniendo cuidado en no evaporar el agua, se determinó su masa al aire.

c) Después de la determinación de la masa en aire, se colocó inmediatamente la muestra saturada superficialmente seca en el recipiente de la muestra y se determinó su masa aparente en agua luego de 3 horas de sumersión.

d) Se secó la muestra de ensayo en la estufa hasta una masa constante, a temperatura de 110 °C, se enfrió en aire a temperatura ambiente durante 3 h, hasta que el agregado se volvió manipulable y se determinó su masa.

➤ **Cálculos:**

a) **Peso específico.**

• **Peso específico de masa.** Calcular el Peso específico en base al agregado secado al horno de la manera siguiente:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{(B - C)}$$

En dónde:

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

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

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

• **Peso específico en estado saturado superficialmente seco:** Calcular la gravedad específica sobre la base del agregado de superficie seca saturada, de la siguiente manera:

$$\text{Peso Específico en estado saturado superficialmente seco} = \frac{B}{(B - C)}$$

• **Peso específico aparente:** Peso específico aparente, de la siguiente manera:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(A - C)}$$

b) Absorción: Calcular el porcentaje de absorción, de la siguiente manera:

$$\text{Absorción \%} = \left[\frac{(B - A)}{A} \right] \times 100$$

➤ **Expresión de resultados:** Los cálculos y resultados se encuentran en el Anexo I.

3.4.8.2. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino

El método empleado para el desarrollo de este ensayo es el establecido en la NTP 400.022 en correspondencia con la ASTM C 128.

El método y materiales empleados para el cálculo de estos parámetros son los siguientes:

➤ **Aparatos**

a) 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. Dentro de un rango de 100 g de carga de la prueba, la diferencia entre las lecturas deberán tener una precisión de 0.1g.

b) Picnómetro: (para usarse con el procedimiento gravimétrico): Un frasco u otro contenedor apropiado en el cual la muestra de agregado fino puede ser rápidamente introducida y en el cual el contenido del volumen puede ser calibrado hasta $\pm 0.1 \text{ cm}^3$. El volumen del recipiente lleno hasta la marca será aproximadamente 50 % mayor que el espacio necesario para acomodar la muestra de ensayo. 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.

c) El molde y barra compactadora para los ensayos superficiales de humedad: El molde metálico deberá tener la forma de un tronco de cono con las dimensiones de la siguiente manera: $40 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro interior en la parte superior, $90 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro interior en la parte inferior y $75 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0,8 mm. La barra compactadora de metal tendrá una masa de $340 \text{ g} \pm 15 \text{ g}$ y una cara plana circular de apisonamiento de $25 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro.

d) Estufa: Una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

➤ **Procedimiento:** El procedimiento es como sigue:

a) Se colocó la muestra de ensayo en un recipiente adecuado y secó la muestra en una estufa hasta una masa constante a una temperatura de $110 \text{ }^\circ\text{C}$, se dejó enfriar el agregado hasta una temperatura de manipulación, se lo cubrió con agua y se lo dejó reposar por 24h.

b) Se decantó el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, se lo llevó a una superficie no absorbente con corriente de aire natural y se dejó evaporar la humedad superficial realizando la prueba de humedad superficial cada 20 mín.

c) Prueba de humedad superficial: Se colocó el molde cónico sobre una superficie no absorbente. Se colocó una porción del agregado fino suelto parcialmente seco en el molde llenándolo hasta el tope y amontonándolo de material adicional por encima de la parte superior del molde sujetándolo con los dedos de la mano que sostiene el molde. Ligeramente se apisonó el agregado fino en el molde con 25 golpes con la barra compactadora. Se comenzó cada golpe aproximadamente a 5 mm por encima de la superficie superior del agregado fino. Permitiendo que la barra compactadora caiga libremente bajo la atracción gravitatoria de cada golpe. Se ajustó la altura inicial de la nueva elevación de la superficie después de cada golpe y distribuyó los golpes sobre la superficie. Se retiró la arena suelta de la base y levantó el molde verticalmente. Se verificó la presencia de humedad de la superficie ya que el agregado fino conservara la forma moldeada. Luego de tres intentos más se observó una ligera caída del agregado fino moldeado lo que nos indicó que se ha llegado a un estado de superficie seca.

d) Se llenó parcialmente el picnómetro con agua. Se introdujo en el picnómetro la

muestra de agregado fino de condición saturada seca superficialmente, preparado como se describe anteriormente, y se llenó de agua adicional hasta aproximadamente el 90 % de la capacidad del recipiente. Se agitó el picnómetro, rodándolo e invirtiéndolo para eliminar las burbujas de aire visibles por un lapso de 20 minutos, se introdujo papel para sacar la espuma formada en la parte superior debido al aire atrapado y se completó con agua hasta la línea de enrase.

- e) Se determinó la masa total del picnómetro, el espécimen, y el agua.
- f) Se retiró el material del picnómetro y se lo llevó a una estufa por un lapso de 24 h, finalmente se lo dejó enfriar por aproximadamente 1 ½ h y se pesó la muestra.
- g) Se determinó la masa del picnómetro lleno hasta la línea de enrase.

➤ **Cálculos:**

a) **Peso específico.**

- **Peso específico de masa :** del agregado secado al horno, de la manera siguiente:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

A = masa de la muestra secada al horno, g

B = masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g, y

C = masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g

S = masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

- **Peso Específico en estado saturado superficialmente seco:** Calcular la gravedad específica sobre la base del agregado de superficie seca saturada, de la siguiente manera:

$$\text{Peso Especifico en estado sat. superficialmente seco} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

- **Peso específico aparente:** Calcular la gravedad específica aparente de la siguiente manera:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

b) Absorción: Calcular el porcentaje de absorción, de la siguiente manera:

$$\text{Absorción \%} = \left[\frac{(S - A)}{A} \right] \times 100$$

➤ **Expresión de resultados:** Los cálculos y resultados se encuentran en el Anexo I

3.5.9. Peso unitario

El siguiente ensayo tiene por finalidad establecer la masa por unidad de volumen o peso Unitario de los agregados en condición suelto o compactado, y calcula los vacíos entre partículas en agregados finos, gruesos o mezcla de ambos basados en la misma determinación. Este método es aplicable a los agregados que no excedan los 125 mm como tamaño máximo.

El método empleado para el desarrollo de este ensayo es el establecido en la NTP 400.017 en correspondencia con la ASTM C 29.

El método y materiales empleados para el cálculo de estos parámetros son los siguientes:

➤ **Aparatos:**

a) 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.

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. Dentro de un rango de 100 g de carga de la prueba, la diferencia entre las lecturas deberá tener una precisión de 0.1g.

b) 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.

c) **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. La capacidad del recipiente estará de conformidad con los límites del siguiente cuadro:

Tabla N°5: Capacidad de los recipientes para ensayo de Peso Unitario

Tamaño nominal máximo del agregado		Capacidad del recipiente	
Mm	Pulg	m³ (l)	p³
12.5	½	0.0028 (2.8)	1/10
25.0	1	0.0093 (9.3)	1/3
37.5	1 ½	0.0140 (14)	1/2
75	3	0.0280 (28)	1
100	4	0.0700 (70)	2 ½
125	5	0.1000 (100)	3 ½

Fuente: NTP 400.017-2011

d) **Pala o cucharón:** Una pala o cucharón de un tamaño conveniente para llenar el recipiente con el agregado.

e) **Picnómetro:** Un frasco u otro contenedor apropiado en el cual el contenido del volumen puede ser calibrado hasta $\pm 0.1 \text{ cm}^3$.

f) Calibración del equipo

i. **Placa de Vidrio:** Una placa de vidrio, aproximadamente 6 mm de espesor y al menos 25 mm mayor que el diámetro del recipiente a ser calibrado.

ii. **Grasa:** Tal como la empleada en bombas de agua, chasis o grasa similar.

iii. **Balanza:** La misma descrita en el apartado a) con precisión de 5 g.

➤ **Procedimiento:**

a) Determinación del peso específico del agua:

i. Se llenó el picnómetro hasta la línea de calibración.

ii. Se determinó la masa del picnómetro y agua con una exactitud de 1 g

iii. Se determinó la masa del picnómetro con una exactitud de 1 g

b) Calibración del recipiente:

i. Se determinó la masa del vidrio y recipiente con exactitud de 5 g.

ii. Se colocó una capa delgada de grasa sobre el borde del recipiente para prevenir la fuga del agua del recipiente.

iii. Se llenó el recipiente con agua a la temperatura ambiente y cubrirlo con la placa de vidrio de forma tal de eliminar las burbujas y el exceso de agua. Retirar cualquier molécula de agua que pueda tener sobre-fluidez al interior del recipiente o placa de vidrio.

iv. Se determinó la masa del vidrio, agua y recipiente con exactitud de 5 g.

v. Se calculó el volumen del recipiente, alternativamente, calcular el factor F del recipiente.

c) Procedimiento de apisonado:

i. Se llenó el recipiente a 1/3 del total y se niveló la superficie con los dedos. Se apisonó la capa del agregado con 25 golpes con la varilla de apisonado uniformemente distribuido sobre la superficie. Se llenó el recipiente a los 2/3 del total y se repitió el proceso anterior, finalmente se llenó el molde a sobre-volumen y se apisonó nuevamente de la forma indicada líneas arriba. Se niveló la superficie del agregado con los dedos y la varilla de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado aproximadamente quedó equilibrada con los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.

ii. En el apisonado de la primera capa, se procuró no golpear el fondo del recipiente con fuerza con la varilla. En el apisonado de la segunda y tercera capas, se usó un esfuerzo vigoroso, pero no mayor del que pueda causar la penetración de la varilla a la capa previa del agregado.

iii. Se determinó la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío y se registraron los valores con exactitud de 5 g.

d) Procedimiento para peso unitario suelto

i. Se llenó el recipiente hasta el reboce con un cucharón, descargando el agregado desde una altura aproximada de 50 mm encima del borde superior del mismo. Se Niveló la superficie del agregado con la varilla de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado aproximadamente equilibren los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.

ii. Se determinó la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío y se registraron los valores con exactitud de 5 g.

➤ **Cálculos:**

a) **Peso específico:** Calcular como sigue:

$$D = \frac{P_1 - P_2}{V}$$

Dónde:

D = Peso específico para una temperatura trabajada, kg/m³

P₁ = Masa del picnómetro y agua, kg

P₂ = Masa del picnómetro, kg

V = Volumen del picnómetro hasta la línea de calibración, m³

b) **Volumen y Factor del recipiente:** Calcular el volumen del recipiente como sigue:

$$V = \frac{(W - M)}{D}$$
$$F = \frac{D}{(W - M)}$$

Dónde:

V = Volumen del recipiente, m³

F = Factor para el recipiente, l/m³

W = Masa del agua, placa de vidrio y recipiente, kg

M = Masa de placa de vidrio y recipiente, kg

D = Densidad del agua para la temperatura trabajada, kg/m³

c) **Peso específico:** Calcular la densidad de masa por los procedimientos de apisonado o peso suelto como sigue.

$$PU = \frac{(G - T)}{V}$$
$$PU = (G - T) \times F$$

Dónde:

PU = Peso específico del agregado, kg/m³

G = Masa del recipiente y agregado, kg

T = Masa del recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m³

F = Factor para el recipiente, l/m³

d) **Contenido de vacíos:** Calcular el contenido de vacíos en el agregado usando la densidad de masa determinada por cualquiera de los procedimientos descritos como sigue:

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{\{(S \times W) - M\}}{(S \times V)} \times 100$$

Dónde:

M = Peso Unitario del agregado, kg/m³

S = Gravedad específica de masa de conformidad con el método NTP 400.021 o NTP 400.022 como corresponda

W = Peso específico del agua, kg/m³

➤ **Expresión de resultados:** Los cálculos y resultados se encuentran en el Anexo I.

3.5.10. Desgaste o abrasión del agregado grueso

Este ensayo tiene por finalidad el cálculo del desgaste del agregado grueso, para ello y de acuerdo a la granulometría se empleará el método descrito en la NTP 400.019 o su equivalente la ASTM C 131.

Tabla N° 6: Muestra requerida para el ensayo de abrasión

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

Fuente: NTP 400.019-2002

➤ **Aparatos:**

- a) **Máquina de los Ángeles:** Máquina con contador de revoluciones.
- b) **Tamices:** Los tamices serán montados sobre armaduras construidas de tal manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado. Los tamices cumplirán con la NTP 350.001 según el requerimiento de tipo de abrasión.
- c) **Esferas de acero:** De 46.38 a 47.63 mm de diámetro de peso equivalente entre 390 a 445 gr.
- d) **Estufa:** Una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- e) **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.

➤ **Procedimiento:**

- a) Se lavó el material librándolo de partículas menores al tamiz N° 12
- b) Se secó el agregado por un lapso de 24h.
- c) Se seleccionó la cantidad de material necesario según el tamaño del agregado grueso.
- d) Se procedió a colocar el material seleccionado en la máquina de los ángeles con la carga abrasiva.
- e) Luego de concluido el tiempo en que la máquina desgastó el material, se lo retiró y lavó, haciendo pasar las partículas por el tamiz N° 12.

f) Se secó el material retenido por el tamiz N° 12 durante 24 horas y se determinó su masa.

➤ **Cálculos:** Los cálculos se efectuaron como sigue:

$$\% \text{ Abrasión} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100$$

Dónde:

P1 = Masa de la muestra antes del ensayo, kg

P2 = Masa de la muestra después del ensayo, kg

➤ **Expresión de resultados:** Los cálculos y resultados se encuentran en el Anexo I.

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

Los agregados deben cumplir lo establecido por la norma NTP 400.037 o la ASTM C33, también lo descrito en la NTP 400.018, para ello se obtendrá una muestra del tamaño apropiado según la siguiente tabla:

Tabla N° 7 Cantidad mínima de muestra para partículas menores al tamiz N° 200

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 pulg)	1000
Mayor que 9.5 mm (3/8 pulg) a 19 mm (3/4 pulg)	2500
Mayor a 19 mm (3/4 pulg)	5000

Fuente: NTP 400.018-2013

➤ **Aparatos:** Se describen a continuación:

a) **Tamices:** Se utiliza el tamiz normalizado de 1,18 mm (N° 16) y el de 75 µm (N° 200), que cumplan con los requisitos de la Norma NTP 350.001.

b) **Recipientes:** Un recipiente de suficiente tamaño para contener la muestra cubierta con agua y permitir una agitación vigorosa sin pérdidas de la muestra ni el agua.

c) **Balanza:** Sensible a 0.1% del peso medido.

d) **Estufa:** Una estufa de tamaño suficiente capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

➤ **Procedimiento:**

a) Se secó la muestra de ensayo a peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, se determinó la cantidad con una aproximación al 0.1% de la masa de la muestra de ensayo.

b) Después de secar y determinar la masa, se colocó la muestra de ensayo en el recipiente y adicionó agua suficiente para cubrirla. Se agitó la muestra vigorosamente con el fin de separar completamente todas las partículas más finas que el tamiz normalizado de $75\text{ }\mu\text{m}$ (N° 200) de las partículas gruesas, y llevar el material fino a la suspensión. Se vertió inmediatamente el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre los tamices, colocando el tamiz más grueso en la parte superior.

c) Se adiciono una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente con una manguera, se agitó y decantó como antes. Se repetir esta operación hasta que el agua de lavado estuvo clara.

d) Se devolvió todo el material retenido sobre los tamices mediante un chorro de agua. Se secó el agregado lavado a peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se determinó la masa con aproximación al 0.1 % de la masa original de la muestra.

➤ **Cálculo:** Se calculó la cantidad de material que pasa el tamiz normalizado de $75\text{ }\mu\text{m}$ (N° 200) por vía húmeda tal como sigue:

$$A = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100$$

Dónde:

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

P1 = Masa seca de la muestra original, g

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

➤ **Expresión de resultados:** Los cálculos y resultados se encuentran en el Anexo I.

3.6. CARACTERÍSTICAS DE LA PUZOLANA

3.6.1. Determinación del peso específico y absorción

El peso específico de la puzolana no están normalizadas para su uso en concreto es por ello que no existe norma para determinar estos parámetros, sin embargo, se adaptaron los procedimientos descritos por la NTP 400.021 y NTP 400.022 para el cálculo del Peso Específico y la absorción de la Puzolana.

➤ **Aparatos**

a) 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. Dentro de un rango de 100 g de carga de la prueba, la diferencia entre las lecturas deberán tener una precisión de 0.1g.

b) Picnómetro: (para usarse con el procedimiento gravimétrico): Un frasco u otro contenedor apropiado en el cual la muestra de agregado fino puede ser rápidamente introducida y en el cual el contenido del volumen puede ser calibrado hasta $\pm 0.1 \text{ cm}^3$. El volumen del recipiente lleno hasta la marca será aproximadamente 50 % mayor que el espacio necesario para acomodar la muestra de ensayo. Un matraz aforado de 500 cm^3 de capacidad o un frasco de vidrio.

➤ **Procedimiento:** El procedimiento es como sigue:

a) Previamente pesada, se sumergió la puzolana en agua por un periodo de 24 h.

b) Se retiró la muestra del agua y se le secó la superficie con una franela, teniendo cuidado en no estrujar la puzolana para evitar la evaporación del agua, se determinó su masa al aire.

c) Después de la determinación de la masa en aire, se colocó inmediatamente la puzolana saturada superficialmente seca en el picnómetro y se lo llenó hasta la línea de medición y se determinó el peso total del agua introducida en el frasco con 0.1 gr de aproximación.

d) Con cuidado saque la puzolana del frasco, séquelo hasta peso constante a una temperatura de 100°C -110°C, enfríelo a temperatura ambiente en un secador y péselo.

➤ **Cálculos:**

a) **Peso específico.**

- **Peso específico:** Calcular el peso específico (gravedad específica) en base al agregado secado al horno, de la manera siguiente:

$$\text{Peso específico (Pe)} = \frac{W_0}{(V - V_a)}$$

En dónde:

W_0 = peso en el aire de la muestra secada en la estufa, gr.

V_a = peso en gr o volumen en cm^3 , del agua añadida al frasco y

V =volumen del frasco en cm^3 .

F_s =peso de la puzolana saturada superficialmente seca.

b) **Absorción:** Calcular el porcentaje de absorción, de la siguiente manera:

$$\text{Absorción \%} = \left[\frac{(F_s - W_0)}{W_0} \right] \times 100$$

➤ **Expresión de resultados:** Los cálculos y resultados se encuentran en el anexo I.

3.6.2. Preparación de la puzolana-traquita.

En base a los antecedentes estudiados, los cuales demuestran que los mejores resultados se obtuvieron con puzolana –traquita con partículas tamizadas menores a la número N° 100 , rechazándose aquellas que superaran a este tamiz. Se procedió en primer lugar a disgregar las partículas de traquita con una comba, luego en dosificaciones de peso de 2 Kg se procedió a tamizar por el tamiz N° 50 y luego por la N°100, llegando a dosificar nuestro concreto con la puzolana tamizada.

3.7. MATERIALES UTILIZADOS EN EL ESTUDIO

A continuación se describen los materiales utilizados para los diseños de mezcla del concreto reforzado con Puzolana-Traquita, teniendo en cuenta las mismas especificaciones del concreto normal.

3.7.1. AGREGADOS

3.6.1.1. AGREGADO GRUESO

Se utilizó un agregado grueso con tamaño nominal de 1 de pulgada y se encuentra dentro del huso granulométrico N° 5. El agregado grueso utilizado para la mezcla presentó un peso específico de 2.62 y un peso unitario compactado de 1490.0 Kg/m³, valores que se encuentran dentro de los rangos normales que presentan los agregados utilizados en el concreto.

3.6.1.2. AGREGADO FINO

El agregado fino que se utilizó presenta valores que pueden utilizarse en la elaboración de concretos, cuenta con un peso específico de 2.60 y peso unitario compactado de 1715. Kg/m³.

Tabla N° 8: Resumen de las propiedades de los agregados a ser empleados en la mezcla

CARACTERISTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Específico de Masa	2.60	2.62	gr/cm³
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.64	2.66	gr/cm³
Peso Unitario Suelto Seco	1530.00	1340.00	Kg/m³
Peso Unitario Compactado Seco	1715	1490	Kg/m³
Contenido de Humedad	2.25	0.33	%
Absorción	1.71	1.67	%
Módulo de Finura	2.98	7.68	
Tamaño Máximo Nominal	3/4"		
Partículas < Tamiz N° 200	3.42	0.74	%
Abrasión	-	28.36	%

3.8. CEMENTO

El cemento que se empleó para elaborar las diferentes dosificaciones de estudio Cemento Portland tipo I, de Cementos Pacasmayo S.A.A, este es un cemento de uso general que cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150, y posee un peso específico 3.12 gr/cm^3

Una de sus propiedades principales es que presenta mayor resistencia inicial debida a su óptima formulación. El cemento Tipo I desarrolla mayor resistencia a edades tempranas 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: Obras de concreto y de concreto armado en general, para estructuras que requieren rápido desencofrado concreto en clima frío, prefabricados, pavimentos y cimentaciones.

En el Anexo se presenta la ficha técnica del Cemento portland tipo I de Cementos Pacasmayo S.A.A.

3.9. AGUA

El agua utilizada para la elaboración de la mezcla del concreto permeable, es agua potable de la Universidad Nacional de Cajamarca, las cuales cumplen con la norma ASTM D-1293 / NTP 339.088.

3.10. PUZOLANA-TRAQUITA

Con el propósito de aumentar las resistencias mecánicas, en este trabajo de investigación se usara Puzolana-Traquita.

Tabla N° 9: Resumen de los datos técnicos de la Puzolana-Traquita.

DATOS TÉCNICOS	VALOR	UNIDAD
Peso específico	2.36	gr/cm^3
Absorción	6.0	%
Partículas menores al tamiz :	100	

3.11. METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DEL CONCRETO REFORZADO CON PUZOLANA-TRAQUITA.

Los datos recolectados en el laboratorio en el presente trabajo de investigación, han sido analizados y con su interpretación se formularan las conclusiones, de acuerdo a las normas Técnicas Peruanas, Normas del ACI, Normas ASTM, Pervious Pavement Organization, National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), Portland Cement Pervious Concrete Paviments.

El desarrollo de esta tesis consiste en dos etapas que se describen a continuación:

Etapa I

- Estudios de las propiedades de los agregados de la cantera “La Victoria” según las normas ASTM y NTP.
- Diseño Iniciales patrones.

Etapa II

- Al diseño inicial se le adicionara Puzolana en los porcentajes 10%, 15% y 20 % del volumen del concreto.

3.11.1. Estudios de las propiedades de los agregados de la cantera “la victoria”.

según las normas ASTM Y NTP

- Peso Específico y Absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 y ASTM C 128 / NTP 400.022
- Contenido de Humedad ASTM C 70 / NTP 339.185
- Análisis Granulométrico ASTM C 136 / NTP 400.012
- Cantidad de Material Fino que pasa el tamiz N° 200 ASTM C 117 / NTP 339.132
- Peso Unitario ASTM C 29 / NTP 400.017
- Resistencia a la Abrasión. Los Ángeles ASTM C 131 / 400.019

MATERIALES:

IP – CEMENTO TIPO I PACASMAYO

AG – AGREGADO GRUESO

AF – AGREGADO FINO

PT – PUZOLANA-TRAQUITA

Nº DE DISEÑO INICIAL: 1, 2, 3.

ETAPA II.

3.11.3. Procedimiento realizado para la inclusión de Puzolana en las proporciones.

Verificadas y obtenidas las condiciones anteriores, se realizó en las siguientes tandas, los ajustes apropiados en las proporciones, a fin de incluir los porcentajes de puzolana necesarios para la elaboración de la tesis en remplazo porcentual del peso del cemento:

Las proporciones y diseño de mezclas para los diferentes porcentajes de Puzolana se muestran en el Anexo V - Tablas de diseño.

- Dosificación Nº 01: Especímenes de concreto sin adición de Puzolana

Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento, agregados y aditivo sikacem acelerante PE pero sin la inclusión de Puzolana, para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:

- **Compresión:** C - 0% - 7d, 14d ó 28d
- **Flexión:** F - 0% - 7d, 14d ó 28d
- Dosificación Nº 02: Especímenes de concreto con adición de 10.0% de Puzolana. Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento, agregados y aditivo sikacem acelerante PE con una adición de puzolana al 10.0% del peso del cemento, para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:
 - **Compresión:** C – 10.00% - 7d, 14d ó 28d
 - **Flexión:** F – 10.00% - 7d, 14d ó 28d

- Dosificación N° 03: Especímenes de concreto con adición de 15.0% de Puzolana. Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento, agregados y aditivo sikacem acelerante PE con una adición de puzolana al 15.00% del peso del cemento, para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:
 - **Compresión:** C – 15.00% - 7d, 14d ó 28d
 - **Flexión:** F – 15.00% - 7d, 14d ó 28d
 - Dosificación N° 04: Especímenes de concreto con adición de 20.0% de puzolana.

Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento, agregados y aditivo sikacem acelerante PE con una adición de puzolana al 20.00% del peso del cemento, para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:

- **Compresión:** C – 20.0% - 7d, 14d ó 28d
- **Flexión:** F – 20.0% - 7d, 14d ó 28d.

Con cada una de las cuatro dosificaciones vistas en los acápites anteriores, se elaboraron 18 especímenes cilíndricos de concreto para ser ensayados a compresión, 18 especímenes prismáticos de concreto para ser ensayados a flexión, de los cuales cada 6 especímenes serán ensayados a la edad de 7, 14 y 28 días; por lo cual se tendrían 6 repeticiones para cada caso. Se consideró esta cantidad de repeticiones ya que la Norma NTP 339.034 establece que se deberá trabajar con un promedio mínimo de 3 probetas hermanas para considerar al promedio como consistente. Es por ello que se tomaron múltiplos de 3 para la evaluación de los especímenes.

3.11.4. Elaboración de los especímenes de concreto para los ensayos mecánicos

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:**

a) **Moldes:** 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.

b) **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.

c) **Mazo:** Con cabeza de hule de peso aproximado a 0.8 Kg.

d) **Herramientas manuales:** Palas, baldes, espátulas y alisadores de metal para la superficie del concreto, cucharones y reglas.

e) **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.

f) **Mezcladora:** Fue una mezcladora tipo trompo eléctrico de 6 pies cúbicos de capacidad.

➤ **Procedimiento:**

a) **Pasos para la realización de las mezclas**

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.

b) Pasos realizados para la elaboración de los especímenes de concreto:

1. Se colocó los moldes en una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones.
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.

8. Se colocó bolsas plásticas sobre los moldes para evitar la pérdida de humedad y tratar de mantener la temperatura.

9. Transcurridas 24 horas después de elaborar los especímenes, estos fueron sacados de los moldes y se procedió a realizar el curado estándar.

3.11.5. Curado de los especímenes de concreto.

El curado de los 156 especímenes se realizó siguiendo los procedimientos indicados en la NTP 339.183.

➤ Procedimiento

a) 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.

b) 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.

c) 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 poza de curado de concreto cubiertos 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, se cubrió la poza con una manta plástica.

3.12. VARIABLES DE EVALUACIÓN DEL ESTUDIO

Las variables que se evaluaron en esta tesis son las siguientes:

1. Asentamiento del concreto en estado fresco.
2. Peso unitario del concreto en estado fresco.
3. Peso unitario del concreto en estado endurecido.

4. Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14, 28 y 60 días.
5. Resistencia a flexión en especímenes prismáticos de concreto a la edad de 7, 14, 28 y 60 días.
6. Desarrollo de la resistencia del concreto.
7. Módulo de elasticidad del concreto.

3.12.1. Asentamiento en el concreto en estado fresco

Este ensayo se realizó bajo lo establecido en la NTP 339.035 en correspondencia a la ASTM C 143.

➤ **Aparatos:**

a) **Molde y placa:** Se utilizó un molde y placa metálicos, que no presenta reacción con la pasta de cemento, con un espesor mayor a 1.5 mm, con la forma de la superficie lateral de un cono truncado con una base de 200 mm de diámetro y la parte superior de 100 mm de diámetro con una altura de 300 mm.

b) **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.

c) **Instrumento de medida:** Se utilizó reglas de metal y wincha.

d) **Herramientas manuales:** Palas, baldes, espátulas y alisadores de metal para la superficie del concreto y cucharones.

➤ **Procedimiento:**

a) Se humedeció el molde y la plancha de acero con aceite vegetal y se colocó el molde sobre la plancha de acero en una superficie rígida y nivelada.

b) Se apoyó el molde firmemente sobre la plancha y presionando con los dos pies los estribos. Procurando no mover los pies durante el llenado con concreto.

- c) El llenado del molde se realizó en tres capas de igual volumen, la primera capa a una profundidad de 70 mm, la segunda hasta de 160 mm y la tercera hasta el borde superior del molde en esta última capa se agregó una cantidad de mezcla suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación.
- d) 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. Al compactar la última capa se mantuvo un excedente de concreto todo el tiempo.
- e) Se enrasó el concreto rodando la varilla de compactación sobre el borde del molde.
- f) Se continuó manteniendo el molde firme y se removió el concreto alrededor del área circundante de la base del molde para prevenir la interferencia en el momento del asentamiento del concreto.
- g) Se levantó el molde por encima de los 300 mm de un solo movimiento, en un solo tiempo lento.
- h) Luego se midió el asentamiento con una precisión de 5 mm desde la parte superior del molde hasta el centro desplazado de la superficie original del espécimen.

➤ **Expresión de resultados:** Los resultados se encuentran en el Capítulo IV.

3.12.2. **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**

a) **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.

b) **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.

c) 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.

d) Mazo: Con cabeza de hule de peso aproximado a 0.8 Kg.

e) Herramientas manuales: Palas, baldes, espátulas y alisadores de metal para la superficie del concreto y cucharones.

➤ **Procedimiento**

a) Se colocó los moldes en una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones.

b) 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.

c) 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.

d) 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.

e) 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.

f) 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.

g) Se limpió el exceso de concreto que quedó en la pestaña del molde.

- h) Se determinó la masa del molde más la muestra.
- i) El volumen y masa del molde se establecieron con anterioridad.

➤ **Cálculos**

a) **Peso unitario:** Se calculó este parámetro como sigue:

$$D = \frac{(M_c - M_m)}{V_m}$$

Dónde:

D = Peso Unitario del hormigón, kg/m³

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

M_m = Masa del recipiente vacío, kg

V_m = Volumen del recipiente, m³

b) **Densidad Teórica:** Este parámetro es calculado sobre una base libre de aire, se calculó como sigue:

$$T = \frac{M}{V}$$

T = Densidad teórica del hormigón, kg/m³

M = Masa total de todos los materiales en la tanda, kg

V = Volumen absoluto de los ingredientes componentes de la mezcla, m³

c) **Rendimiento:** Se calculó este parámetro como sigue:

$$Y = \frac{M}{D}$$

Dónde:

Y = Rendimiento, volumen de hormigón (concreto) producido por tanda, m³

M = Masa total de todos los materiales en la tanda, kg

D = Densidad de masa del hormigón (concreto), kg/m³

d) Rendimiento relativo: Se calculó este parámetro como sigue:

$$R_y = \frac{Y}{Y_d}$$

Dónde:

R_y = Rendimiento relativo, m³

Y = Rendimiento, volumen de hormigón (concreto) producido por tanda, m³

Y_d = Volumen de diseño de hormigón (concreto) producido por tanda, m³

e) Contenido de cemento: Se calculó este parámetro como sigue:

$$C = \frac{C_b}{Y}$$

Dónde:

C = Contenido actual del cemento, kg/m³

C_b = Masa del cemento en el lote, kg

Y = Rendimiento, volumen de hormigón (concreto) producido por tanda, m³

f) Contenido de aire: Se calculó este parámetro como sigue:

$$A = \left[\frac{(T - D)}{T} \right] \times 100$$

Dónde:

A = Contenido de aire, %

T = Masa del cemento en el lote, kg

D = Densidad de masa del hormigón, kg/m³

➤ **Expresión de resultados:** Los resultados se encuentran en el Capítulo IV.

3.12.3. Peso Unitario del concreto en estado endurecido

➤ **Aparatos:**

a) 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. 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 .

b) Vernier: Aparato de medición con lecturas que deberán tener una precisión de 0.01 mm.

c) Regla: Instrumento de metal con precisión de 0.5 mm.

➤ **Procedimiento:**

a) Dimensiones y peso de los especímenes: 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.

➤ **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.

➤ **Expresión de resultados:** Los resultados se encuentran en el Capítulo IV.

3.12.4. Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto.

Este ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.034 acorde a la ASTM C 39.

➤ **Aparatos:**

a) 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 los procesos de ensayos.

b) 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.

c) **Vernier:** Aparato de medición con lecturas que deberán tener una precisión de 0.01 mm.

d) **Regla:** De metal con aproximación de 0.5 mm.

e) **Deformímetro:** Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.

➤ **Procedimiento**

a) Los ensayos a compresión de probetas fue realizada minutos después de ser retirados de la poza de curado.

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

Tabla N°10: Tiempo de prueba de los especímenes y tolerancia

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	± 0.5 h ó 2.1 %
03 d	± 2 h ó 2.8 %
07 d	± 6 h ó 3.6 %
28 d	± 20 h ó 3.0 %
90 d	± 48 h ó 2.2 %

Fuente: NTP 339.034 - 2008

c) **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.

d) **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 móvil superior, se descendió el bloque móvil 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

e) **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.

f) **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.

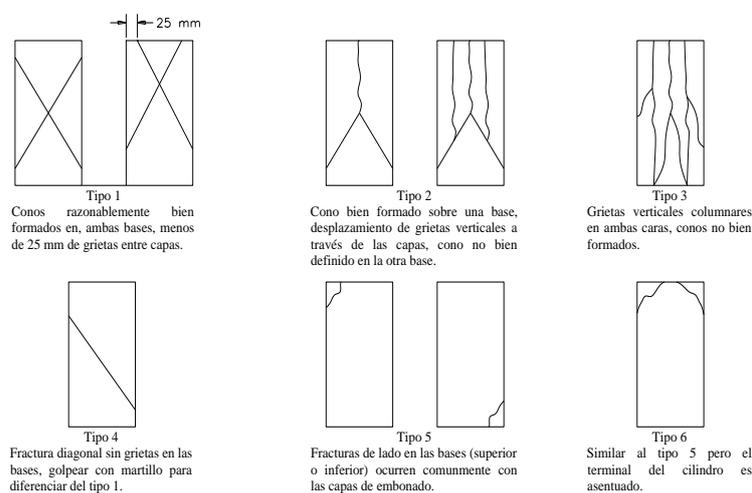


Imagen N° 4 Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura

Fuente: NTP 339.034 – 2008

➤ **Expresión de resultados:** Los cálculos y resultados se encuentran en el Anexo IX.

3.12.5. Resistencia a la flexión en especímenes prismáticos de concreto.

Este ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.079 acorde a la ASTM C 293.

➤ **Aparatos:**

a) **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 todo los procesos de ensayos.

b) Vernier: Aparato de medición con una precisión de 0.01 mm.

c) Regla: De metal con aproximación de 0.5 mm.

d) Deformímetro: Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.

➤ **Procedimiento**

a) Los ensayos a flexión de probetas fue realizada minutos después de ser retirados de la poza de curado.

b) 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.

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

d) 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.

e) 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.

➤ **Expresión de resultados:** Los cálculos y resultados se encuentran en el Anexo XII.

3.12.6. Desarrollo de la resistencia del concreto.

Como se explicó anteriormente, se elaboraron un total de 144 especímenes concreto, 72 cilíndricos y 72 prismáticos, las especificaciones de las diferentes dosificaciones de los especímenes de concreto se desarrollaron anteriormente.

Por lo descrito anteriormente, los especímenes serán probados en grupos de 6 a los 7, 14 y 28 días para cada ensayo (compresión y flexión) y para cada porcentaje de adición de puzolana (0.00%, 10.0%, 15.0% y 20.0%). Con los resultados de resistencia a los 7, 14 y 28 días, podemos determinar el desarrollo de resistencia que presentan cada una de las dosificaciones, expresando el aumento de resistencia a la edad de 28 días en porcentaje respecto a las edades de 7 y 14 días, Los resultados obtenidos de desarrollo de resistencia del concreto y análisis de estos se presentan en el Anexo XII y en el Capítulo IV.

3.12.7. Módulo de elasticidad del concreto

El módulo de elasticidad y el rango de valores de Poisson, aplicables dentro del rango de esfuerzo permitido (0- 40% de la carga ultima). Puede ser usado para el cálculo de elementos estructurales reforzados o no reforzados, para establecer la cantidad de refuerzo y el cálculo de esfuerzo máximo.

El ensayo para hallar el modulo 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.

Los puntos que definen la cuerda para la determinación del módulo de elasticidad son:

Punto de la curva esfuerzo – deformación que corresponde a una deformación unitaria de 0.5×10^{-4} y su esfuerzo correspondiente.

Punto de la curva esfuerzo – deformación que corresponde al 40% de la resistencia a la compresión y la deformación para este punto.

Donde se determina el modulo elástico.

. Los resultados obtenidos de módulo de elasticidad y análisis de estos se presentan en el Anexo XII y en el Capítulo IV.

➤ **Cálculos:**

a) Según el ACI 318S:

$$E = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c}$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad, MPa

W_c = Densidad del concreto, kg/m^3

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto, MPa

b) Según la Norma ASTM C 469:

$$E = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0.00005)$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad, MPa

S_2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última, MPa

S_1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de ϵ_2 igual a 50 millonésimas, MPa

ϵ_2 = Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S_2

➤ **Expresión de resultados:** Los cálculos y resultados se encuentran en el Anexo XII y en el Capítulo IV.

3.12.8. Uniformidad de esfuerzos a diferentes edades

Las desviaciones estándar de la resistencia a diferentes esfuerzos y edades indicarían el grado de cuidado con los que se ha realizado el experimento. Así mismo, al haber tenido un estándar de cuidado igual para todas las dosificaciones, también indicarían el grado de uniformidad de cada dosificación de concreto.

3.13. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

3.13.1. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Para recopilar la información se usaron los Métodos Cuantitativo y Cualitativo.

El Método Cuantitativo se usó para medir las variables cuantitativas de estudio de las dosificaciones de concreto elaborados; para lo cual se emplearon equipos e instrumentos del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca tales como: Máquina de ensayo a compresión y tracción universal, moldes adecuados para la elaboración y control de calidad del concreto, balanzas, calibradores, Tamices compatibles con las NTP y ASTM correspondientes.

El Método Cualitativo se usó para describir algunas propiedades o variables cualitativas de las dosificaciones de concreto elaborados, tales como: trabajabilidad del concreto, apariencia del concreto, tipo de fractura, modo de falla; para lo cual se empleó la observación directa en el laboratorio.

3.13.2. Técnicas de procesamiento y análisis de información.

La información cuantitativa que se obtuvo de las variables de estudio de las diferentes dosificaciones de concreto fue procesada mediante métodos estadísticos como la

determinación de promedios, el análisis de varianza. Para lo cual se emplearon programas computarizados como el Microsoft Excel 2013, con los que se obtuvo resultados de estos métodos y gráficas representativas.

3.13.3. Análisis de los resultados

Los resultados de los ensayos realizados están sujetos a variaciones, que indicarían la uniformidad de estos resultados y el cuidado en la realización de los ensayos. Asimismo, con estas variaciones se puede diferenciar el comportamiento de las dosificaciones de estudio mediante el análisis estadístico. Por ello se realizaron los análisis estadísticos de los resultados de las siguientes variables de evaluación: (a) Asentamiento en el concreto en estado no endurecido, (b) Peso unitario del concreto fresco, (c) Peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto endurecido, (d) Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días, (e) Resistencia a flexión en especímenes prismáticos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días, (f) Módulos de elasticidad del concreto 7, 14 y 28 días.

IV

CAPÍTULO

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

4.1. ANÁLISIS DE LA CONSISTENCIA DE LAS MEZCLAS

Se determinó el asentamiento de seis tandas de concreto para cada tipo de adición con puzolana, dos para cada tipo diferente de ensayo (compresión y flexión), luego se calculó el promedio, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 11: Asentamiento del concreto según el porcentaje de adición de Puzolana.

N° de Tanda	Adición 0% puzolana	Adición 10% puzolana	Adición 15% puzolana	Adición 20% puzolana
Tanda N° 01	9.20 cm	8.50 cm	9.50 cm	8.50 cm
Tanda N° 02	10.00 cm	10.00 cm	9.20 cm	9.50 cm
Tanda N° 03	10.80 cm	10.30 cm	8.70 cm	8.60 cm
Tanda N° 04	9.50 cm	9.80 cm	9.50 cm	8.50 cm
Tanda N° 05	10.30 cm	9.00 cm	8.60 cm	8.70 cm
Tanda N° 06	9.50 cm	8.50 cm	8.50 cm	8.80 cm
Promedio	9.88 cm	9.35 cm	9.00 cm	8.77 cm

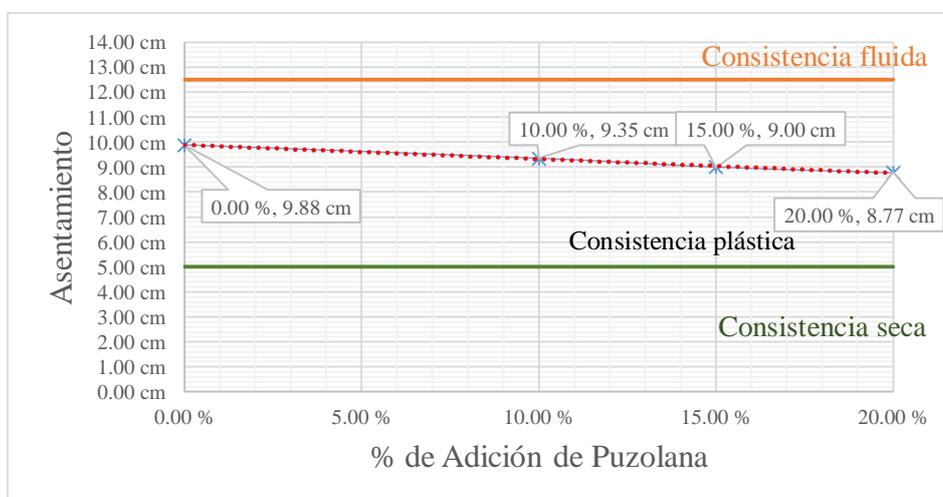


Gráfico N° 1: Asentamiento del concreto a diferentes porcentajes de adición de Puzolana.

Como se observa en la Grafico N° 1 y en la Tabla N° 11, los especímenes a diferentes porcentajes de adición de puzolana presentan diferentes asentamientos, posiblemente por las características que presentan las puzolanas (Traquita), de ligar al concreto en estado fresco. Es así que se observó que el concreto sin adición de puzolana presentó un asentamiento de 9.88 cm con una tendencia de plástica, el concreto elaborado con adición de puzolana al 10% obtuvo un asentamiento promedio de 9.35 cm con una consistencia plástica, el concreto elaborado con adición de puzolana al 15% obtuvo un asentamiento promedio de 9.0 cm ubicándose en el rango plástico, finalmente el concreto con adición de 20% obtuvo un asentamiento promedio de 8.77 cm ubicándose también en el rango plástico.

Con el análisis anterior verificamos que la relación entre el porcentaje de adición de puzolana(traquita) y la consistencia es inversamente proporcional, sin embargo ninguno de los tratamientos se ubicó fuera del rango plástico por lo que se consideran aceptables desde el punto de vista de asentamiento.

4.2. ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Se determinó el peso unitario de seis tandas de concreto para cada tipo de adición con puzolana dos para cada ensayo diferente (compresión y flexión), luego se calculó el promedio, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°12: Peso unitario del concretó en estado fresco con adición de puzolana.

N° de Tanda	Adición 0% puzolana	Adición 10% puzolana	Adición 15% puzolana	Adición 20% puzolana
Tanda N° 01	2322.89 kg/m ³	2328.01 kg/m ³	2326.98 kg/m ³	2329.34 kg/m ³
Tanda N° 02	2328.01 kg/m ³	2325.96 kg/m ³	2344.88 kg/m ³	2347.44 kg/m ³
Tanda N° 03	2347.95 kg/m ³	2349.48 kg/m ³	2327.50 kg/m ³	2318.80 kg/m ³
Tanda N° 04	2320.34 kg/m ³	2328.01 kg/m ³	2315.22 kg/m ³	2313.18 kg/m ³
Tanda N° 05	2322.89 kg/m ³	2325.96 kg/m ³	2344.88 kg/m ³	2347.44 kg/m ³
Tanda N° 06	2348.46 kg/m ³	2319.83 kg/m ³	2320.34 kg/m ³	2324.94 kg/m ³
Promedio	2331.76 kg/m³	2329.54 kg/m³	2329.97 kg/m³	2330.19 kg/m³

En la Tabla N° 12 se muestran los promedios del peso unitario del concreto en estado fresco, para los diversos porcentajes de adición de puzolana, con 0.00% se alcanzó un peso unitario de 2331.76 kg/m³, con 10% se alcanzó un peso unitario de 2329.54 kg/m³, con 15% se alcanzó un peso unitario de 2329.97 kg/m³, con 20% se alcanzó un peso unitario de 2330.19 kg/m³, este valor es cercano al que la bibliografía recomienda que es de aproximadamente 2300 kg/m³.

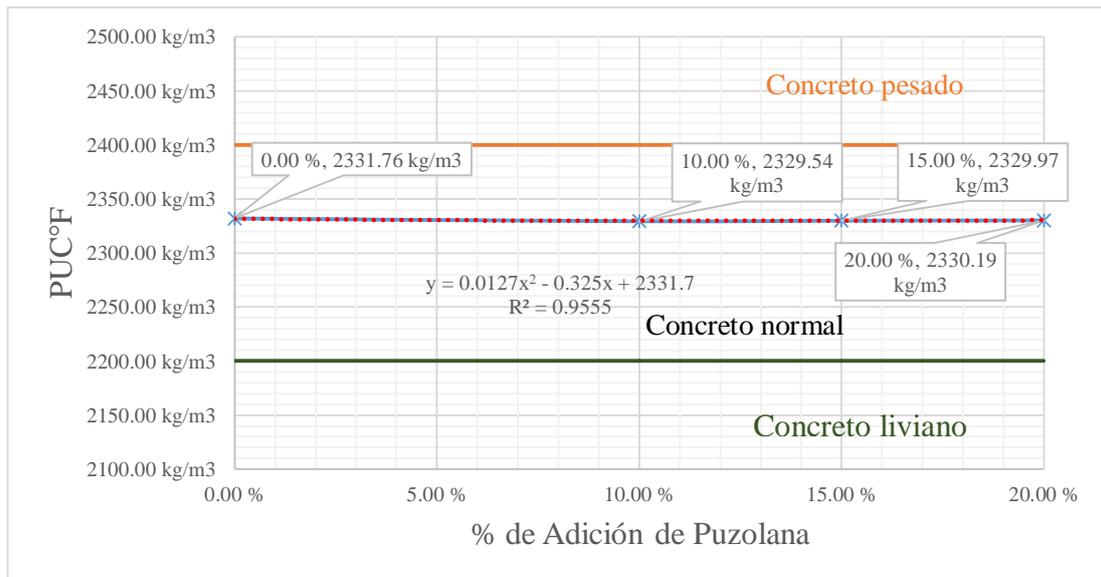


Gráfico N° 2: Peso Unitario del concreto en estado fresco a diferentes porcentajes de adición de puzolana

En el Gráfico N°2 se muestra que la adición de puzolana no influye significativamente en el peso unitario del concreto en estado fresco, ya que todos los promedios se encuentran dentro del rango teóricamente establecido para concretos normales (2200kg/m³– 2400kg/m³).

4.3. ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Se determinó el peso unitario de todos los especímenes de concreto para cada porcentaje de adición de puzolana, los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla N°13: Peso unitario del concreto en estado endurecido a los 28 días con diferentes porcentajes de adición de puzolana.

Espécimen	PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO			
	0.00%	10.00%	15.00%	20.00%
C01	2314.98 kg/m ³	2340.99 kg/m ³	2319.56 kg/m ³	2311.73 kg/m ³
C02	2324.41 kg/m ³	2327.04 kg/m ³	2322.57 kg/m ³	2294.94 kg/m ³
C03	2321.62 kg/m ³	2328.58 kg/m ³	2333.09 kg/m ³	2278.27 kg/m ³
C04	2340.38 kg/m ³	2344.77 kg/m ³	2317.05 kg/m ³	2325.44 kg/m ³
C05	2351.46 kg/m ³	2332.62 kg/m ³	2316.92 kg/m ³	2330.21 kg/m ³
C06	2344.07 kg/m ³	2332.34 kg/m ³	2344.33 kg/m ³	2315.43 kg/m ³
F01	2330.37 kg/m ³	2337.99 kg/m ³	2366.08 kg/m ³	2316.42 kg/m ³
F02	2317.82 kg/m ³	2337.42 kg/m ³	2299.59 kg/m ³	2352.46 kg/m ³
F03	2317.82 kg/m ³	2353.01 kg/m ³	2345.58 kg/m ³	2343.71 kg/m ³
F04	2344.15 kg/m ³	2328.41 kg/m ³	2298.38 kg/m ³	2347.13 kg/m ³
F05	2345.80 kg/m ³	2346.45 kg/m ³	2313.29 kg/m ³	2337.83 kg/m ³
F06	2364.09 kg/m ³	2320.12 kg/m ³	2312.73 kg/m ³	2317.88 kg/m ³
PROMEDIO	2334.75 kg/m ³	2335.81 kg/m ³	2324.10 kg/m ³	2322.62 kg/m ³

En la Tabla N° 13 se muestra que el promedio de los pesos unitarios del concreto endurecido a diferentes porcentajes de adición de puzolana (traquita), obtenido a partir de la determinación del peso y medidas de los especímenes ensayados, el peso unitario promedio del concreto en estado endurecido fue de 2334.75 kg/m³, 2335.81 kg/m³, 2324.10 kg/m³, 2322.62 kg/m³, cercano al valor que la bibliografía recomienda que es aproximadamente de 2300 kg/m³.

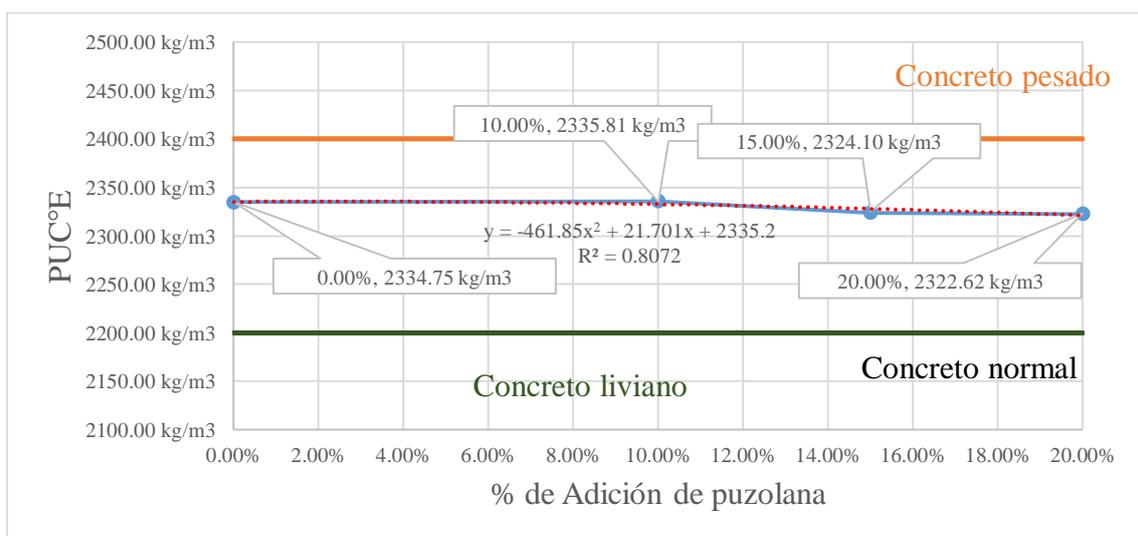


Gráfico N° 3: Peso unitario del concreto en estado endurecido a diferentes porcentajes de adición de puzolana.

En el Grafico N° 3 se muestra que la adición de puzolana no influye significativamente en el peso unitario del concreto en estado endurecido, ya que todos los promedios se encuentran dentro del rango teóricamente establecido para concretos normales ($2200\text{kg/m}^3 - 2400\text{kg/m}^3$).

4.4. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESIÓN

Se determinó la resistencia de 90 especímenes de concreto a diferentes edades y adiciones de puzolana en grupos de 6 especímenes:

Tabla N° 14: Promedio de ensayos a compresión a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana.

Promedio de ensayos a compresión					variación de la resistencia a los 28 días	variación de la resistencia a los 60 días
% de Adición de Puzolana	Edad de ensayo					
	7 días	14 días	28 días	60 días		
0.00%	200.75 Kg/cm ²	238.39 Kg/cm ²	268.15 Kg/cm ²	-	0.00%	-
10.00%	232.34 Kg/cm ²	276.84 Kg/cm ²	314.70 Kg/cm ²	333.19 Kg/cm ²	17.36%	24.26%
15.00%	212.73 Kg/cm ²	252.70 Kg/cm ²	287.00 Kg/cm ²	302.69 Kg/cm ²	7.03%	12.88%
20.00%	206.29 Kg/cm ²	244.21 Kg/cm ²	274.71 Kg/cm ²	290.31 Kg/cm ²	2.45%	8.26%

En la Tabla N° 14 se observa que la resistencia a compresión del concreto según la edad de ensayo va incrementándose independientemente del porcentaje de adición de puzolana, también se verifica que la resistencia a compresión del concreto con adición de diversos porcentajes de puzolana muestra un incremento significativo en relación a los especímenes base (sin adición), se puede observar finalmente que la resistencia a compresión del concreto al adicionar puzolana en porcentajes de 10% va aumentando, pero al llegar al 15% y 20% la resistencia a compresión cae.

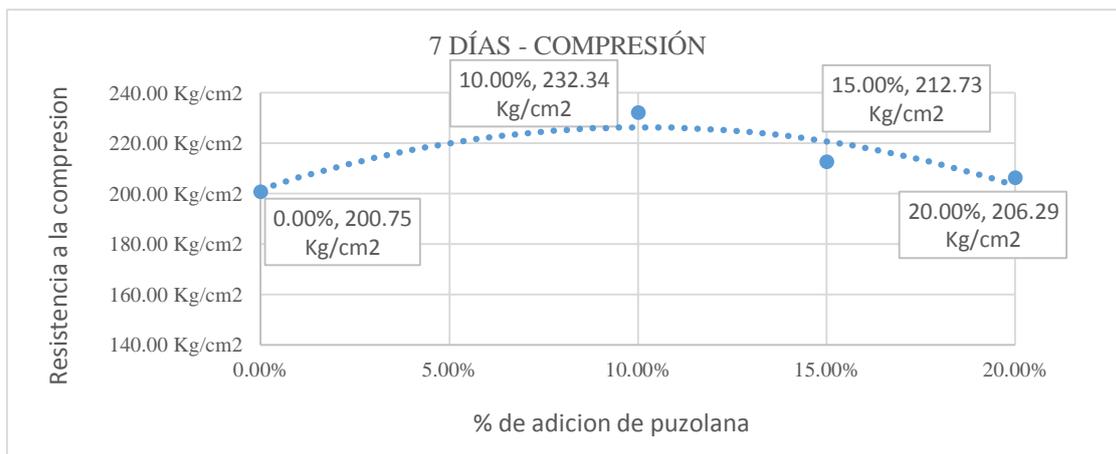


Gráfico N° 4: Promedio de ensayos a compresión, a edad de siete días y diferentes porcentajes de adición de puzolana

En el Grafico N° 4 se desarrolla la resistencia a compresión del concreto a 7 días de ensayo y diferentes porcentajes de adición de puzolana, en este gráfico se puede observar que ante la adición de puzolana, los especímenes de concreto aumentaron su resistencia a la compresión, se ve también la caída significativa que tiene la resistencia a compresión del concreto a una adición de 20% de puzolana, comprobándose que a edades iniciales las adiciones superiores a este porcentaje no contribuirán en el incremento de la resistencia a compresión del concreto.

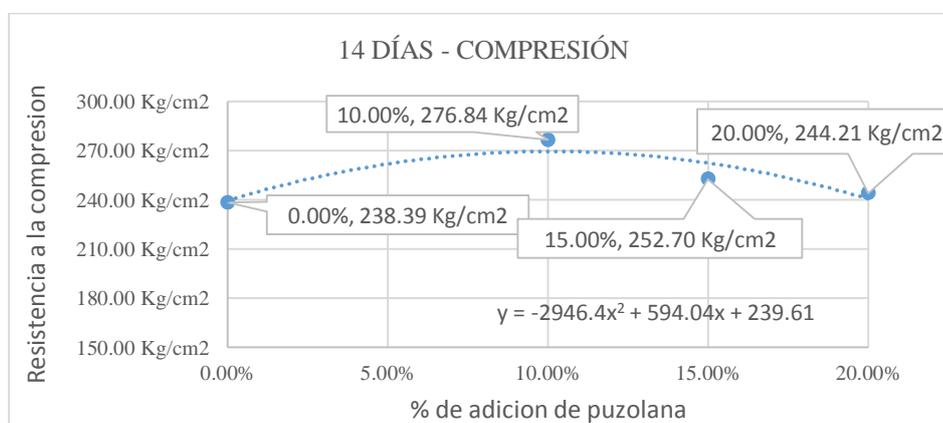


Gráfico N° 5: Promedio de ensayos a compresión, a edad de catorce días y diferentes porcentajes de adición de puzolana

En el Grafico N° 5 se desarrolla la resistencia a compresión del concreto a 14 días de ensayo y diferentes porcentajes de adición de puzolana, en este gráfico se puede observar que ante la adición de puzolana, los especímenes de concreto aumentaron su resistencia a la compresión, se verifica también que la adición de 10% y 15% de puzolana presenta una mejoría en el comportamiento frente a la compresión en relación

a una adición de 0%, se observa también una caída leve de la resistencia a compresión del concreto con una adición de 20% con respecto al 15% de puzolana.

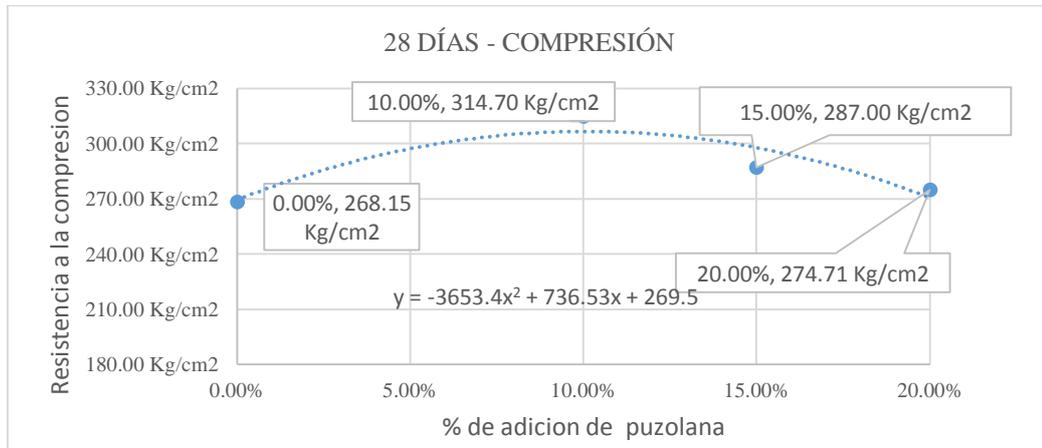


Gráfico N° 6: Promedio de ensayos a compresión, a edad de veintiocho días y diferentes porcentajes de adición de puzolana traquita.

En el **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Grafico N° 6 se desarrolla la resistencia a compresión del concreto a 28 días de ensayo y diferentes porcentajes de adición de puzolana, en este gráfico se puede observar que ante la adición de puzolana, los especímenes de concreto aumentaron su resistencia a la compresión, se verifica también que no existe un incremento significativo entre especímenes elaborados con una adición de 0% y 15% de puzolana, se observa una caída de la resistencia a compresión del concreto con una adición de 20% de puzolana.

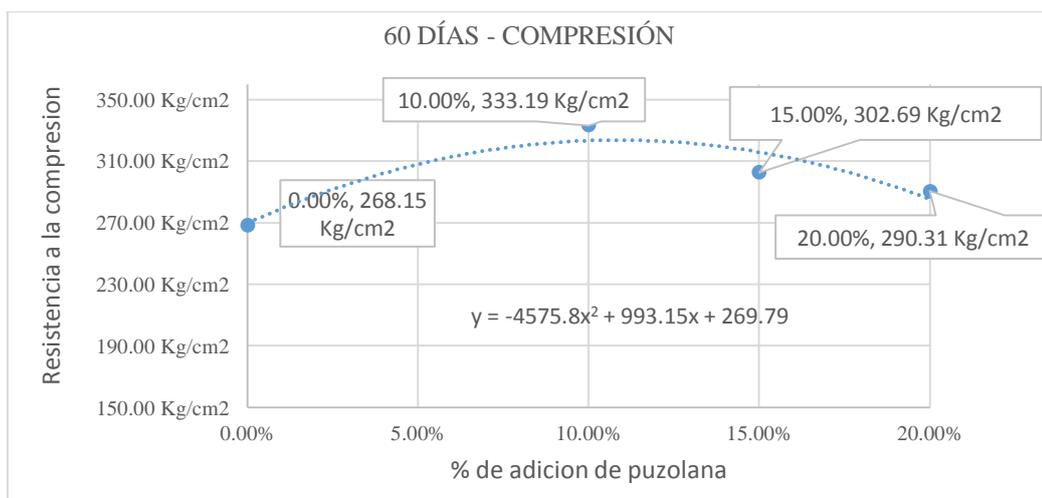


Gráfico N° 7: Promedio de ensayos a compresión, a edad de veintiocho días y diferentes porcentajes de adición de puzolana traquita.

En el **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Grafico N° 7 se desarrolla la resistencia a compresión del concreto a 28 días de ensayo y diferentes porcentajes de adición de puzolana, en este gráfico se puede observar que ante la adición de puzolana, los especímenes de concreto aumentaron su resistencia a la compresión, se verifica también que no existe un incremento significativo entre especímenes elaborados con una adición de 0% y 15% de puzolana, se observa una caída de la resistencia a compresión del concreto con una adición de 20% de puzolana.

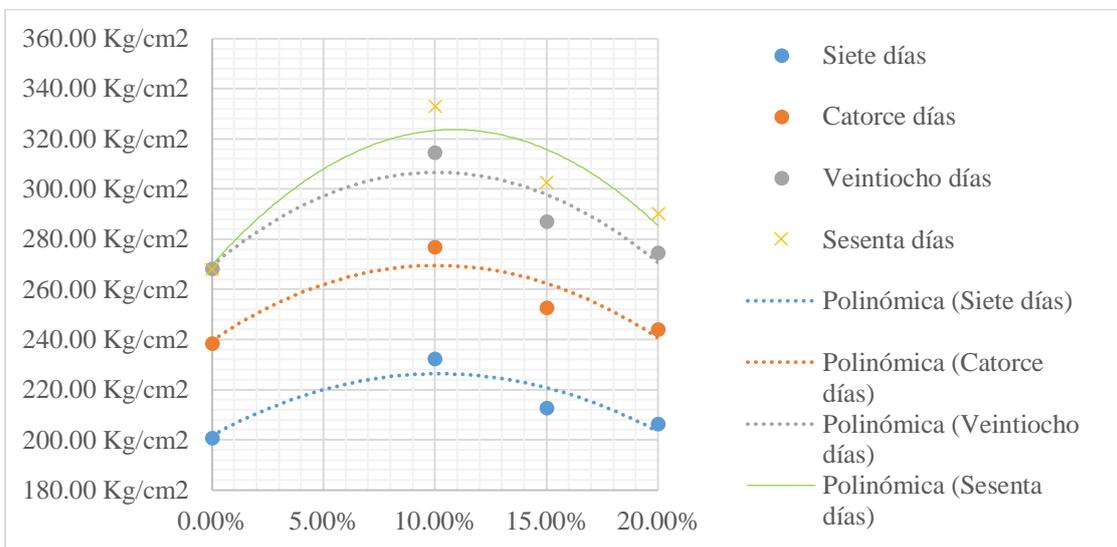


Gráfico N° 8: Consolidado de los promedios de ensayos a compresión, a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana

En el Grafico N° 8 se desarrolla el consolidado de los promedios de ensayos a compresión, a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana, en este gráfico se puede observar que existe un incremento considerable en la resistencia de siete a catorce días que va disminuyendo de catorce a veintiocho días. A una adición del 20% de puzolana disminuye la resistencia en sus diferentes edades.

4.5. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A FLEXIÓN

Se determinó la resistencia de 90 especímenes de concreto a diferentes edades y adiciones de puzolana en grupos de 6 especímenes:

Tabla N° 15: Promedio de ensayos a flexión a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana.

Promedio de ensayos a flexión					variación de la resistencia a los 28 días	variación de la resistencia a los 60 días
% de Adición de Puzolana	Edad de ensayo					
	7 días	14 días	28 días	60 días		
0.00%	35.61 Kg/cm ²	38.07 Kg/cm ²	43.34 Kg/cm ²	43.34 Kg/cm ²	0.00%	-
10.00%	37.22 Kg/cm ²	41.38 Kg/cm ²	45.89 Kg/cm ²	47.76 Kg/cm ²	5.88%	10.20%
15.00%	36.79 Kg/cm ²	40.19 Kg/cm ²	44.61 Kg/cm ²	46.23 Kg/cm ²	2.94%	6.67%
20.00%	36.62 Kg/cm ²	39.09 Kg/cm ²	44.36 Kg/cm ²	45.63 Kg/cm ²	2.35%	5.29%

En la tabla N°15 se observa que la resistencia a flexión del concreto según la edad de ensayo va incrementándose dependiendo del porcentaje de adición de puzolana, también se verifica que la resistencia a flexión del concreto a los 28 días con una adición de 10% de puzolana muestra un incremento de 5.88%, un incremento de 2.94% con una adición de 15% de puzolana, con una adición de 20% llega a un incremento del 2.35% en función de los especímenes base, comparado con el concreto a la edad de 60 días con incremento de resistencias de 10.20%, 6.67%, 5.29% respecto a 10.0%, 15.0% y 20.0%.

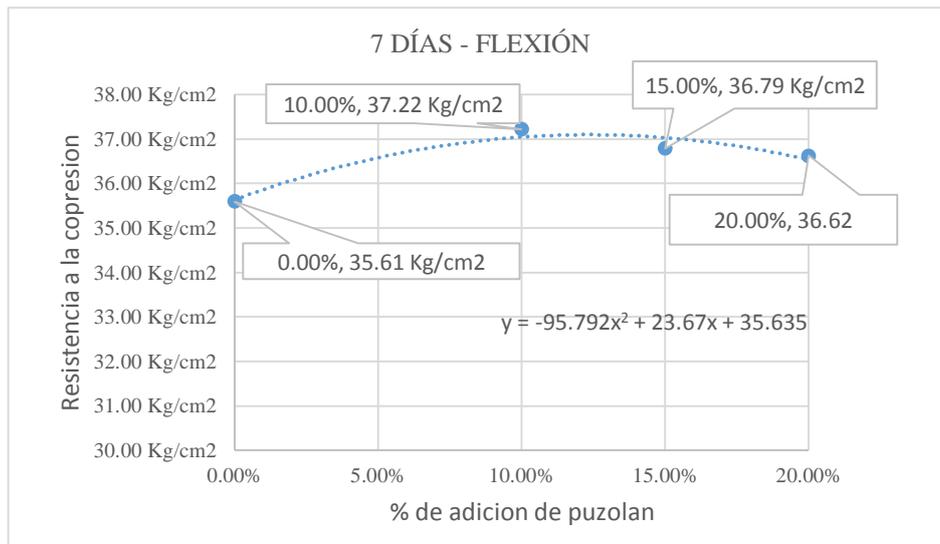


Gráfico N° 9: Promedio de ensayos a flexión, a edad de siete días y diferentes porcentajes de adición de puzolana

En el Gráfico N° 9 se desarrolla la resistencia a flexión del concreto a 7 días de ensayo y diferentes porcentajes de adición de puzolana, en este gráfico se puede observar que ante la adición de puzolana, los especímenes de concreto aumentaron su resistencia a la flexión, alcanzando la máxima resistencia a una adición de 10% de puzolana.

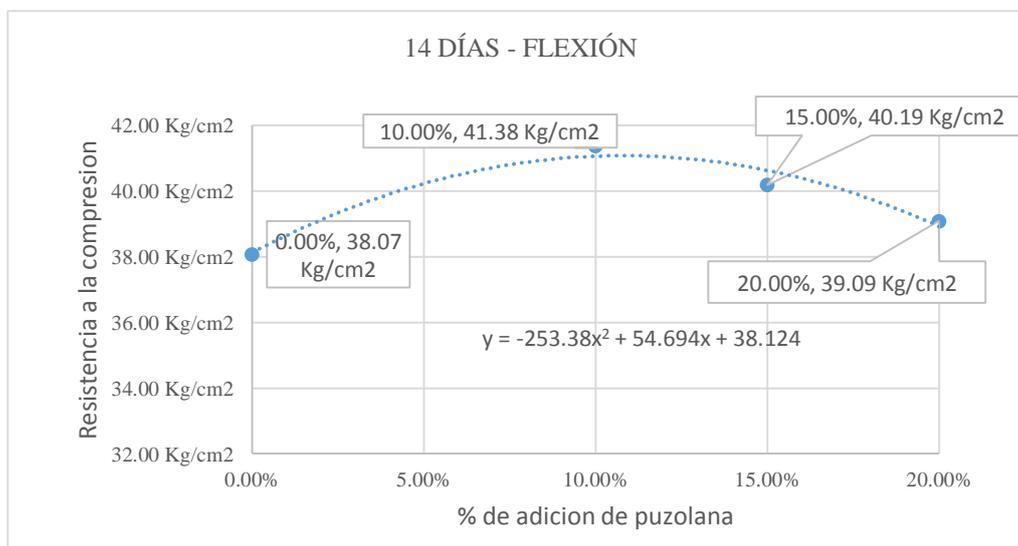


Gráfico N° 10: Promedio de ensayos flexión, a edad de catorce días y diferentes porcentajes de adición de puzolana

En el Gráfico N° 10 se desarrolla la resistencia a flexión del concreto a 14 días de ensayo y diferentes porcentajes de adición de puzolana, en este gráfico se

puede observar que ante la adición de puzolana, los especímenes de concreto aumentaron su resistencia a la flexión, alcanzando la máxima resistencia a una adición de 10% de puzolana.

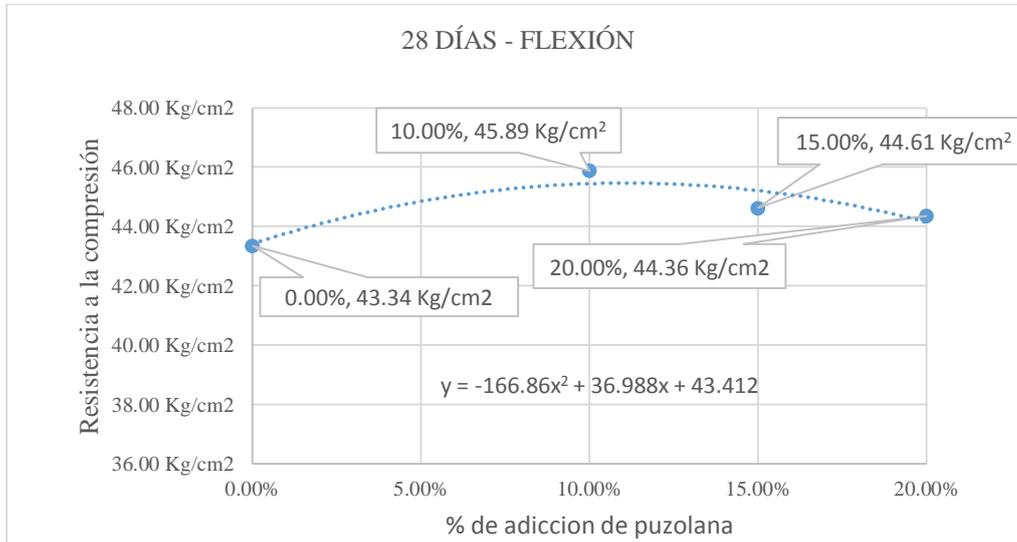


Gráfico N° 11 Promedio de ensayos a flexión, a edad de veintiocho días y diferentes porcentajes de adición de puzolana

En el Grafico N° 11 se desarrolla la resistencia a flexión del concreto a 28 días de ensayo y diferentes porcentajes de adición de puzolana, en este gráfico se puede observar que ante la adición de puzolana, los especímenes de concreto aumentaron su resistencia a la flexión, alcanzando la máxima resistencia a una adición de 10%.

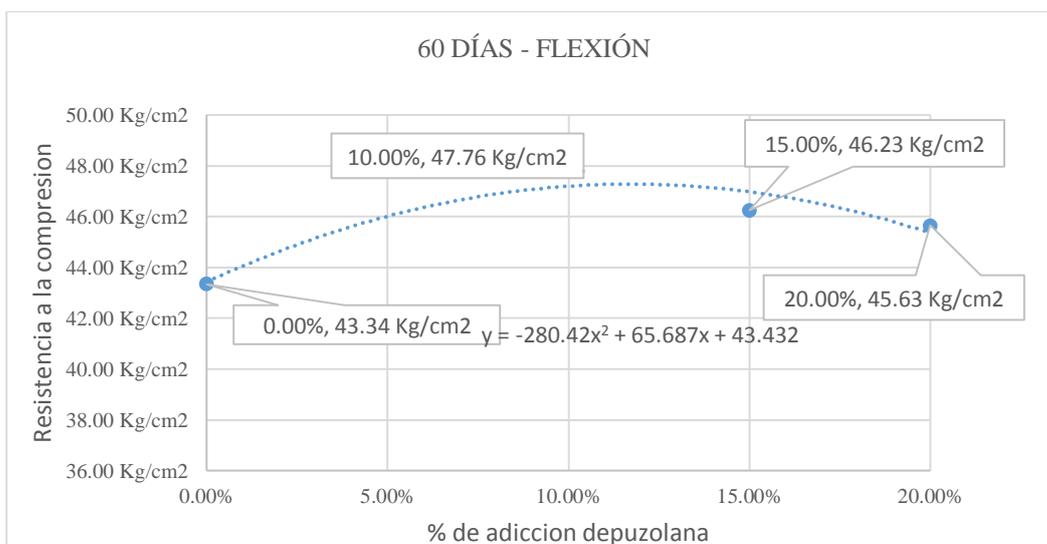


Gráfico N° 12 Promedio de ensayos a flexión, a edad de sesenta días y diferentes porcentajes de adición de puzolana

En el Grafico N° 12 se desarrolla la resistencia a flexión del concreto a 28 días de ensayo y diferentes porcentajes de adición de puzolana, en este gráfico se puede observar que ante la adición de puzolana, los especímenes de concreto aumentaron su resistencia a la flexión, alcanzando la máxima resistencia a una adición de 10%.

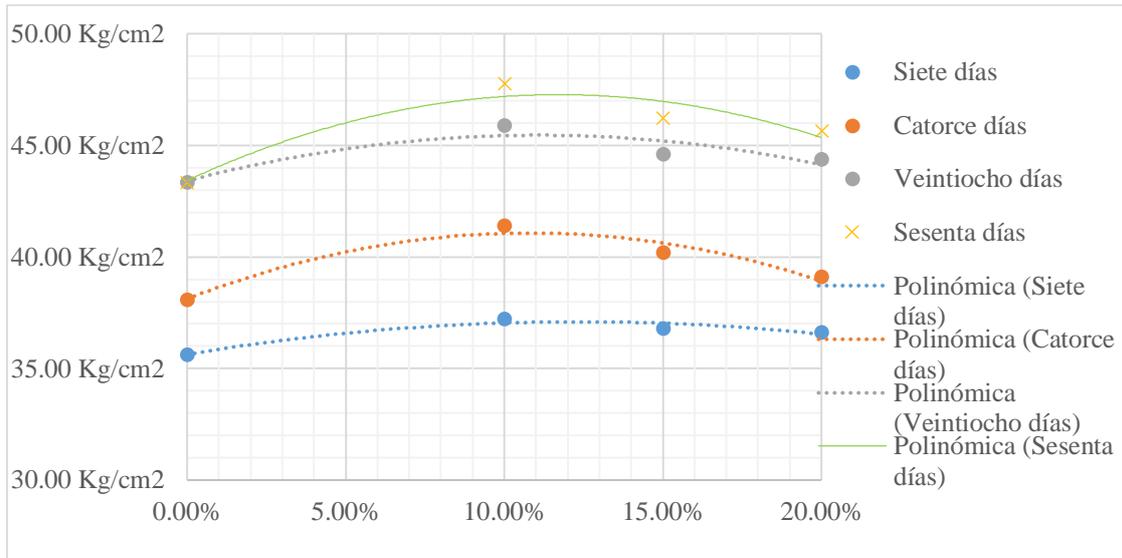


Gráfico N° 13: Consolidado de los promedios de ensayos a flexión, a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana.

En el Grafico N° 13 se desarrolla el consolidado de los promedios de ensayos a flexión, a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana, en este gráfico se puede observar que el concreto posee incremento dependiendo de la edad de ensayo para adiciones de puzolana traquita al 10% , sin embargo a 15% y 20% de adición de traquita, las resistencias a siete y catorce están muy cercanas en comparación a la resistencia a los veintiocho días.

4.6. ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.

Se determinó el módulo de elasticidad a través de los métodos establecidos por el ACI 318 y la norma ASTM C469 para las diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana, los datos promedio se muestran en las siguientes tablas:

Tabla N° 16: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana, método ACI 318

Módulo de elasticidad del concreto método ACI 318				Variación a los 28 días
Porcentaje de Adición de puzolana	Edad de ensayo			
	Siete días	Catorce días	Veintiocho días	
0.00%	219366.72 Kg/cm ²	238128.07 Kg/cm ²	253338.72 Kg/cm ²	0.00%
10.00%	237009.35 Kg/cm ²	260034.10 Kg/cm ²	274718.99 Kg/cm ²	8.44%
15.00%	225552.67 Kg/cm ²	246100.56 Kg/cm ²	260873.30 Kg/cm ²	2.97%
20.00%	223908.28 Kg/cm ²	242164.98 Kg/cm ²	252536.33 Kg/cm ²	-0.32%

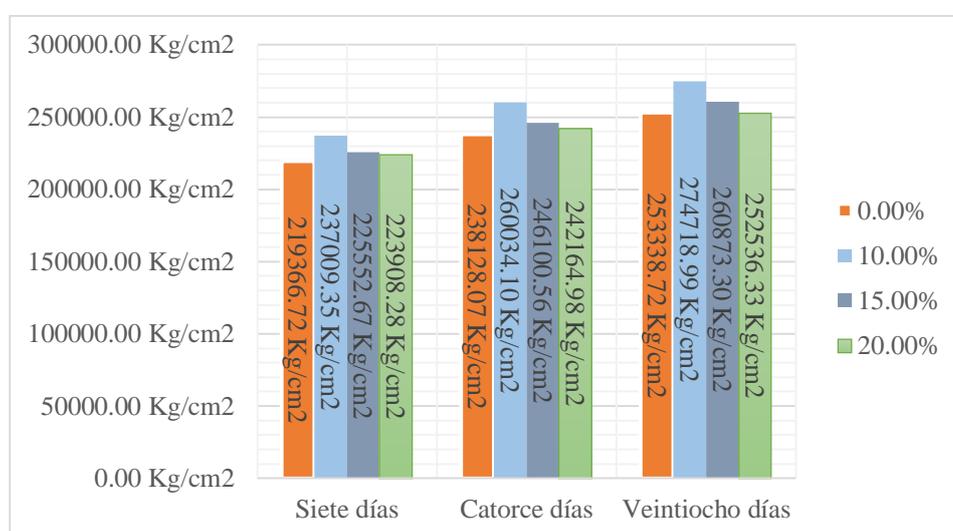


Gráfico N° 14: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana, método ACI 318

En la Tabla N° 16 y en el Gráfico N° 14 se puede observar la variación del módulo de elasticidad del concreto a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana obtenido mediante lo descrito por el reglamento ACI 318, se observa que para las diferentes edades el módulo de elasticidad crece con una tendencia promedio de 1.43% para adiciones de puzolana de 10%,15% y 20%.

Tabla 17: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana, método ASTM 469

Módulo de elasticidad del concreto método ASTM C469				Variación a los 28 días
Porcentaje de Adición de Puzolana	Edad de ensayo			
	Siete días	Catorce días	Veintiocho días	
0.00%	22750.61 Kg/cm ²	22553.24 Kg/cm ²	22906.70 Kg/cm ²	0.00%
10.00%	24841.96 Kg/cm ²	25911.69 Kg/cm ²	26310.94 Kg/cm ²	14.86%
15.00%	25150.52 Kg/cm ²	25891.04 Kg/cm ²	25109.03 Kg/cm ²	9.61%
20.00%	24139.34 Kg/cm ²	25253.38 Kg/cm ²	26043.04 Kg/cm ²	13.69%

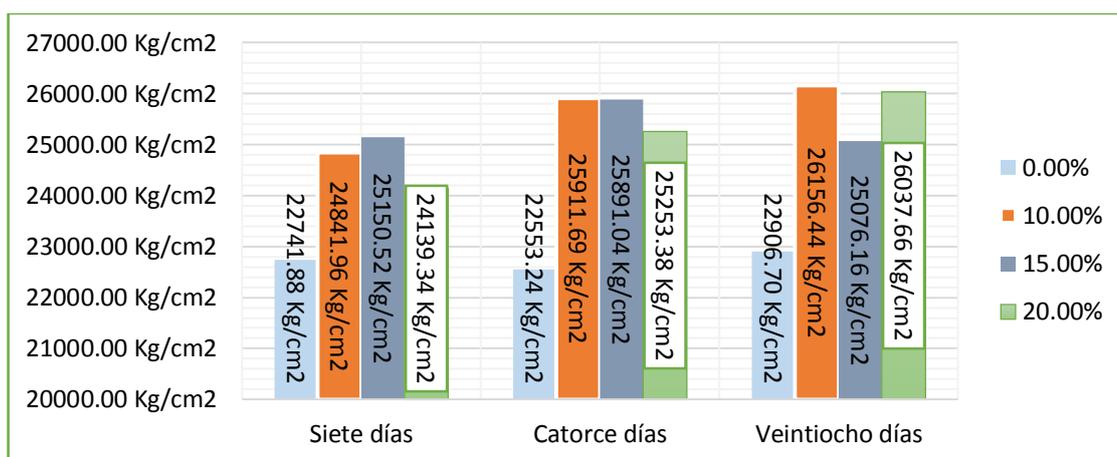


Gráfico N° 15: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana, método ASTM 469

En la Tabla N° 17 y el Gráfico N° 15 se puede observar la variación del módulo de elasticidad del concreto a diferentes edades y porcentajes de adición de puzolana obtenido mediante lo descrito por la ASTM C 469, mediante este método se obtienen módulos de elasticidad del orden del 9.69% aproximadamente en relación a los obtenidos por el método descrito en el reglamento ACI 318. Esto se debe a que los resultados de deformaciones obtenidos en laboratorio, no solamente muestran la deformación que sufre el concreto al ser comprimido, sino también la que sufren las almohadillas de neopreno usadas como cabeceadores para los ensayos a compresión, obteniendo de esta manera deformaciones excesivas que influyen en las gráficas de las curvas de esfuerzo vs deformación, de las cuales se obtienen los parámetros para determinar el módulo de elasticidad.

4.7. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

- Se verificó que el concreto con adición de puzolana traquita incrementa su resistencia a los esfuerzos de compresión y flexión, pues el concreto con adición de puzolana de 10% tuvo un incremento de 24.26 % en compresión y 10.20 % en flexión; el concreto con adición de 15% de puzolana tuvo un incremento de 12.88 % en compresión y 6.67 % en flexión, el concreto con adición de 20% de puzolana tiene un incremento de 8.26% en compresión y 5.29 % en flexión, estos valores son referios a ensayos a la edad de 60 días .

V

CAPÍTULO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los agregados usados tienen un peso específico de 2.60 g/cm^3 y modulo de finura de 2.98 para agregado fino así mismo un peso específico de 2.62 g/cm^3 y modulo de finura de 7.68 para agregado grueso.
- La puzolana volcánica posee un peso específico de 2.36 g/cm^3 y absorción de 6.0%.
- El porcentaje óptimo de adición de puzolana volcánica fue del 10 % en relación al peso del cemento para cemento Pacasmayo tipo I.
- La resistencia a la compresión se incrementó en un orden de 24.26%, 12.88%, 8.26%, con adiciones de puzolana volcánica de 10%, 15% y 20% en reemplazo del peso de cemento a la edad de 60 días.
- La resistencia a la flexión se incrementó en un orden de 10.20%, 6.67%, 5.29%, con adiciones de puzolana volcánica de 10%, 15% y 20% en reemplazo del peso de cemento a la edad de 60 días.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se realice trabajos similares con un porcentaje menor al 10% de adición de puzolana volcánica.
- Evaluar la resistencia a compresión y flexión a una mayor edad.
- Realizar investigaciones con otros tipos de cementos y puzolanas existentes en Cajamarca.
- Difundir todas estas investigaciones para que estos productos sean requeridos en el mercado, de esta manera mejorar la calidad del concreto para sus diferentes usos.

VI

CAPÍTULO

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

6.1. TESIS:

1. Quiñones Lorenzana, Luis Ángel –Evaluación Experimental del Efecto de la sustitución de cemento portland por la adición mineral 2T 1.5 en la resistencia a compresión de mezclas de concreto. Tesis de la Universidad de San Carlos de Guatemala. (2010).
2. Sánchez Stasiw, Carol. (2008), Tesis de la Universidad de Ciencias Aplicadas Lima-Perú. Estudio Experimental del Empleo de Diatomita en la Producción de Concreto de Alto Desempeño.
3. Jaigua Romero Byron Javier, Vasquez Urgiles, Santiago Esteban – Universidad de Cuenca- Sede Cuenca (2010). Estudio de Hormigones de altas prestaciones utilizando áridos y cemento local, cenizas volcánicas naturales u súper-plastificante.
4. Cáceres G .I “Utilización de Residuos de Procesos Industriales en Hormigón”. Hormigonar, Noviembre del 2012, pp. 10.
5. Héctor Pérez Loayza M.en I. --- El Concreto Fibroreforzado-bondades y limitaciones.
6. Comisión Permanente del Hormigón. “Nueva Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08”. Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento, Anejo 14, pp-505-525.
7. Rivva López, Enrique: “Diseño de Mezclas”, Lima – Perú, Edit. Hozlo S.C.R.L., 1999.

6.2. NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS

- a. 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).
- b. 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).
- c. 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).
- d. 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).
- e. TP 339.070:1982 HORMIGÓN (CONCRETO). Toma de muestras de agua para la preparación y curado de morteros y hormigones de cemento portland.
- f. 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).
- g. 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).
- h. NTP 400.011:1976 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos R. 758-76 (1976).
- i. NTP 400.012:2001 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 2a. ed. R. 71-2001-INDECOPI-CRT (2001-07-17).
- j. 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).
- k. 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 Angeles. 2a. ed. R. 7-2002-INDECOPI-CRT (2002-02-09).

- l. 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).
- m. 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).
- n. NTP 400.037:2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto) R. 13-2002-INDECOPI-CRT (2002-02-27).

NORMAS AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM)
ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org

CEMENTO

- o. ASTM C150-07 Standard Specification for Portland cement.
- p. ASTM C188-95 (2003) Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.
- q. ASTM C595-08 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.

AGREGADOS

- r. ASTM C127-07 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- s. ASTM C128-07a Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- t. ASTM C131-06 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- u. ASTM C136-06 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- v. ASTM C227-03 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method).

- w. ASTM C289-07 Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method).
- x. ASTM C29/C29M-07 Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate.
- y. ASTM C295-03 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.
- z. ASTM C33-07 Standard Specification for Concrete Aggregates.
- aa. ASTM C40-04 Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete.
- bb. ASTM C535-03e1 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- cc. ASTM C566-97(2004) Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.
- dd. ASTM C586-05 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method).
- ee. ASTM D75-03 Standard Practice for Sampling Aggregates.

VII

CAPÍTULO

ANEXOS

7.1. ANEXO I: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.

Tabla N° 18: Ensayo de partículas menores al tamiz N° 200 del agregado grueso

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03
PESO DEL MATERIAL SECO ANTES DEL ENSAYO (gr.)	5291.90	5127.90	5044.70
PESO DEL MATERIAL SECO DESPUÉS DEL ENSAYO (gr.)	5254.70	5088.10	5006.70
PESO DE LAS PARTÍCULAS MENORES AL TAMIZ N° 200	37.20	39.80	38.00
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS MENORES AL TAMIZ N° 200	0.70%	0.78%	0.75%
PROMEDIO	0.74%		

Tabla N° 19: Ensayo de partículas menores al tamiz N° 200 del agregado fino

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03
PESO DEL MATERIAL SECO ANTES DEL ENSAYO (gr.)	2284.45	2193.90	2081.70
PESO DEL MATERIAL SECO DESPUÉS DEL ENSAYO (gr.)	2204.90	2120.50	2010.35
PESO DE LAS PARTÍCULAS MENORES AL TAMIZ N° 200	79.55	73.40	71.35
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS MENORES AL TAMIZ N° 200	3.48%	3.35%	3.43%
PROMEDIO	3.42%		

Tabla N° 20: Ensayo N° 01 de granulometría del agregado grueso

ASTM C 136 / NTP 400.012

ENSAYO N° 01 AGREGADO GRUESO					
MALLA		PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
NOMENCLATURA	ABERTURA (mm)				
1 1/2	38.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1	25.000	630.90	7.89%	7.89%	92.11%
3/4	19.000	4826.90	60.34%	68.23%	31.77%
1/2	12.500	2442.60	30.53%	98.76%	1.24%
3/8	9.50	81.70	1.02%	99.78%	0.22%
CAZOLETA	-	17.90	0.22%	100.00%	0.00%
TOTAL		8000	100%		

MG =	7.68
-------------	------

Tabla N°21 Ensayo N° 02 de granulometría del agregado grueso

ASTM C 136 / NTP 400.012

MALLA		PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
NOMENCLATURA	ABERTURA (mm)				
1 1/2	38.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1	25.000	607.40	7.59%	7.59%	92.41%
3/4	19.000	4955.80	61.95%	69.54%	30.46%
1/2	12.500	2320.30	29.00%	98.54%	1.46%
3/8	9.50	101.50	1.27%	99.81%	0.19%
CAZOLETA	-	15.00	0.19%	100.00%	0.00%
TOTAL		8000	100%		

MG =	7.69
-------------	------

Tabla N° 22: Ensayo N° 03 de granulometría del agregado grueso.

ASTM C 136 / NTP 400.012

MALLA		PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
NOMENCLATURA	ABERTURA (mm)				
1 1/2	38.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1	25.000	645.90	8.07%	8.07%	91.93%
3/4	19.000	4642.20	58.03%	66.10%	33.90%
1/2	12.500	2617.80	32.72%	98.82%	1.18%
3/8	9.50	80.50	1.01%	99.83%	0.17%
CAZOLETA	-	13.60	0.17%	100.00%	0.00%
TOTAL		8000	100%		

MG =	7.66
-------------	------

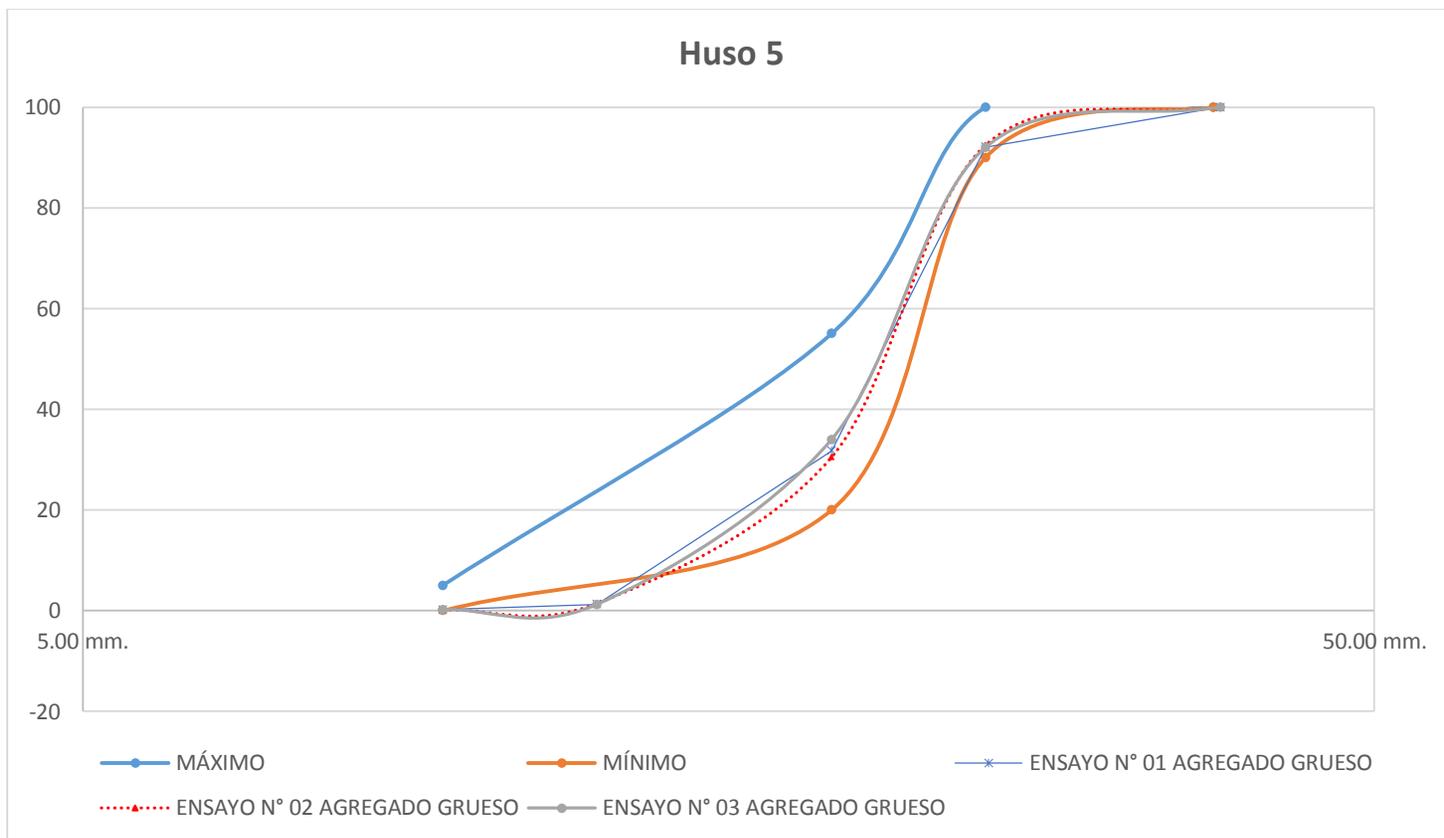


Gráfico N° 16: Requisito granulométrico del agregado grueso.

Fuente: Elaboración base a la NTP 400.037

Tabla N° 23: Ensayo N° 01 de granulometría del agregado fino

ENSAYO N° 01 AGREGADO FINO					
MALLA		PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
NOMENCLATURA	ABERTURA (mm)				
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 04	4.760	106.40	6.08	6.08	93.92
N° 08	2.380	233.30	13.33	19.41	80.59
N° 16	1.190	237.60	13.58	32.99	67.01
N° 30	0.60	377.80	21.59	54.58	45.42
N° 50	0.297	514.80	29.42	83.99	16.01
N° 100	0.149	218.60	12.49	96.49	3.51
CAZOL.		61.50	3.51	100.00	0.00
TOTAL		1750.00	100.00		

MF =	2.94
-------------	-------------

Tabla N°24: Ensayo N° 02 de granulometría del agregado fino

ENSAYO N° 02 AGREGADO FINO					
MALLA		PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
NOMENCLATURA	ABERTURA (mm)				
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 04	4.760	92.50	5.29	5.29	94.71
N° 08	2.380	267.10	15.26	20.55	79.45
N° 16	1.190	263.50	15.06	35.61	64.39
N° 30	0.60	314.20	17.95	53.56	46.44
N° 50	0.297	543.30	31.05	84.61	15.39
N° 100	0.149	202.00	11.54	96.15	3.85
CAZOL.		67.40	3.85	100.00	0.00
TOTAL		1750.00	100.00		

MF =	2.96
-------------	-------------

Tabla N° 25: Ensayo N° 03 de granulometría del agregado fino

ENSAYO N° 03 AGREGGADO FINO					
MALLA		PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
NOMENCLATURA	ABERTURA (mm)				
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 04	4.760	99.20	5.67	5.67	94.33
N° 08	2.380	243.50	13.91	19.58	80.42
N° 16	1.190	293.00	16.74	36.33	63.67
N° 30	0.60	387.40	22.14	58.46	41.54
N° 50	0.297	478.20	27.33	85.79	14.21
N° 100	0.149	213.20	12.18	97.97	2.03
CAZOL.		35.50	2.03	100.00	0.00
TOTAL		1750.00	100.00		

MF =	3.04
-------------	-------------

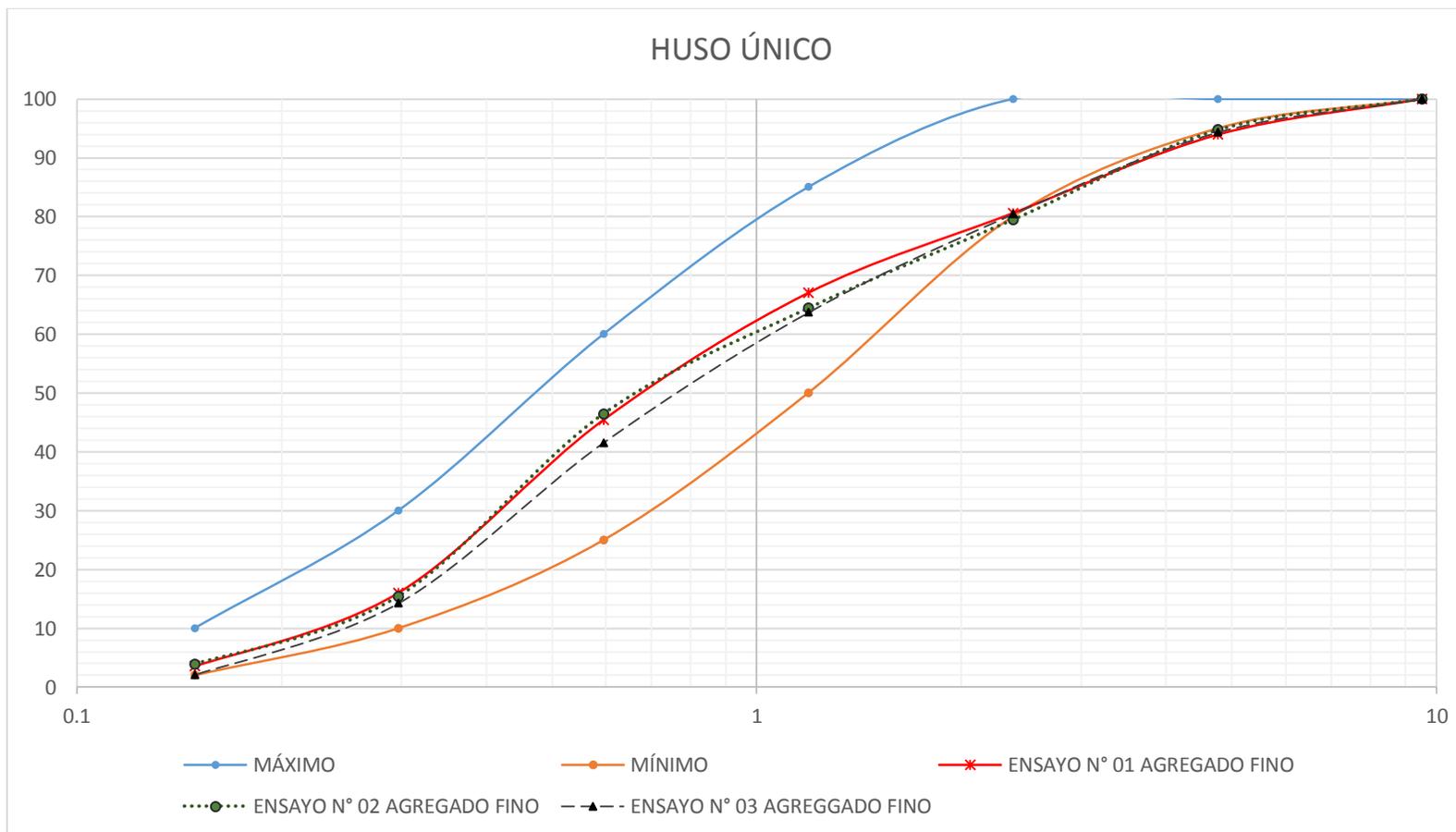


Gráfico N° 17: Requisito granulométrico del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia en base a la NTP 400.037

Tabla N° 26: Peso específico del agregado grueso

ITEM	FÓRMULA	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03	PROMEDIO
Peso de la Muestra Seca (A)	-----	5040.00 gr	5265.00 gr	5060.00 gr	-----
Peso Saturado Superficialmente Seco (B)	-----	5125.00 gr	5352.00 gr	5145.00 gr	-----
Peso de la Muestra en Agua (C)	-----	3220.00 gr	3290.00 gr	3233.00 gr	-----
GRAVEDAD ESPECÍFICA EN ESTADO SECO AL HORNO	$\frac{A}{(B - C)}$	2.65	2.55	2.65	2.62 gr/cm ³
GRAVEDAD ESPECÍFICA EN ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	$\frac{B}{(B - C)}$	2.69	2.60	2.69	2.66 gr/cm ³
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	$\frac{A}{(A - C)}$	2.77	2.67	2.77	2.73 gr/cm ³
ABSORCIÓN	$\frac{(B - A)}{A}$	1.69%	1.65%	1.68%	1.67%

Tabla N°27: Peso específico del agregado fino

ENSAYO N°	1°	2°	3°	Promedio
Wo = Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)	492.400	490.600	491.800	----
V = Volumen del frasco (cm³)	500.000	500.000	500.000	----
Va = Peso en (gr) o Volumen en (cm³) del agua añadida al frasco	310.700	311.100	310.900	----
a. Peso específico de masa $P_e = W_o / (V - V_a)$	2.601	2.597	2.601	2.600
b. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P_{esss} = 500 / (V - V_a)$	2.641	2.647	2.644	2.644
c. Peso específico aparente $P_{ea} = W_o / [(V - V_a) - (500 - W_o)]$	2.710	2.733	2.719	2.721
d. Absorsion $Abs = [(500 - W_o) / W_o] * 100$	1.543	1.916	1.667	1.710

Tabla N° 28: Peso específico del agua para ensayo de peso específico de los agregados

Peso Específico del Agua Para Ensayo Densidad de Masa del Agregado				
Item	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Promedio
Peso de Fiola + Agua (gr)	654.200	654.400	654.300	654.300
Peso de Fiola (gr)	158.200	158.200	158.200	158.200
Peso de Agua (gr)	496.000	496.200	496.100	496.100
Volumen de Agua (cm³)	500.000	500.000	500.000	500.000
Peso Específico del Agua (gr/cm³)	0.992	0.992	0.992	0.992

Tabla N°29: Factor agua para ensayo de peso específico de los agregados

Factor Agua (f) Para Ensayo de Densidad de Masa del Agregado				
Item	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Promedio
Peso del Molde + Vidrio (gr)	5076.00	5076.00	5076.00	5076.00
Peso del Molde + Vidrio + Agua (gr)	14770.00	14770.00	14770.00	14770.00
Peso de Agua (gr)	9694.00	9694.00	9694.00	9694.00
Peso Específico del Agua (gr/cm³)	0.992	0.992	0.992	0.992
Volumen del Molde (cm³)	9770.21	9770.21	9770.21	9770.21
Factor de agua f (cm⁻³)	0.0001024	0.0001024	0.0001024	0.0001024

Tabla N° 30: Peso unitario del agregado grueso en estado seco suelto

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03	PROMEDIO
PESO DEL MOLDE (gr)	4200	4200	4200	4200.00
PESO DEL MOLDE + AGREGADO (gr)	17290	17280	17305	17291.67
PESO DE AGREGADO (gr)	13090	13080	13105	13091.67
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm³)	9770.21	9770.21	9770.21	9770.21
PESO ESPECÍFICO UNITARIO EN ESTADO SECO SUELTO (Kg/m³)	1340.000	1339.000	1341.000	1340.000

Tabla N° 31: Peso unitario del agregado grueso en estado seco compactado

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03	PROMEDIO
PESO DEL MOLDE (gr)	4200	4200	4200	4200.00
PESO DEL MOLDE + AGREGADO (gr)	18740	18780	18760	18760.00
PESO DE AGREGADO (gr)	14540	14580	14560	14560.00
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm³)	9770.21	9770.21	9770.21	9770.21
PESO ESPECÍFICO UNITARIO EN ESTADO SECO COMPACTADO (Kg/m³)	1488.000	1492.000	1490.000	1490.000

Tabla N° 32: Peso unitario del agregado fino en estado seco suelto

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03	PROMEDIO
PESO DEL MOLDE (gr)	4200	4200	4200	4200.00
PESO DEL MOLDE + AGREGADO (gr)	19120	19170	19155	19148.33
PESO DE AGREGADO (gr)	14920	14970	14955	14948.33
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm³)	9770.21	9770.21	9770.21	9770.21
PESO ESPECÍFICO UNITARIO EN ESTADO SECO SUELTO (Kg/m³)	1527.000	1532.000	1531.000	1530.000

Tabla N° 33: Peso unitario del agregado fino en estado seco compactado

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03	PROMEDIO
PESO DEL MOLDE (gr)	4200	4200	4200	4200.00
PESO DEL MOLDE + AGREGADO (gr)	20960	20980	20940	20960.00
PESO DE AGREGADO (gr)	16760	16780	16740	16760.00
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm³)	9770.21	9770.21	9770.21	9770.21
PESO ESPECÍFICO UNITARIO EN ESTADO SECO COMPACTADO (Kg/m³)	1715.000	1717.000	1713.000	1715.000

Tabla N° 34: Porcentaje de vacíos del agregado.

ITEM	Agregado Grueso	Agregado Fino
Peso específico unitario en estado seco suelto (kg/m ³)	1340.00	1530.00
Peso específico unitario en estado seco compactado (kg/m ³)	1490.00	1715.00
Gravedad específica de masa (gr/cm ³)	2.62	2.60
Densidad del agua (kg/m ³)	992.20	992.20
Vacíos en base al agregado suelto (%)	48%	41%
Vacíos en base al agregado compactado (%)	43%	34%
Vacios del agregado combinado (0.45* AF +0.55 * AG)	39%	

Tabla N° 35: Resistencia a la abrasión del agregado grueso

TAMICES		RETENIDO EN		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
ABERTURA	PASA					
1 1/2"	37.5 mm	1"	25.4mm	1244	1248	1252
1"	25.4mm	3/4"	19.0mm	1246	1252	1256
3/4"	19.0mm	1/2"	12.7mm	1257	1254	1248
1/2"	12.7mm	3/8"	9.51 mm	1260	1256	1252
TOTAL:				5007	5010	5008

ITEM	FÓRMULA	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03	PROMEDIO
PESO DE TARA + MUESTRA ANTES DE ENSAYO (gr)	B	5007.00	5010.00	5008.00	-----
PESO DE TARA + MUESTRA DESPUÉS DE ENSAYO (gr)	C	3562.60	3620.40	3580.80	-----
ABRASIÓN	B/C*100	28.85%	27.74%	28.50%	28.36%

7.2. ANEXO II: PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA PUZOLANA-TRAQUITA.

Tabla N° 36: Peso específico puzolana volcánica (traquita).

ENSAYO N°	1°	2°	3°	Promedio
Wo = Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)	90.200	83.000	87.500	----
V = Volumen del frasco (cm ³)	500.000	500.000	500.000	----
Va = Peso en (gr) o Volumen en (cm ³) del agua añadida al frasco	461.700	465.000	462.800	----
FS: Peso de puzolana volcánica saturada superficialmente seca (gr).	95.600	88.000	92.800	
a. Peso específico de masa $P_e = W_o / (V - V_a)$	2.355	2.371	2.352	2.360
d. Absorsion $Abs = [(500 - W_o) / W_o]*100$	5.987	6.024	6.057	6.000

7.3. ANEXO III: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO



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



SGC-REG-06-G0002
 Versión 01

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
 Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO3	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.73	Máximo 1.5

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

Resistencia Compresión :

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

Tiempo de Fraguado Vicat :

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

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016
 La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016
 (*) Requisito opcional.

Ing. Ivanoff V. Rojas Tello
Superintendente de Control de Calidad

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

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

7.4. ANEXO IV: FICHA TÉCNICA DE SIKA® CEM ACELERANTE .PE

BUILDING TRUST



HOJA TÉCNICA

Sika® Cem Acelerante PE

Acelerante de fragua y resistencias para mezclas de Concreto Y Mortero

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Aditivo líquido de acción acelerante sobre tiempo de fraguado y resistencias mecánicas del concreto.

Cumple norma ASTM 494, tipo C.

USOS

Sika® Cem Acelerante PE debe usarse cuando se requiera:

Obtener concreto con altas resistencias a temprana edad, reducir el tiempo de desencofrado y facilitar el rápido avance de las obras, colocar concreto en ambiente frío o efectuar reparaciones rápidas en todo tipo de estructuras.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- El Sika® Cem Acelerante PE reduce los tiempos de desencofrado.
- Se obtienen resistencias más altas a temprana edad.
- Pronto uso de estructuras nuevas.
- Rápida puesta en uso de estructuras reparadas.
- Sika® Cem Acelerante PE contrarresta el efecto del frío sobre las resistencias y el fraguado.
- Aumenta los rendimientos en la elaboración de prefabricados.

NORMAS

ESTÁNDARES

Sika® Cem Acelerante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo C.

DATOS BÁSICOS

FORMA

COLORES

Transparente tonalidad amarilla.

PRESENTACIÓN

- Envase PET x 4 L
- Balde x 20 L

ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL Un año en lugar fresco y bajo techo en su envase original bien cerrado.
DATOS TÉCNICOS	DENSIDAD 1.38 kg/L +/- 0.01 USGBC VALORACIÓN LEED Sika® Cem Acelerante PE cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants. Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)
INFORMACIÓN DEL SISTEMA	
DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO / DOSIS Dependiendo del grado de aceleramiento deseado, Sika® Cem Acelerante PE se dosifica del 1% al 4% del peso del cemento (aproximadamente de 300 mL a 1200 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg). De acuerdo con nuestra experiencia y como una guía en el uso de Sika® Cem Acelerante PE, se puede decir que con una dosificación del 4% se obtienen resistencias mecánicas a 3 días equivalentes a 7 días y a 7 días las equivalentes a 15 días. Este efecto puede variar con el tipo y la edad del cemento, como también con la temperatura del ambiente. Recomendamos hacer ensayos previos para determinar la dosificación óptima en cada caso.
MÉTODO DE APLICACIÓN	MODO DE EMPLEO Sika® Cem Acelerante PE viene listo para usarse, agregándose al agua de mezcla. PRECAUCIONES Limpie todas las herramientas y equipos de aplicación con agua inmediatamente después de su uso. Los datos técnicos indicados en esta hoja técnica están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.
BASES	Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.
RESTRICCIONES LOCALES	Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.
Información de Seguridad e Higiene	Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

7.5. ANEXO V: CERTIFICADO DE DESARROLLO DE TESIS EN LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

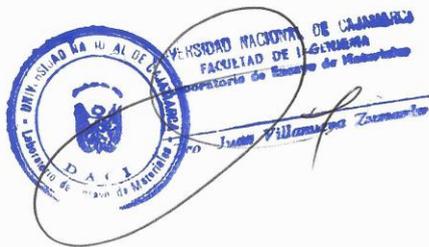
"Norte de la Universidad Peruana"
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero 1962
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

EL QUE SUSCRIBE: JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CAJAMARCA.

CERTIFICA

Que el bachiller en Ingeniería Civil **COLLANTES QUISPE, Elmer**; identificado con DNI: 45045653, ex alumno de la escuela académico profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha registrado su asistencia a este laboratorio entre los periodos de Junio a Diciembre del 2016, dicho alumno ha realizado durante este periodo los ensayos necesarios para el desarrollo de la tesis titulada "**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE PUZOLANA VOLCÁNICA EN CAJAMARCA**", dichos resultados obran en este laboratorio para las consultas necesarias.

Se expide el presente certificado a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.



7.6. ANEXO VI: CERTIFICADO DE LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE LA PUZOLANA VOLCÁNICA



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS - ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: *696826 CELULAR : 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS DE UNA MUESTRA DE MINERAL

SOLICITA : Elmer Collantes Quispe
PROCEDENCIA : Llagamarca - Baños del Inca - Cajamarca - Cajamarca
MUESTRA : M-1 Puzolana Volcánica (Traquita)
FECHA : 12/01/2017

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Sílice (como SiO ₂)	:	45 %
Aluminio (como Al ₂ O ₃)	:	24 %
Fierro (como Fe ₂ O ₃)	:	7 %
Calcio (como CaO)	:	1.2 %
Magnesio (como MgO)	:	2.4 %
Sodio (como Na ₂ O)	:	0.8 %
Potasio (como K ₂ O)	:	2.3 %
Pentaóxido de Fosforo (P ₂ O ₅)	:	0.09 %
Perdida por Ignición	:	6 %
Sulfato (como SO ₃)	:	0.36 %
Sulfato soluble en agua (g/L como SO ₄)	:	1.3
pH	:	9.8

Nota: La muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado, para su análisis respectivo.


Hugo Mosquera Estrada
Ingeconsult & Lab S.R.L.
I.Q. CIP 27064

7.7. ANEXO VII: TABLAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

Tabla N° 37: Resistencia a la compresión promedio

TABLA PARA HALLAR EL f'_{cr} CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACION ESTANDAR	
Resistencia especificada a la compresión kg/cm^2	Resistencia promedio requerida a la compresión kg/cm^2
$f_c < 210$	$f'_{cr} = f_c + 71$
$210 \leq f_c \leq 350$	$f'_{cr} = f_c + 85$
$f_c > 350$	$f'_{cr} = 1.10 f_c + 50$

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E-060

Tabla N° 38: Requerimientos de agua en l/m^3 y contenido de aire del concreto para los tamaños nominales máximos del agregado grueso y consistencia indicada

Tipo de concreto	Asentamiento	TMN del agregado grueso							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Sin aire incorporado	0" - 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
	3" - 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
	> 5"	243	228	216	202	190	178	160	-
	Contenido de aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Con aire incorporado	0" - 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
	3" - 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
	> 5"	216	205	197	184	174	166	154	-
	Contenido de aire total	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: Rivva (2014)

Tabla N°39: Relación agua/cemento del concreto por resistencia

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm^2) f'_{cr}	RELACIÓN AGUA / CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Rivva (2014)

Tabla N°40: Módulo de finura de la combinación de agregados

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de finura de la combinación de los agregados para los contenidos de cemento en saco / m ³ indicados.			
	6.00	7.00	8.00	9.00
3 / 8 "	3.96	4.04	4.11	4.19
1 / 2 "	4.46	4.54	4.61	4.89
3 / 4 "	4.96	5.04	5.11	5.19
1 "	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2 "	5.56	5.64	5.71	5.79
2 "	5.86	5.94	6.01	6.09
3 "	6.16	6.24	6.31	6.38

Nota: Estos valores están referidos al agregado grueso, adecuadamente graduado con un contenido de vacíos del orden del 35% .Los valores deben incrementarse o disminuirse en porcentaje de vacíos. 0.1 por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos (Rivva, 2014)

7.8. ANEXO VIII: DISEÑO DE MEZCLAS

Tabla N° 41: Diseño de mezcla de concreto empleada para correcciones

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO					
PROYECTO :					
UBICACIÓN :					
SOLICITANTE :					
FECHA : 17/04/2016					
CEMENTO : PACASMAYOI			PESO ESPECIFICO = 3.12 gr/cm3		
PROCEDENCIA DE AGREGADOS :			F'c = 250 Kg/cm2		
AGREG. FINO			F'or = 335.00 Kg/cm2		
AGREG. GRUI					
CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS					
	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL			3/4"		
P. ESPECIFICO DE MASA	2.60	gr/cm3	2.62	gr/cm3	
PESO UNITARIO SUELTO	1530		1340	Kg/m3	
PESO UNITARIO COMPACTADO	1715		1490	Kg/m3	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2.25		0.33		
ABSORCION (%)	1.71		1.67		
MODULO DE FINURA	2.98		7.68		
ABRASION (%)			28.36		
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200	3.42		0.74		
EN CASO DE USAR ADITIVOS :					
	(NOMBRE ADITIVO, MARCA)	%	P.E. gr/cm3	0.049	0.501
ADITIVO 1:	PUZOLANA VOLCANICA	0	2.36	350	0.48
ADITIVO 2:	SIKACEM ACELERANTE PE	3.896471	1.38	300	0.55
ASENTAMIENTO = 3" - 4"					
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO = 193 Lt/m3					
AIRE TOTAL (%) = 2.0					
RELACION A/Mc = 0.50					
CEMENTO = 386.00 Kg/m3 9.08 Bolsas/m3					
METODO VOLUMENES ABSOLUTOS :					
ADITIVO 1 =	0.000	m3	0.16		
ADITIVO 2 =	0.000	m3			
CEMENTO =	0.124	m3			
AGUA DE MEZCLADO =	0.193	m3			
AIRE (%) =	0.020	m3			
SUMA =	0.337	m3			
MODULO DE COMBINACION : 5.42					
% AGREGADO FINO = 48.17					
% AGREGADO GRUESO = 51.83					
PORTE HUMEDAD AGREGADO					
PUZOLANA 0.00					
APORTE AF = 4.49					
APORTE AG = -12.07					
TOTAL = -7.59					
VOLUMEN DE AGREGADOS = 0.663 m3					
AGREGADO FINO SECO =	831.000	Kg/m3	319.6153846		
AGREGADO GRUESO SECO =	901.000	Kg/m3	343.89		
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	386.00	Kg	CEMENTO	386.00	Kg
AGUA DE DISEÑO	193.00	Lt	AGUA EFECTIVA	200.6	Lt
AGREGADO FINO SECO	831.00	Kg	AGREGADO FINO HUMEDO	850.00	Kg
AGREGADO GRUESO SECO	901.00	Kg	AGREGADO GRUESO HUMEC	904.00	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%	AIRE TOTAL	2.00	%
ADITIVO 1	0.000	kg	ADITIVO 1	0.000	kg
ADITIVO 2	0.000	kg	ADITIVO 2	0.000	kg

Tabla N° 42: Corrección por agua adicional, apariencia, asentamiento y contenido de aire de los agregados

Determinación de las características de la mezcla de prueba				metodo de los volúmenes	
aparición	:	Normal		3120	0.00247436
asentamiento	:	7	cm	1000	0.00396708
agua adicional:		100	ml	2600.00	0.00653846
contenido de aire:		1.02		2620.00	0.00690076
peso unitario de concreto en estado fresco	:			2335.50	0.01988066
tanda de mezclado					
cemento	:	7.72	Kg/tanda		
agua añadida	:	4.11	lt/tanda		
agregado fino humedo	:	17	Kg/tanda		
agregado grueso humedo	:	18.08	Kg/tanda		
peso tanda	:	46.91	Kg/tanda		
rendimiento de la tanda	:	0.02008634	m ³ /tanda		
agua d emezclado por tanda					
aporte del agregado fino	:	0.098			
aporte del agregado grueso	:	-0.242			
agua añadida	:	4.112			
agua de mezclado por tanda	:	3.97			
Agua de mezclado por m³ corregida por agua adicional.					
Asentamiento deseado	:		9	cm	197.50
Asentamiento obtenido	:		7	cm	
incrementar agua de mezclado	:		2	cm	
incrementar agua de mezclado	:		4	lt/m ³	
Agua de mezclado por m³ corregido por asentamiento:			201.50	lt/m³	
Contenido de aire deseado	:		2	%	
Contenido de aire obtenido	:		1.02	%	
incrementar contenido de aire	:		0.98	%	
disminuir el agua de mezclado en	:		2.93	lt/m ³	
Agua de mezclado por m³ corregido por contenido de aire:					198.57
					lt/m³
Se deberá disminuir en 3 litros por cada 1% de incremento del contenido de aire.					
Corrección por apariencia de la mezcla (Metodo de los volúmenes absolutos)					
Agua de diseño	:	0.1986	m ³		
Cemento	:	0.1273	m ³		
Aire atrapado	:	0.0200	m ³		
Agregado grueso	:	0.3390	m ³		
Agregado fino	:	0.3151	m ³		
Nuevos materiales de diseño corregidos por apariencia, agua adicional, asentamiento y contenido de aire:					
Se determinará a partir de los datos como relación a/c y m/fca obtenidos durante el diseño original					
Agua de diseño	:	198.60	lt/m ³		
Cemento	:	397.18	Kg/m ³		
Agregado grueso	:	888.23	Kg/m ³		
Agregado fino	:	819.21	Kg/m ³		
Aire atrapado	:	2.00	%		

Tabla N° 43: Corrección por variación de la resistencia debido al grado de hidratación del concreto

CORRECCION POR RESISTENCIA	
resistencia corregida por power	
RESISTENCIA A A LOS 7 DIAS	Resistencia del especimen 01 : 212.77 kg/cm ²
	Resistencia del especimen 02 : 195.44 kg/cm ²
	Resistencia del especimen 03 : 207.99 kg/cm ²
	Resistencia de 03 especímenes : 205.40 kg/cm ²
	Resistencia probable a los 28 días : 287.56 kg/cm ²
	Resistencia deseada a los 28 días f'c : 250.00 kg/cm ²
	Relación a/c diseño original : 0.50
	Grado de hidratación (α) : 0.47
Relación a/c corregida por hidrat. : 0.53	
NUEVOS MATERIALES DE DISEÑO:	
Agua de diseño : 198.60 lit/m ³	
Cemento : 374.72 Kg/m ³	
Agregado grueso seco : 898.00 Kg/m ³	
Agregado fino seco : 828.23 Kg/m ³	
Aire atrapado : 2.00 %	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS COMPONENTES:	
AG. Fino: 2.10 %	
AG. Grueso: 0.20 %	
ABSORCION DE LOS COMPONENTES:	
AG. Fino: 1.71 %	
AG. Grueso: 1.67 %	
APORTE HUMEDAD AGREGADOS	
PUZOLANA	
APORTE AF =	3.23
APORTE AG =	-13.20
TOTAL =	-9.97

Tabla N° 44: Corrección por variación de la resistencia debido al grado de hidratación del concreto

DISEÑO BASE						
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD			
CEMENTO		374.72	Kg	CEMENTO	374.72	Kg
AGUA DE DISEÑO		198.60	Lt	AGUA EFECTIVA	198.6	Lt
AGREGADO FINO SECO		828.23	Kg	AGREGADO FINO HUMEDO	846.00	Kg
AGREGADO GRUESO SECO		898.00	Kg	AGREGADO GRUESO HUMEC	900.00	Kg
AIRE TOTAL		2.00	%	AIRE TOTAL	2.00	%
ADITIVO 1		0.000	kg	ADITIVO 1	0.000	kg
ADITIVO 2		0.000	kg	ADITIVO 2	0.000	kg
PROPORCION EN PESO		#DIV/0!		PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO =	1			CEMENTO =	1	
A. FINO =	2.26			A. FINO =	2.170	
A. GRUESO =	2.40			A. GRUESO =	2.680	
AGUA =	22.5	(Lt / Bolsa)		AGUA =	22.5	(Lt / Bolsa)
ADITIVO 1 =	0	cm ³ /Bolsa		ADITIVO 1 =	0	cm ³ /Bolsa
ADITIVO 2 =	0.0	cm ³ /Bolsa		ADITIVO 2 =	0.0	cm ³ /Bolsa

Tabla N° 45: Diseño de mezcla Patrón con adición de sikacem acelerante pe

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO			
PROYECTO :			
UBICACIÓN :			
SOLICITANTE			
FECHA :		17/04/2016	
CEMENTO :	PACASMAYOI	PESO ESPECIFICO =	3.12 gr/cm3
PROCEDENCIA DE AGREGADOS :			
AGREG. FINC	Cantera victoria	F'c =	250 Kg/cm2
AGREG. GRU	Cantera victoria		
CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS			
	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		3/4"	
P. ESPECIFICO DE MASA	2.60 gr/cm3	2.62 gr/cm3	PERFIL Angular
PESO UNITARIO SUELTO	1530	1340	Kg/m3
PESO UNITARIO COMPACTADO	1715	1490	Kg/m3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2.10	0.2	
ABSORCION (%)	1.71	1.67	
MODULO DE FINURA	2.98	7.68	
ABRASION (%)		28.36	
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200	3.42	0.74	
EN CASO DE USAR ADITIVOS :			
	(NOMBRE ADITIVO, MARCA)	%	P.E. gr/cm3
ADITIVO 1:	PUZOLANA VOLCANICA	0	2.36
ADITIVO 2:	SIKACEM ACELERANTE PE	3.9	1.38
ASENTAMIENTO =	3" - 4"		
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO =	198.6 Lt/m3		
AIRE TOTAL (%) =	2.0		
RELACION A/Mc =	0.53		
CEMENTO =	374.7 Kg/m3	8.82	Bolsas/m3
METODO VOLUMENES ABSOLUTOS :			
ADITIVO 1=	0.000	m3	
ADITIVO 2=	0.011	m3	
CEMENTO=	0.120	m3	
AGUA DE MEZCLADO =	0.199	m3	
AIRE (%)=	0.020	m3	
SUMA =	0.349	m3	
MODULO DE COMBINACION :	5.42		
% AGREGADO FINO =	48.17		
% AGREGADO GRUESO =	51.83		
VOLUMEN DE AGREGADOS			
AGREGADO FINO SECO =	815.000	Kg/m3	
AGREGADO GRUESO SECO =	884.000	Kg/m3	
PORTE HUMEDAD AGREGADO			
PUZOLANA	0.00		
APORTE AF =	3.18		
APORTE AG =	-12.99		
TOTAL =	-9.82		
MATERIALES DE DISEÑO		MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD	
CEMENTO	374.72 Kg	CEMENTO	374.72 Kg
AGUA DE DISEÑO	198.60 Lt	AGUA EFECTIVA	208.4 Lt
AGREGADO FINO SECO	815.00 Kg	AGREGADO FINO HUMEDO	832.00 Kg
AGREGADO GRUESO SECC	884.00 Kg	AGREGADO GRUESO HUMED	886.00 Kg
AIRE TOTAL	2.00 %	AIRE TOTAL	2.00 %
ADITIVO 1	0.000 kg	ADITIVO 1	0.000 kg
ADITIVO 2	14.601 kg	ADITIVO 2	14.601 kg
PROPORCION EN PESO		PROPORCION EN VOLUMEN	
CEMENTO =	1	CEMENTO =	1
A. FINO =	2.22	A. FINO =	2.130
A. GRUESO =	2.36	A. GRUESO =	2.640
AGUA =	23.6 (Lt / Bolsa)	AGUA =	23.6 (Lt / Bolsa)
ADITIVO 1=	0 cm3/Bolsa	ADITIVO 1=	0 cm3/Bolsa
ADITIVO 2 =	1656.0 cm3/Bolsa	ADITIVO 2 =	1656.0 cm3/Bolsa

Tabla N° 46: Diseño de mezcla con una adición de 10 % de Puzolana.

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO			
PROYECTO :			
UBICACIÓN :			
SOLICITANTE :			
FECHA : 17/04/2016			
CEMENTO :	PACASMAYO I	PESO ESPECIFICO =	3.12 gr/cm3
PROCEDENCIA DE AGREGADOS :		F'c =	250 Kg/cm2
AGREG. FINO :			
AGREG. GRUESO :			
CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS			
	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		3/4"	
P. ESPECIFICO DE MASA	2.60 gr/cm3	2.62 gr/cm3	PERFIL Angular
PESO UNITARIO SUELTO	1530	1340	Kg/m3
PESO UNITARIO COMPACTADO	1715	1490	Kg/m3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2.10	0.2	
ABSORCION (%)	1.71	1.67	
MODULO DE FINURA	2.98	7.68	
ABRASION (%)		28.36	
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200	3.42	0.74	
EN CASO DE USAR ADITIVOS :			
	(NOMBRE ADITIVO, MARCA)	%	P.E. gr/cm3
ADITIVO 1 :	PUZOLANA VOLCANICA	10	2.36
ADITIVO 2 :	SIKACEM ACELERANTE PE	3.8964706	1.38
ASENTAMIENTO =	3" - 4"		
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO =	198.6	Lt/m3	
AIRE TOTAL (%) =	2.0		
RELACION A/Mc =	0.53		
CEMENTO =	374.7	Kg/m3	8.82 Bolsas/m3
METODO VOLUMENES ABSOLUTOS :			
ADITIVO 1 =	0.016	m3	
ADITIVO 2 =	0.010	m3	
CEMENTO =	0.108	m3	
AGUA DE MEZCLADO =	0.199	m3	
AIRE (%) =	0.020	m3	
SUMA =	0.352	m3	
MODULO DE COMBINACION :			5.42
% AGREGADO FINO =			48.17
% AGREGADO GRUESO =			51.83
VOLUMEN DE AGREGADOS =	0.648	m3	
APORTE HUMEDAD AGREGADO			
PUZOLANA			-2.25
APORTE AF =			3.16
APORTE AG =			-12.94
TOTAL =			-12.02
AGREGADO FINO SECO =	811.000	Kg/m3	
AGREGADO GRUESO SECO =	880.000	Kg/m3	
MATERIALES DE DISEÑO		MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD	
CEMENTO	337.25 Kg	CEMENTO	337.25 Kg
AGUA DE DISEÑO	198.60 Lt	AGUA EFECTIVA	210.6 Lt
AGREGADO FINO SECO	811.00 Kg	AGREGADO FINO HUMEDO	828.00 Kg
AGREGADO GRUESO SECO	880.00 Kg	AGREGADO GRUESO HUMEDO	882.00 Kg
AIRE TOTAL	2.00 %	AIRE TOTAL	2.00 %
ADITIVO 1	37.472 kg	ADITIVO 1	37.472 kg
ADITIVO 2	13.141 kg	ADITIVO 2	13.141 kg
PROPORCION EN PESO		PROPORCION EN VOLUMEN	
CEMENTO =	1	CEMENTO =	1
A. FINO =	2.46	A. FINO =	2.360
A. GRUESO =	2.62	A. GRUESO =	2.930
AGUA =	26.5 (Lt / Bolsa)	AGUA =	26.5 (Lt / Bolsa)
ADITIVO 1 =	4722 cm3/Bolsa	ADITIVO 1 =	4722 cm3/Bolsa
ADITIVO 2 =	1656.0 cm3/Bolsa	ADITIVO 2 =	1656.0 cm3/Bolsa

Tabla N° 47: Diseño de mezcla con una adición de 15% de Puzolana.

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO			
PROYECTO :			
UBICACIÓN :			
SOLICITANTE :			
FECHA : 17/04/2016			
CEMENTO :	PACASMAYO I	PESO ESPECIFICO =	3.12 gr/cm3
PROCEDENCIA DE AGREGADOS :		F'c =	250 Kg/cm2
AGREG. FINO :		F'cr =	335 Kg/cm2
AGREG. GRUESO :			
CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS			
	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		3/4"	
P. ESPECIFICO DE MASA	2.60 gr/cm3	2.62 gr/cm3	PERFIL Angular
PESO UNITARIO SUELTO	1530	1340	Kg/m3
PESO UNITARIO COMPACTADO	1715	1490	Kg/m3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2.10	0.2	
ABSORCION (%)	1.71	1.67	
MODULO DE FINURA	2.98	7.68	
ABRASION (%)		28.36	
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200	3.42	0.74	
EN CASO DE USAR ADITIVOS :			
	(NOMBRE ADITIVO, MARCA)	%	P.E. gr/cm3
ADITIVO 1 :	PUZOLANA VOLCANICA	15	2.36
ADITIVO 2 :	SIKACEM ACELERANTE PE	3.8964706	1.38
ASENTAMIENTO = 3"- 4"			
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO = 198.6 Lt/m3			
AIRE TOTAL (%) = 2.0			
RELACION A/Mc = 0.53			
CEMENTO = 374.72 Kg/m3 8.82 Bolsas/m3			
METODO VOLUMENES ABSOLUTOS :			
ADITIVO 1 =	0.024	m3	
ADITIVO 2 =	0.009	m3	
CEMENTO =	0.102	m3	
AGUA DE MEZCLADO =	0.199	m3	
AIRE (%) =	0.020	m3	
SUMA =	0.353	m3	
VOLUMEN DE AGREGADOS = 0.647 m3			
AGREGADO FINO SECO = 810.000 Kg/m3			
AGREGADO GRUESO SECO = 878.000 Kg/m3			
MATERIALES DE DISEÑO		MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD	
CEMENTO	318.51 Kg	CEMENTO	318.51 Kg
AGUA DE DISEÑO	198.60 Lt	AGUA EFECTIVA	211.7 Lt
AGREGADO FINO SECO	810.00 Kg	AGREGADO FINO HUMEDO	827.00 Kg
AGREGADO GRUESO SECO	878.00 Kg	AGREGADO GRUESO HUMEDO	880.00 Kg
AIRE TOTAL	2.00 %	AIRE TOTAL	2.00 %
ADITIVO 1	56.208 kg	ADITIVO 1	56.208 kg
ADITIVO 2	12.411 kg	ADITIVO 2	12.411 kg
PROPORCION EN PESO 10.58024417		PROPORCION EN VOLUMEN	
CEMENTO =	1	CEMENTO =	1
A. FINO =	2.60	A. FINO =	2.500
A. GRUESO =	2.76	A. GRUESO =	3.090
AGUA =	28.3 (Lt / Bolsa)	AGUA =	28.3 (Lt / Bolsa)
ADITIVO 1 =	7500 cm3/Bolsa	ADITIVO 1 =	7500 cm3/Bolsa
ADITIVO 2 =	1656.0 cm3/Bolsa	ADITIVO 2 =	1656.0 cm3/Bolsa

Tabla N° 48: Diseño de mezcla con una adición de 20% de Puzolana.

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO			
PROYECTO :			
UBICACIÓN :			
SOLICITANTE :			
FECHA : 17/04/2016			
CEMENTO :	PACASMAYO I	PESO ESPECIFICO =	3.12 gr/cm3
PROCEDENCIA DE AGREGADOS :		F'c =	250 Kg/cm2
AGREG. FINO :			
AGREG. GRUESO :			
CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS			
	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		3/4"	PERFIL Angular
P. ESPECIFICO DE MASA	2.60 gr/cm3	2.62 gr/cm3	
PESO UNITARIO SUELTO	1530	1340 Kg/m3	
PESO UNITARIO COMPACTADO	1715	1490 Kg/m3	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2.10	0.2	
ABSORCION (%)	1.71	1.67	
MODULO DE FINURA	2.98	7.68	
ABRACION (%)		28.36	
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200	3.42	0.74	
EN CASO DE USAR ADITIVOS :			
	(NOMBRE ADITIVO, MARCA)	%	P.E. gr/cm3
ADITIVO 1 :	PUZOLANA VOLCANICA	20	2.36
ADITIVO 2 :	SIKACEM ACELERANTE PE	3.8964706	1.38
ASENTAMIENTO =	3" - 4"		
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO =	199	Lt/m3	
AIRE TOTAL (%) =	2		
RELACION A/Mc =	0.53		
CEMENTO =	374.72	Kg/m3	8.82 Bolsas/m3
METODO VOLUMENES ABSOLUTOS :			
ADITIVO 1 =	0.032	m3	
ADITIVO 2 =	0.008	m3	
CEMENTO =	0.096	m3	
AGUA DE MEZCLADO =	0.199	m3	
AIRE (%) =	0.020	m3	
SUMA =	0.355	m3	
VOLUMEN DE AGREGADOS =	0.645	m3	
AGREGADO FINO SECO =	808.000	Kg/m3	
AGREGADO GRUESO SECO =	876.000	Kg/m3	
		MODULO DE COMBINACION :	5.42
		% AGREGADO FINO =	48.17
		% AGREGADO GRUESO =	51.83
		APORTE HUMEDAD AGREGADO	
		PUZOLANA	-4.50
		APORTE AF =	3.15
		APORTE AG =	-12.88
		TOTAL =	-14.22
MATERIALES DE DISEÑO		MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD	
CEMENTO	299.77 Kg	CEMENTO	299.77 Kg
AGUA DE DISEÑO	198.60 Lt	AGUA EFECTIVA	212.8 Lt
AGREGADO FINO SECO	808.00 Kg	AGREGADO FINO HUMEDO	825.00 Kg
AGREGADO GRUESO SECO	876.00 Kg	AGREGADO GRUESO HUMEDO	878.00 Kg
AIRE TOTAL	2.00 %	AIRE TOTAL	2.00 %
ADITIVO 1	74.943 kg	ADITIVO 1	74.943 kg
ADITIVO 2	11.681 kg	ADITIVO 2	11.681 kg
PROPORCION EN PESO	10.58024417	PROPORCION EN VOLUMEN	
CEMENTO =	1	CEMENTO =	1
A. FINO =	2.75	A. FINO =	2.640
A. GRUESO =	2.93	A. GRUESO =	3.280
AGUA =	30.2 (Lt / Bolsa)	AGUA =	30.2 (Lt / Bolsa)
ADITIVO 1 =	10625 cm3/Bolsa	ADITIVO 1 =	10625 cm3/Bolsa
ADITIVO 2 =	1656.0 cm3/Bolsa	ADITIVO 2 =	1656.0 cm3/Bolsa

7.9. ANEXO IX: PÁNEL FOTOGRÁFICO



Imagen N° 5: Determinación del volumen del recipiente para ensayos de peso unitario del agregado y del concreto



Imagen N° 6: Ensayo completo de peso unitario del agregado



Imagen N° 7: Ensayo del peso específico del agregado.



Imagen N° 8: Ensayo completo de granulometría del agregado.



Imagen N° 9: Ensayo completo de abrasión del Agregado.

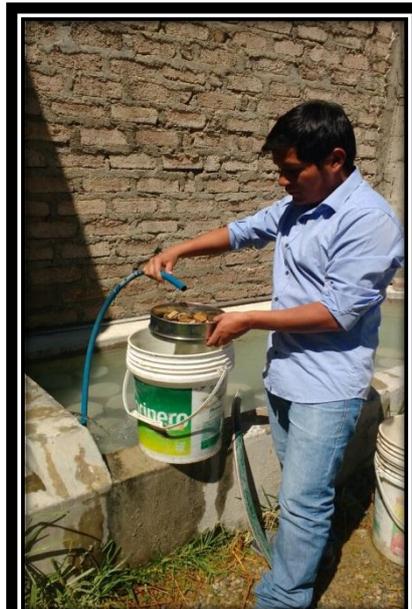


Imagen N° 10: Ensayo completo de partículas menores a la 200



Imagen N° 11: Ensayo de gravedad específica de la puzolana-traquita.



Imagen N° 12: Equipo y Máquina lista para los ensayos.



Imagen N° 13: Ensayo de slump y peso unitario de concreto fresco.



Imagen N° 14: Rotura de probetas patrón de diseño.



Imagen N° 15: Proceso de preparación de puzolana-traquita.



Imagen N° 16: Preparación de mezcla



Imagen N° 17: Ensayo a la compresión



Imagen N° 18: Ensayo a la flexión.



Imagen N° 19: Desencofrado de probetas.



Imagen N° 20: Eliminación de muestras ensayadas fuera del laboratorio de ensayo de materiales.

7.10. ANEXO X: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS

Tabla N° 49: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, sin adición de puzolana-traquita.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	C01-7D-0%	C02-7D-0%	C03-7D-0%	C04-7D-0%	C05-7D-0%	C06-7D-0%	---
Edad de ensayo	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	---
Diámetro promedio	150.00 mm	152.00 mm	152.00 mm	153.00 mm	152.00 mm	152.00 mm	---
Alto promedio	312.00 mm	307.00 mm	308.00 mm	305.00 mm	303.00 mm	305.00 mm	---
Peso	126.00 N	127.25 N	128.05 N	128.55 N	126.55 N	126.40 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2329.56 kg/m ³	2328.48 kg/m ³	2335.52 kg/m ³	2336.85 kg/m ³	2346.25 kg/m ³	2328.10 kg/m ³	2334.13 kg/m ³
Carga máxima de rotura	353160.00 N	372780.00 N	353160.00 N	343350.00 N	362970.00 N	353160.00 N	356430.00 N
Resistencia a la compresión máxima	203.74 Kg/cm ²	209.45 Kg/cm ²	198.44 Kg/cm ²	190.48 Kg/cm ²	203.94 Kg/cm ²	198.44 Kg/cm ²	200.75 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	81.50 Kg/cm ²	83.78 Kg/cm ²	79.38 Kg/cm ²	76.19 Kg/cm ²	81.58 Kg/cm ²	79.38 Kg/cm ²	80.30 Kg/cm ²
Resistencia a la deformación de 50	2.12 Kg/cm ²	2.26 Kg/cm ²	3.98 Kg/cm ²	2.97 Kg/cm ²	5.76 Kg/cm ²	2.51 Kg/cm ²	3.26 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	3.558 E(-3)	3.503 E(-3)	3.262 E(-3)	3.214 E(-3)	3.451 E(-3)	3.657 E(-3)	3.441 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	22627.28 Kg/cm ²	23607.80 Kg/cm ²	23471.12 Kg/cm ²	23143.81 Kg/cm ²	22292.45 Kg/cm ²	21308.80 Kg/cm ²	22741.88 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	220373.29 Kg/cm ²	223285.05 Kg/cm ²	218320.75 Kg/cm ²	214083.68 Kg/cm ²	222856.13 Kg/cm ²	217281.41 Kg/cm ²	219366.72 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	4.33 min.	4.50 min.	3.90 min.	4.33 min.	4.58 min.	3.83 min.	4.25 min.
Velocidad de ensayo	4.61 Kg/cm ² /min.	4.56 Kg/cm ² /min.	4.99 Kg/cm ² /min.	4.31 Kg/cm ² /min.	4.37 Kg/cm ² /min.	5.08 Kg/cm ² /min.	4.65 Kg/cm ² /min.
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 06	TIPO 06	TIPO 05	---
Modo de falla	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N°50: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, sin adición de puzolana.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	C01-14D-0%	C02-14D-0%	C03-14D-0%	C04-14D-0%	C05-14D-0%	C06-14D-0%	---
Edad de ensayo	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	---
Diámetro promedio	153 mm	152 mm	152 mm	152 mm	152 mm	152 mm	---
Alto promedio	305 mm	304 mm	304 mm	308 mm	309 mm	307 mm	---
Peso	128.05 N	126.20 N	126.60 N	127.05 N	128.05 N	127.05 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2327.76 kg/m ³	2332.06 kg/m ³	2339.45 kg/m ³	2317.28 kg/m ³	2327.96 kg/m ³	2324.82 kg/m ³	2328.22 kg/m ³
Carga máxima de rotura	431640.00 N	421830.00 N	412020.00 N	441450.00 N	402210.00 N	441450.00 N	425100.00 N
Resistencia a la compresión máxima	239.43 Kg/cm ²	237.08 Kg/cm ²	231.58 Kg/cm ²	248.10 Kg/cm ²	226.07 Kg/cm ²	248.10 Kg/cm ²	238.39 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	95.77 Kg/cm ²	94.83 Kg/cm ²	92.63 Kg/cm ²	99.24 Kg/cm ²	90.43 Kg/cm ²	99.24 Kg/cm ²	95.36 Kg/cm ²
Resistencia a la def. de 50 millonésimas	4.22 Kg/cm ²	4.04 Kg/cm ²	4.29 Kg/cm ²	4.30 Kg/cm ²	4.60 Kg/cm ²	4.58 Kg/cm ²	4.34 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	4.022 E(-3)	3.985 E(-3)	3.937 E(-3)	4.031 E(-3)	4.170 E(-3)	4.394 E(-3)	4.090 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	23049.28 Kg/cm ²	23074.38 Kg/cm ²	22727.43 Kg/cm ²	23847.32 Kg/cm ²	20831.02 Kg/cm ²	21790.02 Kg/cm ²	22553.24 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	238619.22 Kg/cm ²	238106.05 Kg/cm ²	236444.41 Kg/cm ²	241261.09 Kg/cm ²	231896.82 Kg/cm ²	242440.85 Kg/cm ²	238128.07 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	3.20 min.	3.28 min.	2.98 min.	3.08 min.	2.93 min.	3.10 min.	3.10 min.
Velocidad de ensayo	7.34 Kg/cm ² /min.	7.09 Kg/cm ² /min.	7.62 Kg/cm ² /min.	7.90 Kg/cm ² /min.	7.57 Kg/cm ² /min.	7.85 Kg/cm ² /min.	7.56 Kg/cm ² /min.
Tipo de falla	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 06	---
Modo de falla	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N° 51: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, sin adición de puzolana.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	C01-28D-0%	C02-28D-0%	C03-28D-0%	C04-28D-0%	C05-28D-0%	C06-28D-0%	---
Edad de ensayo	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	---
Diámetro promedio	152 mm	152 mm	153 mm	152 mm	152 mm	152 mm	---
Alto promedio	306 mm	305 mm	307 mm	304 mm	304 mm	304 mm	---
Peso	126.10 N	126.20 N	128.55 N	126.65 N	127.25 N	126.85 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2314.98 kg/m ³	2324.41 kg/m ³	2321.62 kg/m ³	2340.38 kg/m ³	2351.46 kg/m ³	2344.07 kg/m ³	2332.82 kg/m ³
Carga máxima de rotura	480690.00 N	470880.00 N	490500.00 N	461070.00 N	475785.00 N	490500.00 N	478237.50 N
Resistencia a la compresión máxima	270.12 Kg/cm ²	264.62 Kg/cm ²	272.06 Kg/cm ²	259.11 Kg/cm ²	267.37 Kg/cm ²	275.63 Kg/cm ²	268.15 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	108.05 Kg/cm ²	105.85 Kg/cm ²	108.82 Kg/cm ²	103.64 Kg/cm ²	106.95 Kg/cm ²	110.25 Kg/cm ²	107.26 Kg/cm ²
Resistencia a la def. de 50 millonésimas	3.44 Kg/cm ²	4.19 Kg/cm ²	3.81 Kg/cm ²	3.93 Kg/cm ²	2.02 Kg/cm ²	3.25 Kg/cm ²	3.44 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	4.142 E(-3)	6.050 E(-3)	4.177 E(-3)	4.062 E(-3)	6.101 E(-3)	3.971 E(-3)	4.750 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	25564.99 Kg/cm ²	16942.53 Kg/cm ²	25446.72 Kg/cm ²	24855.65 Kg/cm ²	17340.30 Kg/cm ²	27290.01 Kg/cm ²	22906.70 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	251369.03 Kg/cm ²	250315.79 Kg/cm ²	253355.44 Kg/cm ²	250253.43 Kg/cm ²	256019.44 Kg/cm ²	258719.19 Kg/cm ²	253338.72 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	4.72 min.	4.02 min.	3.85 min.	4.77 min.	4.62 min.	4.72 min.	4.45 min.
Velocidad de ensayo	5.61 Kg/cm ² /min.	6.46 Kg/cm ² /min.	6.93 Kg/cm ² /min.	5.33 Kg/cm ² /min.	5.68 Kg/cm ² /min.	5.73 Kg/cm ² /min.	5.96 Kg/cm ² /min.
Tipo de falla	TIPO 04	TIPO 06	TIPO 04	TIPO 06	TIPO 06	TIPO 04	---
Modo de falla	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N° 52: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, con 10% de adición de puzolana-traquita.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
Nomenclatura	C01-7D-10.00%	C02-7D-10.00%	C03-7D-10.00%	C04-7D-10.00%	C05-7D-10.00%	C06-7D-10.00%	---
Edad de ensayo	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	---
Diámetro promedio	151 mm	150 mm	---				
Alto promedio	306 mm	307 mm	306 mm	310 mm	307 mm	310 mm	---
Peso	126.55 N	126.50 N	125.10 N	127.05 N	126.20 N	126.00 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2354.12 kg/m ³	2345.52 kg/m ³	2327.14 kg/m ³	2332.92 kg/m ³	2339.96 kg/m ³	2344.59 kg/m ³	2340.71 kg/m ³
Carga máxima de rotura	412020.00 N	421830.00 N	392400.00 N	421830.00 N	402210.00 N	392400.00 N	407115.00 N
Resistencia a la compresión máxima	234.64 Kg/cm ²	240.25 Kg/cm ²	223.42 Kg/cm ²	240.25 Kg/cm ²	229.03 Kg/cm ²	226.48 Kg/cm ²	232.34 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	93.86 Kg/cm ²	96.10 Kg/cm ²	89.37 Kg/cm ²	96.10 Kg/cm ²	91.61 Kg/cm ²	90.59 Kg/cm ²	92.94 Kg/cm ²
Resistencia a la def. de 50 millonésimas	1.65 Kg/cm ²	3.15 Kg/cm ²	1.77 Kg/cm ²	3.16 Kg/cm ²	1.73 Kg/cm ²	0.90 Kg/cm ²	2.06 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	3.470 E(-3)	4.374 E(-3)	3.357 E(-3)	4.332 E(-3)	3.404 E(-3)	3.553 E(-3)	3.748 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	26959.98 Kg/cm ²	21494.78 Kg/cm ²	26489.04 Kg/cm ²	21705.90 Kg/cm ²	26798.19 Kg/cm ²	25603.86 Kg/cm ²	24841.96 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	240242.37 Kg/cm ²	241766.48 Kg/cm ²	230412.07 Kg/cm ²	239821.06 Kg/cm ²	235215.84 Kg/cm ²	234598.29 Kg/cm ²	237009.35 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	4.00 min.	4.17 min.	4.30 min.	4.33 min.	4.00 min.	3.33 min.	4.02 min.
Velocidad de ensayo	5.75 Kg/cm ² /min.	5.65 Kg/cm ² /min.	5.10 Kg/cm ² /min.	5.44 Kg/cm ² /min.	5.62 Kg/cm ² /min.	6.67 Kg/cm ² /min.	5.71 Kg/cm ² /min.
Tipo de falla	TIPO 06	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 06	---
Modo de falla	FRAGIL	FRAGIL	DÚCTIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N° 53: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, con 10% de adición de puzolana traquita,

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
	C01-14D-10.0%	C02-14D-10.00%	C03-14D-10.0%	C04-14D-10.0%	C05-14D-10.0%	C06-14D-10.0%	
Nomenclatura	C01-14D-10.0%	C02-14D-10.00%	C03-14D-10.0%	C04-14D-10.0%	C05-14D-10.0%	C06-14D-10.0%	---
Edad de ensayo	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	---
Diámetro promedio	151 mm	153 mm	153 mm	151 mm	151 mm	151 mm	---
Alto promedio	305 mm	304 mm	304 mm	302 mm	304 mm	303 mm	---
Peso	126.00 N	128.05 N	128.55 N	125.10 N	125.10 N	125.60 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2351.57 kg/m ³	2335.42 kg/m ³	2344.54 kg/m ³	2357.97 kg/m ³	2342.45 kg/m ³	2359.58 kg/m ³	2348.59 kg/m ³
Carga máxima de rotura	480690.00 N	490500.00 N	510120.00 N	490500.00 N	480690.00 N	490500.00 N	490500.00 N
Resistencia a la compresión máxima	273.69 Kg/cm ²	272.06 Kg/cm ²	282.97 Kg/cm ²	279.30 Kg/cm ²	273.69 Kg/cm ²	279.30 Kg/cm ²	276.84 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	109.48 Kg/cm ²	108.82 Kg/cm ²	113.19 Kg/cm ²	111.72 Kg/cm ²	109.48 Kg/cm ²	111.72 Kg/cm ²	110.73 Kg/cm ²
Resistencia a la def. de 50 millonésimas	0.58 Kg/cm ²	0.47 Kg/cm ²	0.27 Kg/cm ²	0.50 Kg/cm ²	0.58 Kg/cm ²	0.50 Kg/cm ²	0.48 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	4.221 E(-3)	4.300 E(-3)	4.430 E(-3)	4.330 E(-3)	4.235 E(-3)	4.315 E(-3)	4.305 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	26107.91 Kg/cm ²	25495.12 Kg/cm ²	25780.48 Kg/cm ²	25987.12 Kg/cm ²	26021.51 Kg/cm ²	26077.99 Kg/cm ²	25911.69 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	259046.38 Kg/cm ²	255616.38 Kg/cm ²	262220.12 Kg/cm ²	262755.48 Kg/cm ²	257541.41 Kg/cm ²	263024.83 Kg/cm ²	260034.10 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	3.75 min.	3.42 min.	3.70 min.	3.53 min.	3.47 min.	2.97 min.	3.47 min.
Velocidad de ensayo	7.16 Kg/cm ² /min.	7.80 Kg/cm ² /min.	7.50 Kg/cm ² /min.	7.76 Kg/cm ² /min.	7.73 Kg/cm ² /min.	9.22 Kg/cm ² /min.	7.86 Kg/cm ² /min.
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 06	---
Modo de falla	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	DÚCTIL	FRÁGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N° 54: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, con 10% de adición de puzolana-traquita.

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	C01-28D-10.%	C02-28D-10.%	C03-28D-10.%	C04-28D-10.%	C05-28D-10.%	C06-28D-10.%	---
Edad de ensayo	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	---
Diámetro promedio	152 mm	152 mm	151 mm	151 mm	152 mm	152 mm	---
Alto promedio	302 mm	302 mm	303 mm	302 mm	302 mm	303 mm	---
Peso	125.85 N	125.10 N	123.95 N	124.40 N	125.40 N	125.80 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2340.99 kg/m ³	2327.04 kg/m ³	2328.58 kg/m ³	2344.77 kg/m ³	2332.62 kg/m ³	2332.34 kg/m ³	2334.39 kg/m ³
Carga máxima de rotura	539550.00 N	559170.00 N	549360.00 N	568980.00 N	549360.00 N	578790.00 N	557535.00 N
Resistencia a la compresión máxima	303.16 Kg/cm ²	314.28 Kg/cm ²	312.85 Kg/cm ²	323.97 Kg/cm ²	308.67 Kg/cm ²	325.29 Kg/cm ²	314.70 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	121.27 Kg/cm ²	125.71 Kg/cm ²	125.14 Kg/cm ²	129.59 Kg/cm ²	123.47 Kg/cm ²	130.12 Kg/cm ²	125.88 Kg/cm ²
Resistencia a la def. de 50 millonésimas	3.01 Kg/cm ²	0.27 Kg/cm ²	4.12 Kg/cm ²	0.44 Kg/cm ²	2.95 Kg/cm ²	0.27 Kg/cm ²	1.84 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	5.184 E(-3)	4.808 E(-3)	4.372 E(-3)	4.875 E(-3)	5.240 E(-3)	4.444 E(-3)	4.821 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	23034.05 Kg/cm ²	26363.57 Kg/cm ²	28001.53 Kg/cm ²	26766.99 Kg/cm ²	23221.64 Kg/cm ²	29550.84 Kg/cm ²	26156.44 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	270799.07 Kg/cm ²	273257.55 Kg/cm ²	272906.42 Kg/cm ²	280613.77 Kg/cm ²	271783.07 Kg/cm ²	278954.04 Kg/cm ²	274718.99 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	3.33 min.	3.33 min.	3.00 min.	3.50 min.	3.83 min.	3.33 min.	3.39 min.
Velocidad de ensayo	8.93 Kg/cm ² /min.	9.26 Kg/cm ² /min.	10.23 Kg/cm ² /min.	9.08 Kg/cm ² /min.	7.90 Kg/cm ² /min.	9.58 Kg/cm ² /min.	9.16 Kg/cm ² /min.
Tipo de falla	TIPO 06	TIPO 06	TIPO 04	TIPO 04	TIPO 04	TIPO 06	---
Modo de falla	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	FRÁGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N° 55: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, con 15% de adición de puzolana-traquita.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
	C01-7D-15%	C02-7D-15%	C03-7D-15%	C04-7D-15%	C05-7D-15%	C06-7D-15%	
Nomenclatura	C01-7D-15%	C02-7D-15%	C03-7D-15%	C04-7D-15%	C05-7D-15%	C06-7D-15%	---
Edad de ensayo	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	---
Diámetro promedio	152 mm	152 mm	151 mm	151 mm	152 mm	151 mm	---
Alto promedio	306 mm	308 mm	304 mm	309 mm	309 mm	305 mm	---
Peso	127.05 N	128.05 N	125.10 N	126.00 N	128.55 N	124.60 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2332.42 kg/m ³	2335.52 kg/m ³	2342.45 kg/m ³	2321.13 kg/m ³	2337.05 kg/m ³	2325.44 kg/m ³	2332.33 kg/m ³
Carga máxima de rotura	362970.00 N	372780.00 N	392400.00 N	362970.00 N	372780.00 N	392400.00 N	376050.00 N
Resistencia a la compresión máxima	203.94 Kg/cm ²	209.45 Kg/cm ²	223.42 Kg/cm ²	206.70 Kg/cm ²	209.45 Kg/cm ²	223.42 Kg/cm ²	212.73 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	81.58 Kg/cm ²	83.78 Kg/cm ²	89.37 Kg/cm ²	82.68 Kg/cm ²	83.78 Kg/cm ²	89.37 Kg/cm ²	85.09 Kg/cm ²
Resistencia a la def. de 50 millonésimas	1.09 Kg/cm ²	3.64 Kg/cm ²	3.75 Kg/cm ²	2.00 Kg/cm ²	3.59 Kg/cm ²	2.03 Kg/cm ²	2.68 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	3.181 E(-3)	2.880 E(-3)	3.075 E(-3)	4.390 E(-3)	3.190 E(-3)	3.622 E(-3)	3.390 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	2520.64 Kg/cm ²	28319.39 Kg/cm ²	28302.25 Kg/cm ²	18588.76 Kg/cm ²	25538.57 Kg/cm ²	24450.71 Kg/cm ²	21286.72 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	21661.78 Kg/cm ²	224297.18 Kg/cm ²	232689.61 Kg/cm ²	220762.44 Kg/cm ²	224517.87 Kg/cm ²	230159.40 Kg/cm ²	192348.05 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	4.33 min.	4.33 min.	5.03 min.	4.50 min.	4.58 min.	4.33 min.	4.52 min.
Velocidad de ensayo	4.62 Kg/cm ² /min.	4.74 Kg/cm ² /min.	4.36 Kg/cm ² /min.	4.50 Kg/cm ² /min.	4.48 Kg/cm ² /min.	5.06 Kg/cm ² /min.	4.63 Kg/cm ² /min.
Tipo de falla	TIPO 06	TIPO 06	TIPO 04	TIPO 01	TIPO 05	TIPO 06	---
Modo de falla	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N° 56: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, con 15.0% de adición de puzolana-traquita

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
	C01-14D-15%	C02-14D-15%	C03-14D-15%	C04-14D-15%	C05-14D-15%	C06-14D-15%	
Nomenclatura	C01-14D-15%	C02-14D-15%	C03-14D-15%	C04-14D-15%	C05-14D-15%	C06-14D-15%	---
Edad de ensayo	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	---
Diámetro promedio	150 mm	153 mm	151 mm	151 mm	151 mm	151 mm	---
Alto promedio	298 mm	304 mm	304 mm	302 mm	304 mm	303 mm	---
Peso	121.20 N	127.70 N	124.10 N	124.10 N	125.10 N	123.65 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2346.09 kg/m ³	2329.03 kg/m ³	2323.73 kg/m ³	2339.12 kg/m ³	2342.45 kg/m ³	2322.94 kg/m ³	2333.89 kg/m ³
Carga máxima de rotura	441450.00 N	441450.00 N	461070.00 N	441450.00 N	451260.00 N	431640.00 N	444720.00 N
Resistencia a la compresión máxima	254.73 Kg/cm ²	244.83 Kg/cm ²	262.58 Kg/cm ²	251.36 Kg/cm ²	256.97 Kg/cm ²	245.75 Kg/cm ²	252.70 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	101.89 Kg/cm ²	97.93 Kg/cm ²	105.03 Kg/cm ²	100.54 Kg/cm ²	102.79 Kg/cm ²	98.30 Kg/cm ²	101.08 Kg/cm ²
Resistencia a la def. de 50 millonésimas	3.33 Kg/cm ²	3.11 Kg/cm ²	3.13 Kg/cm ²	2.25 Kg/cm ²	2.98 Kg/cm ²	1.39 Kg/cm ²	2.70 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	3.511 E(-3)	3.440 E(-3)	3.592 E(-3)	5.025 E(-3)	3.502 E(-3)	4.568 E(-3)	3.940 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	28481.01 Kg/cm ²	27971.68 Kg/cm ²	28770.88 Kg/cm ²	19757.53 Kg/cm ²	28914.25 Kg/cm ²	21450.90 Kg/cm ²	25891.04 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	249036.52 Kg/cm ²	241495.38 Kg/cm ²	249239.08 Kg/cm ²	246283.85 Kg/cm ²	249549.14 Kg/cm ²	240999.41 Kg/cm ²	246100.56 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	3.75 min.	3.42 min.	3.70 min.	3.53 min.	3.47 min.	3.48 min.	3.56 min.
Velocidad de ensayo	6.66 Kg/cm ² /min.	7.02 MPa/min.	6.96 MPa/min.	6.98 MPa/min.	7.26 MPa/min.	6.93 MPa/min.	6.97 MPa/min.
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 05	---
Modo de falla	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N° 57: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, con 15% de adición de puzolana-traquita.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
Nomenclatura	C01-28D-15%	C02-28D-15%	C03-28D-15%	C04-28D-15%	C05-28D-15%	C06-28D-15%	---
Edad de ensayo	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	---
Diámetro promedio	151 mm	152 mm	151 mm	152 mm	153 mm	151 mm	---
Alto promedio	307 mm	305 mm	304 mm	305 mm	302 mm	304 mm	---
Peso	125.10 N	126.10 N	124.60 N	125.80 N	126.20 N	125.20 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2319.56 kg/m ³	2322.57 kg/m ³	2333.09 kg/m ³	2317.05 kg/m ³	2316.92 kg/m ³	2344.33 kg/m ³	2325.59 kg/m ³
Carga máxima de rotura	510120.00 N	490500.00 N	500310.00 N	510120.00 N	529740.00 N	510120.00 N	508485.00 N
Resistencia a la compresión máxima	290.52 Kg/cm ²	275.63 Kg/cm ²	284.91 Kg/cm ²	286.64 Kg/cm ²	293.78 Kg/cm ²	290.52 Kg/cm ²	287.00 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	116.21 Kg/cm ²	110.25 Kg/cm ²	113.96 Kg/cm ²	114.66 Kg/cm ²	117.51 Kg/cm ²	116.21 Kg/cm ²	114.80 Kg/cm ²
Resistencia a la def. de 50 millonésimas	4.80 Kg/cm ²	3.62 Kg/cm ²	3.69 Kg/cm ²	1.24 Kg/cm ²	2.10 Kg/cm ²	3.00 Kg/cm ²	3.08 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	4.496 E(-3)	4.428 E(-3)	4.493 E(-3)	4.380 E(-3)	4.859 E(-3)	4.399 E(-3)	4.509 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	25057.32 Kg/cm ²	24355.25 Kg/cm ²	24819.41 Kg/cm ²	26194.02 Kg/cm ²	24000.00 Kg/cm ²	26030.95 Kg/cm ²	25076.16 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	261459.75 Kg/cm ²	255167.99 Kg/cm ²	261192.14 Kg/cm ²	259287.70 Kg/cm ²	262474.44 Kg/cm ²	265657.79 Kg/cm ²	260873.30 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	5.50 min.	5.58 min.	5.50 min.	3.85 min.	4.17 min.	5.50 min.	5.02 min.
Velocidad de ensayo	5.18 Kg/cm ² /min.	4.84 Kg/cm ² /min.	5.08 Kg/cm ² /min.	7.30 Kg/cm ² /min.	6.91 Kg/cm ² /min.	5.18 Kg/cm ² /min.	5.75 Kg/cm ² /min.
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	---
Modo de falla	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N° 58: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, con 20% de adición de puzolana. Traquita

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	C01-7D-20%	C02-7D-20%	C03-7D-20%	C04-7D-20%	C05-7D-20%	C06-7D-20%	---
Edad de ensayo	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	---
Diámetro promedio	152 mm	150 mm	151 mm	151 mm	152 mm	151 mm	---
Alto promedio	305 mm	307 mm	303 mm	308 mm	306 mm	302 mm	---
Peso	127.05 N	125.70 N	125.00 N	125.10 N	127.55 N	125.50 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2340.07 kg/m ³	2361.87 kg/m ³	2348.31 kg/m ³	2312.03 kg/m ³	2341.60 kg/m ³	2365.51 kg/m ³	2344.90 kg/m ³
Carga máxima de rotura	353160.00 N	382590.00 N	353160.00 N	372780.00 N	353160.00 N	362970.00 N	362970.00 N
Resistencia a la compresión máxima	198.44 Kg/cm ²	220.77 Kg/cm ²	201.09 Kg/cm ²	212.31 Kg/cm ²	198.44 Kg/cm ²	206.70 Kg/cm ²	206.29 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	79.38 Kg/cm ²	88.31 Kg/cm ²	80.44 Kg/cm ²	84.92 Kg/cm ²	79.38 Kg/cm ²	82.68 Kg/cm ²	82.52 Kg/cm ²
Resistencia a la def. de 50 millonésimas	1.84 Kg/cm ²	1.76 Kg/cm ²	4.38 Kg/cm ²	3.88 Kg/cm ²	2.64 Kg/cm ²	1.37 Kg/cm ²	2.65 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	3.489 E(-3)	2.930 E(-3)	3.105 E(-3)	3.195 E(-3)	3.750 E(-3)	3.952 E(-3)	3.404 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	22544.75 Kg/cm ²	30050.02 Kg/cm ²	24896.83 Kg/cm ²	25768.02 Kg/cm ²	20738.75 Kg/cm ²	20837.65 Kg/cm ²	24139.34 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	218959.58 Kg/cm ²	234186.35 Kg/cm ²	221582.14 Kg/cm ²	222423.40 Kg/cm ²	219174.62 Kg/cm ²	227123.60 Kg/cm ²	223908.28 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	3.83 min.	3.33 min.	3.67 min.	3.17 min.	3.58 min.	3.50 min.	3.51 min.
Velocidad de ensayo	5.08 Kg/cm ² /min.	6.50 Kg/cm ² /min.	5.37 Kg/cm ² /min.	6.57 Kg/cm ² /min.	5.44 Kg/cm ² /min.	5.79 Kg/cm ² /min.	5.79 Kg/cm ² /min.
Tipo de falla	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 01	TIPO 06	TIPO 06	TIPO 06	---
Modo de falla	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N° 59: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, con 20% de adición de puzolana-traquita

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	C01-14D-20%	C02-14D-20%	C03-14D-20%	C04-14D-20%	C05-14D-20%	C06-14D-20%	---
Edad de ensayo	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	---
Diámetro promedio	152 mm	152 mm	151 mm	152 mm	152 mm	150 mm	---
Alto promedio	302 mm	304 mm	303 mm	308 mm	303 mm	305 mm	---
Peso	126.50 N	125.90 N	124.90 N	127.05 N	125.20 N	124.10 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2353.08 kg/m ³	2326.52 kg/m ³	2346.43 kg/m ³	2317.28 kg/m ³	2321.22 kg/m ³	2347.09 kg/m ³	2335.27 kg/m ³
Carga máxima de rotura	451260.00 N	431640.00 N	431640.00 N	421830.00 N	421830.00 N	431640.00 N	431640.00 N
Resistencia a la compresión máxima	253.60 Kg/cm ²	242.59 Kg/cm ²	245.75 Kg/cm ²	237.08 Kg/cm ²	237.08 Kg/cm ²	249.12 Kg/cm ²	244.21 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	101.44 Kg/cm ²	97.04 Kg/cm ²	98.30 Kg/cm ²	94.83 Kg/cm ²	94.83 Kg/cm ²	99.65 Kg/cm ²	97.68 Kg/cm ²
Resistencia a la def. de 50 millonésimas	2.27 Kg/cm ²	1.24 Kg/cm ²	4.60 Kg/cm ²	3.30 Kg/cm ²	2.61 Kg/cm ²	1.61 Kg/cm ²	2.60 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	4.250 E(-3)	3.318 E(-3)	3.590 E(-3)	3.452 E(-3)	4.138 E(-3)	4.377 E(-3)	3.854 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	23611.43 Kg/cm ²	29314.54 Kg/cm ²	26470.14 Kg/cm ²	26906.19 Kg/cm ²	22559.83 Kg/cm ²	22658.15 Kg/cm ²	25253.38 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	249599.41 Kg/cm ²	239996.96 Kg/cm ²	244663.09 Kg/cm ²	235845.56 Kg/cm ²	236447.28 Kg/cm ²	246437.58 Kg/cm ²	242164.98 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	3.68 min.	3.67 min.	3.30 min.	3.05 min.	3.08 min.	3.20 min.	3.33 min.
Velocidad de ensayo	6.76 Kg/cm ² /min.	6.48 Kg/cm ² /min.	7.30 Kg/cm ² /min.	7.62 Kg/cm ² /min.	7.55 Kg/cm ² /min.	7.63 Kg/cm ² /min.	7.22 Kg/cm ² /min.
Tipo de falla	TIPO 06	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 01	TIPO 06	TIPO 06	---
Modo de falla	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N° 60: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, con 20% de puzolana-traquita

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	C01-28D-20%	C02-28D-20%	C03-28D-20%	C04-28D-20%	C05-28D-20%	C06-28D-20%	---
Edad de ensayo	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	---
Diámetro promedio	152 mm	---					
Alto promedio	304 mm	305 mm	306 mm	301 mm	304 mm	304 mm	---
Peso	125.10 N	124.60 N	124.10 N	124.60 N	126.10 N	125.30 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2311.73 kg/m ³	2294.94 kg/m ³	2278.27 kg/m ³	2325.44 kg/m ³	2330.21 kg/m ³	2315.43 kg/m ³	2309.34 kg/m ³
Carga máxima de rotura	510120.00 N	470880.00 N	500310.00 N	490500.00 N	470880.00 N	490500.00 N	488865.00 N
Resistencia a la compresión máxima	286.64 Kg/cm ²	264.62 Kg/cm ²	281.14 Kg/cm ²	275.63 Kg/cm ²	264.62 Kg/cm ²	275.63 Kg/cm ²	274.71 Kg/cm ²
Resistencia al 40% de compresión	114.66 Kg/cm ²	105.85 Kg/cm ²	112.45 Kg/cm ²	110.25 Kg/cm ²	105.85 Kg/cm ²	110.25 Kg/cm ²	109.89 Kg/cm ²
Resistencia a la def. de 50 millonésimas	2.24 Kg/cm ²	1.18 Kg/cm ²	4.73 Kg/cm ²	3.35 Kg/cm ²	2.85 Kg/cm ²	1.91 Kg/cm ²	2.71 Kg/cm ²
Deformación base de 50 millonésimas	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)	0.050 E(-3)
Deformación al 40% de la compresión	4.609 E(-3)	3.610 E(-3)	3.987 E(-3)	3.897 E(-3)	4.346 E(-3)	4.752 E(-3)	4.200 E(-3)
Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	24657.65 Kg/cm ²	29400.94 Kg/cm ²	27361.28 Kg/cm ²	27789.48 Kg/cm ²	23975.69 Kg/cm ²	23040.91 Kg/cm ²	26037.66 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	258396.31 Kg/cm ²	245570.55 Kg/cm ²	250365.34 Kg/cm ²	255641.08 Kg/cm ²	251252.99 Kg/cm ²	253991.71 Kg/cm ²	252536.33 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	3.50 min.	3.98 min.	3.95 min.	4.75 min.	4.60 min.	4.68 min.	4.24 min.
Velocidad de ensayo	8.03 Kg/cm ² /min.	6.52 Kg/cm ² /min.	6.98 Kg/cm ² /min.	5.69 Kg/cm ² /min.	5.64 Kg/cm ² /min.	5.78 Kg/cm ² /min.	6.44 Kg/cm ² /min.
Tipo de falla	TIPO 06	TIPO 06	TIPO 06	TIPO 01	TIPO 05	TIPO 06	---
Modo de falla	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	FRAGIL	---
Tipo de espécimen	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO	---

Tabla N° 61: Especímenes ensayados a flexión, siete días de edad, sin adición de puzolana-traquita.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	F01-7D-0%	F02-7D-0%	F03-7D-0%	F04-7D-0%	F05-7D-0%	F06-7D-0%	---
Edad de ensayo	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	---
Ancho promedio	147 mm	150 mm	149 mm	150 mm	150 mm	151 mm	---
Alto promedio	152 mm	150 mm	151 mm	150 mm	149 mm	150 mm	---
Largo promedio	507 mm	506 mm	506 mm	507 mm	506 mm	506 mm	---
Peso	260.20 N	262.55 N	262.55 N	262.95 N	260.00 N	262.95 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2341.37 kg/m ³	2350.77 kg/m ³	2350.87 kg/m ³	2349.71 kg/m ³	2343.56 kg/m ³	2338.76 kg/m ³	2345.84 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	17658.00 N	17658.00 N	16677.00 N	17658.00 N	17658.00 N	16677.00 N	17331.00 N
Resistencia a la flexión máxima	36.20 Kg/cm ²	36.20 Kg/cm ²	34.16 Kg/cm ²	36.20 Kg/cm ²	36.71 Kg/cm ²	34.16 Kg/cm ²	35.61 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	3.50 mín.	3.42 mín.	3.83 mín.	3.27 mín.	3.63 mín.	3.48 mín.	3.52 mín.
Velocidad de ensayo	1.01Kg/cm ² /mín.	1.04Kg/cm ² /mín.	0.87Kg/cm ² /mín.	1.09Kg/cm ² /mín.	0.99Kg/cm ² /mín.	0.96Kg/cm ² /mín.	0.99Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	2.3 mm	3.2 mm	2.5 mm	2.6 mm	2.4 mm	3.1 mm	2.7 mm
Longitud de fisura	122.0 mm	145.0 mm	149.0 mm	138.5 mm	169.0 mm	132.5 mm	142.7 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

Tabla N° 62: Especímenes ensayados a flexión, catorce días de edad, sin adición de puzolana. Traquita

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	F01-14D-0%	F02-14D-0%	F03-14D-0%	F04-14D-0%	F05-14D-0%	F06-14D-0%	---
Edad de ensayo	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	---
Ancho promedio	150 mm	---					
Alto promedio	149 mm	152 mm	154 mm	151 mm	153 mm	152 mm	---
Largo promedio	508 mm	506 mm	506 mm	504 mm	505 mm	508 mm	---
Peso	262.35 N	266.35 N	266.35 N	262.95 N	267.15 N	265.40 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2355.43 kg/m ³	2353.41 kg/m ³	2322.85 kg/m ³	2348.04 kg/m ³	2349.70 kg/m ³	2335.79 kg/m ³	2344.20 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	18639.00 N	18639.00 N	17658.00 N	19620.00 N	19620.00 N	19620.00 N	18966.00 N
Resistencia a la flexión máxima	38.76 Kg/cm ²	37.22 Kg/cm ²	34.67 Kg/cm ²	39.77 Kg/cm ²	38.75 Kg/cm ²	39.26 Kg/cm ²	38.07 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	2.42 mín.	2.43 mín.	2.55 mín.	2.29 mín.	2.51 mín.	2.38 mín.	2.43 mín.
Velocidad de ensayo	1.57Kg/cm ² /mín.	1.50Kg/cm ² /mín.	1.33Kg/cm ² /mín.	1.70Kg/cm ² /mín.	1.51Kg/cm ² /mín.	1.62Kg/cm ² /mín.	1.54Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	2.7 mm	3.4 mm	3.0 mm	2.4 mm	3.5 mm	2.4 mm	2.9 mm
Longitud de fisura	142.2 mm	121.7 mm	132.3 mm	120.8 mm	142.2 mm	125.4 mm	130.8 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

Tabla N° 63: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, sin adición de puzolana-traquita

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F01-28D-0%	F02-28D-0%	F03-28D-0%	F04-28D-0%	F05-28D-0%	F06-28D-0%	---
Edad de ensayo	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	---
Ancho promedio	150 mm	149 mm	149 mm	150 mm	150 mm	150 mm	---
Alto promedio	154 mm	153 mm	153 mm	152 mm	154 mm	155 mm	---
Largo promedio	502 mm	504 mm	504 mm	508 mm	505 mm	508 mm	---
Peso	265.10 N	261.25 N	261.25 N	266.35 N	268.45 N	272.15 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2330.37 kg/m ³	2317.82 kg/m ³	2317.82 kg/m ³	2344.15 kg/m ³	2345.80 kg/m ³	2348.84 kg/m ³	2334.13 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	21582.00 N	19620.00 N	21582.00 N	19620.00 N	21582.00 N	21582.00 N	20928.00 N
Resistencia a la flexión máxima	41.81 Kg/cm ²	38.75 Kg/cm ²	42.83 Kg/cm ²	39.26 Kg/cm ²	41.00 Kg/cm ²	40.50 Kg/cm ²	40.69 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	2.03 mín.	2.20 mín.	1.58 mín.	1.95 mín.	1.72 mín.	2.28 mín.	1.96 mín.
Velocidad de ensayo	2.02Kg/cm ² /mín.	1.73Kg/cm ² /mín.	2.66Kg/cm ² /mín.	1.97Kg/cm ² /mín.	2.38Kg/cm ² /mín.	1.78Kg/cm ² /mín.	2.09Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	3.6 mm	2.8 mm	3.4 mm	3.2 mm	3.2 mm	2.5 mm	3.1 mm
Longitud de fisura	128.8 mm	134.4 mm	134.3 mm	133.7 mm	133.8 mm	124.9 mm	131.7 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

Tabla N° 64: Especímenes ensayados a flexión, siete días de edad, con 10% de adición de puzolana-traquita

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F01-7D-10%	F02-7D-10%	F03-7D-10%	F04-7D-10%	F05-7D-10%	F06-7D-10%	---
Edad de ensayo	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	---
Ancho promedio	150 mm	151 mm	150 mm	152 mm	150 mm	150 mm	---
Alto promedio	150 mm	152 mm	154 mm	153 mm	157 mm	152 mm	---
Largo promedio	507 mm	503 mm	503 mm	508 mm	507 mm	506 mm	---
Peso	262.95 N	264.40 N	264.40 N	271.25 N	269.80 N	265.40 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2349.71 kg/m ³	2334.55 kg/m ³	2319.60 kg/m ³	2340.46 kg/m ³	2303.42 kg/m ³	2345.02 kg/m ³	2332.13 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	18639.00 N	19620.00 N	19620.00 N	19620.00 N	17658.00 N	18246.60 N	18900.60 N
Resistencia a la flexión máxima	38.24 Kg/cm ²	38.00 Kg/cm ²	37.50 Kg/cm ²	37.50 Kg/cm ²	32.50 Kg/cm ²	36.00 Kg/cm ²	36.62 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	3.25 mín.	3.10 mín.	3.22 mín.	3.35 mín.	3.42 mín.	3.10 mín.	3.24 mín.
Velocidad de ensayo	1.15Kg/cm ² /mín.	1.23Kg/cm ² /mín.	1.16Kg/cm ² /mín.	1.12Kg/cm ² /mín.	0.95Kg/cm ² /mín.	1.16Kg/cm ² /mín.	1.13Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	2.0 mm	2.1 mm	2.2 mm	2.6 mm	2.1 mm	2.0 mm	2.2 mm
Longitud de fisura	127.7 mm	128.4 mm	127.9 mm	109.9 mm	119.1 mm	118.6 mm	121.9 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

Tabla N° 65: Especímenes ensayados a flexión, catorce días de edad, con 10% de adición de puzolana-traquita.

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F01-14D-10%	F02-14D-10%	F03-14D-10%	F04-14D-10%	F05-14D-10%	F06-14D-10%	---
Edad de ensayo	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	---
Ancho promedio	151 mm	151 mm	152 mm	150 mm	152 mm	151 mm	---
Alto promedio	150 mm	152 mm	154 mm	152 mm	151 mm	150 mm	---
Largo promedio	504 mm	502 mm	502 mm	505 mm	504 mm	506 mm	---
Peso	260.95 N	258.70 N	258.70 N	267.95 N	270.80 N	258.20 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2330.18 kg/m ³	2288.78 kg/m ³	2244.19 kg/m ³	2372.24 kg/m ³	2386.32 kg/m ³	2296.51 kg/m ³	2319.70 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	21582.00 N	22563.00 N	22563.00 N	20601.00 N	22563.00 N	20306.70 N	21696.45 N
Resistencia a la flexión máxima	43.85 Kg/cm ²	44.00 Kg/cm ²	42.50 Kg/cm ²	40.50 Kg/cm ²	44.00 Kg/cm ²	40.50 Kg/cm ²	42.56 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	2.67 mín.	2.23 mín.	1.33 mín.	2.17 mín.	2.00 mín.	2.07 mín.	2.08 mín.
Velocidad de ensayo	1.61Kg/cm ² /mín.	1.97Kg/cm ² /mín.	3.20Kg/cm ² /mín.	1.87Kg/cm ² /mín.	2.20Kg/cm ² /mín.	1.96Kg/cm ² /mín.	2.14Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	2.0 mm	1.8 mm	1.4 mm	2.2 mm	1.9 mm	2.0 mm	1.9 mm
Longitud de fisura	137.7 mm	122.2 mm	117.2 mm	133.2 mm	125.7 mm	132.4 mm	128.1 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

Tabla N° 66: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, con 10% de adición de puzolana-traquita.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	F01-28D-10%	F02-28D-10%	F03-28D-10%	F04-28D-10%	F05-28D-10%	F06-28D-10%	---
Edad de ensayo	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	---
Ancho promedio	150 mm	150 mm	150 mm	151 mm	151 mm	152 mm	---
Alto promedio	152 mm	151 mm	150 mm	152 mm	150 mm	151 mm	---
Largo promedio	508 mm	506 mm	506 mm	509 mm	510 mm	509 mm	---
Peso	265.65 N	262.80 N	262.80 N	266.85 N	265.90 N	265.90 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2337.99 kg/m ³	2337.42 kg/m ³	2353.01 kg/m ³	2328.41 kg/m ³	2346.45 kg/m ³	2320.12 kg/m ³	2337.23 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	21582.00 N	22563.00 N	22563.00 N	23544.00 N	22563.00 N	23544.00 N	22726.50 N
Resistencia a la flexión máxima	42.50 Kg/cm ²	45.00 Kg/cm ²	45.50 Kg/cm ²	46.00 Kg/cm ²	45.00 Kg/cm ²	46.00 Kg/cm ²	45.00 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	3.33 mín.	1.80 mín.	2.00 mín.	2.20 mín.	1.42 mín.	1.10 mín.	1.98 mín.
Velocidad de ensayo	1.28Kg/cm ² /mín.	2.50Kg/cm ² /mín.	2.28Kg/cm ² /mín.	2.09Kg/cm ² /mín.	3.17Kg/cm ² /mín.	4.18Kg/cm ² /mín.	2.58Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	2.0 mm	2.1 mm	2.5 mm	1.8 mm	2.2 mm	2.4 mm	2.2 mm
Longitud de fisura	118.2 mm	128.5 mm	137.7 mm	131.7 mm	114.1 mm	119.3 mm	124.9 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

Tabla N° 67: Especímenes ensayados a flexión, siete días de edad, con 15% de adición de puzolana-traquita

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	F01-7D-15%	F02-7D-15%	F03-7D-15%	F04-7D-15%	F05-7D-15%	F06-7D-15%	---
Edad de ensayo	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	7 DÍAS	---
Ancho promedio	151 mm	152 mm	150 mm	151 mm	151 mm	153 mm	---
Alto promedio	151 mm	152 mm	151 mm	153 mm	151 mm	155 mm	---
Largo promedio	504 mm	505 mm	505 mm	505 mm	502 mm	504 mm	---
Peso	264.40 N	268.80 N	263.40 N	268.35 N	264.40 N	275.70 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2345.35 kg/m ³	2348.45 kg/m ³	2347.40 kg/m ³	2344.62 kg/m ³	2354.70 kg/m ³	2351.33 kg/m ³	2348.64 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	19620.00 N	17658.00 N	17658.00 N	18639.00 N	17658.00 N	20601.00 N	18639.00 N
Resistencia a la flexión máxima	38.50 Kg/cm ²	34.00 Kg/cm ²	35.00 Kg/cm ²	36.00 Kg/cm ²	35.00 Kg/cm ²	38.00 Kg/cm ²	36.08 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	2.17 mín.	1.80 mín.	2.00 mín.	2.20 mín.	1.42 mín.	1.10 mín.	1.78 mín.
Velocidad de ensayo	1.77Kg/cm ² /mín.	1.89Kg/cm ² /mín.	1.75Kg/cm ² /mín.	1.64Kg/cm ² /mín.	2.46Kg/cm ² /mín.	3.45Kg/cm ² /mín.	2.16Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	2.0 mm	2.3 mm	2.4 mm	1.7 mm	2.3 mm	2.4 mm	2.2 mm
Longitud de fisura	118.2 mm	115.5 mm	127.7 mm	133.7 mm	131.1 mm	119.3 mm	124.2 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

Tabla N° 68: Especímenes ensayados a flexión, catorce días de edad, con 15% de adición de puzolana

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	F01-14D-15%	F02-14D-15%	F03-14D-15%	F04-14D-15%	F05-14D-15%	F06-14D-15%	---
Edad de ensayo	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	---
Ancho promedio	152 mm	151 mm	151 mm	152 mm	153 mm	153 mm	---
Alto promedio	150 mm	151 mm	152 mm	151 mm	154 mm	156 mm	---
Largo promedio	505 mm	506 mm	506 mm	505 mm	506 mm	506 mm	---
Peso	265.10 N	265.20 N	265.20 N	265.40 N	273.25 N	276.20 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2347.01 kg/m ³	2343.15 kg/m ³	2327.73 kg/m ³	2334.10 kg/m ³	2336.30 kg/m ³	2331.25 kg/m ³	2336.59 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	20601.00 N	20601.00 N	20601.00 N	21582.00 N	18639.00 N	20601.00 N	20437.50 N
Resistencia a la flexión máxima	41.00 Kg/cm ²	40.50 Kg/cm ²	40.00 Kg/cm ²	42.50 Kg/cm ²	35.00 Kg/cm ²	37.50 Kg/cm ²	39.42 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	2.00 mín.	1.87 mín.	2.18 mín.	2.12 mín.	1.80 mín.	1.25 mín.	1.87 mín.
Velocidad de ensayo	2.05Kg/cm ² /mín.	2.17Kg/cm ² /mín.	1.83Kg/cm ² /mín.	2.00Kg/cm ² /mín.	1.94Kg/cm ² /mín.	3.00Kg/cm ² /mín.	2.17Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	1.9 mm	2.3 mm	2.4 mm	2.1 mm	2.1 mm	2.3 mm	2.2 mm
Longitud de fisura	106.4 mm	115.2 mm	121.9 mm	112.3 mm	120.7 mm	117.4 mm	115.6 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

Tabla N° 69: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, con 15 % de adición de puzolana-traquita

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F01-28D-15%	F02-28D-15%	F03-28D-15%	F04-28D-15%	F05-28D-15%	F06-28D-15%	---
Edad de ensayo	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	---
Ancho promedio	149 mm	150 mm	150 mm	147 mm	151 mm	153 mm	---
Alto promedio	154 mm	153 mm	150 mm	155 mm	154 mm	151 mm	---
Largo promedio	503 mm	502 mm	502 mm	506 mm	507 mm	505 mm	---
Peso	265.40 N	264.40 N	257.55 N	264.40 N	267.55 N	264.70 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2344.00 kg/m ³	2339.41 kg/m ³	2324.38 kg/m ³	2337.72 kg/m ³	2313.29 kg/m ³	2312.73 kg/m ³	2328.59 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	22563.00 N	23544.00 N	22563.00 N	21582.00 N	23544.00 N	21582.00 N	22563.00 N
Resistencia a la flexión máxima	43.50 Kg/cm ²	45.50 Kg/cm ²	45.50 Kg/cm ²	41.50 Kg/cm ²	44.50 Kg/cm ²	42.00 Kg/cm ²	43.75 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	2.08 mín.	1.98 mín.	2.33 mín.	2.40 mín.	2.45 mín.	2.50 mín.	2.29 mín.
Velocidad de ensayo	2.09Kg/cm ² /mín.	2.30Kg/cm ² /mín.	1.95Kg/cm ² /mín.	1.73Kg/cm ² /mín.	1.82Kg/cm ² /mín.	1.68Kg/cm ² /mín.	1.93Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	1.8 mm	1.6 mm	2.0 mm	1.3 mm	1.4 mm	1.2 mm	1.5 mm
Longitud de fisura	119.6 mm	107.1 mm	115.3 mm	116.0 mm	117.6 mm	128.2 mm	117.3 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

Tabla N° 70: Especímenes ensayados a flexión, siete días de edad, con 20% de adición de puzolana-traquita

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F01-7D-20%	F02-7D-20%	F03-7D-20%	F04-7D-20%	F05-7D-20%	F06-7D-20%	---
Edad de ensayo	7 DÍAS	---					
Ancho promedio	174 mm	152 mm	143 mm	150 mm	149 mm	150 mm	---
Alto promedio	146 mm	162 mm	152 mm	153 mm	154 mm	154 mm	---
Largo promedio	496 mm	502 mm	502 mm	499 mm	499 mm	498 mm	---
Peso	289.40 N	286.30 N	251.75 N	259.50 N	262.45 N	261.35 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2341.24 kg/m ³	2360.97 kg/m ³	2351.89 kg/m ³	2309.86 kg/m ³	2336.52 kg/m ³	2315.86 kg/m ³	2336.06 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	19620.00 N	19620.00 N	18639.00 N	18639.00 N	17658.00 N	19620.00 N	18966.00 N
Resistencia a la flexión máxima	36.00 Kg/cm ²	33.50 Kg/cm ²	38.50 Kg/cm ²	36.00 Kg/cm ²	34.00 Kg/cm ²	37.50 Kg/cm ²	35.92 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	1.80 mín.	1.32 mín.	1.83 mín.	1.58 mín.	1.68 mín.	1.92 mín.	1.69 mín.
Velocidad de ensayo	2.00Kg/cm ² /mín.	2.54Kg/cm ² /mín.	2.10Kg/cm ² /mín.	2.28Kg/cm ² /mín.	2.02Kg/cm ² /mín.	1.95Kg/cm ² /mín.	2.15Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	2.1 mm	2.1 mm	2.2 mm	2.0 mm	2.1 mm	2.1 mm	2.1 mm
Longitud de fisura	106.2 mm	104.4 mm	131.1 mm	108.6 mm	125.3 mm	127.3 mm	117.1 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

Tabla N° 71: Especímenes ensayados a flexión, catorce días de edad, con 20% de adición de puzolana-traquita.

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F01-14D-20%	F02-14D-20%	F03-14D-20%	F04-14D-20%	F05-14D-20%	F06-14D-20%	---
Edad de ensayo	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	14 DÍAS	---
Ancho promedio	151 mm	153 mm	158 mm	148 mm	149 mm	154 mm	---
Alto promedio	154 mm	151 mm	153 mm	156 mm	154 mm	165 mm	---
Largo promedio	494 mm	504 mm	504 mm	502 mm	499 mm	499 mm	---
Peso	261.45 N	266.85 N	266.85 N	264.40 N	264.90 N	293.35 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2320.04 kg/m ³	2336.14 kg/m ³	2232.64 kg/m ³	2325.43 kg/m ³	2358.33 kg/m ³	2358.37 kg/m ³	2321.83 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	20601.00 N	20601.00 N	21582.00 N	21582.00 N	19620.00 N	20601.00 N	20764.50 N
Resistencia a la flexión máxima	39.00 Kg/cm ²	40.00 Kg/cm ²	39.50 Kg/cm ²	40.50 Kg/cm ²	37.50 Kg/cm ²	33.50 Kg/cm ²	38.33 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	2.11 mín.	2.10 mín.	2.02 mín.	2.01 mín.	2.26 mín.	2.14 mín.	2.11 mín.
Velocidad de ensayo	1.85Kg/cm ² /mín.	1.90Kg/cm ² /mín.	1.96Kg/cm ² /mín.	2.01Kg/cm ² /mín.	1.66Kg/cm ² /mín.	1.57Kg/cm ² /mín.	1.83Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	1.6 mm	1.4 mm	2.1 mm	2.1 mm	1.7 mm	2.2 mm	1.9 mm
Longitud de fisura	101.0 mm	108.5 mm	115.1 mm	98.4 mm	95.1 mm	109.2 mm	104.6 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

Tabla N° 72: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, con 20 % de adición de puzolana.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	F01-28D-20%	F02-28D-20%	F03-28D-20%	F04-28D-20%	F05-28D-20%	F06-28D-20%	---
Edad de ensayo	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	28 DÍAS	---
Ancho promedio	152 mm	156 mm	149 mm	151 mm	151 mm	154 mm	---
Alto promedio	153 mm	157 mm	148 mm	151 mm	152 mm	154 mm	---
Largo promedio	504 mm	506 mm	506 mm	498 mm	506 mm	503 mm	---
Peso	266.35 N	286.00 N	256.55 N	261.45 N	266.35 N	271.25 N	---
Peso unitario en estado endurecido	2316.42 kg/m ³	2352.46 kg/m ³	2343.71 kg/m ³	2347.13 kg/m ³	2337.83 kg/m ³	2317.88 kg/m ³	2335.91 kg/m ³
Longitud del tramo de ensayo	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Carga máxima de rotura	20601.00 N	22563.00 N	23544.00 N	23544.00 N	23544.00 N	21582.00 N	22563.00 N
Resistencia a la flexión máxima	39.50 Kg/cm ²	40.00 Kg/cm ²	49.00 Kg/cm ²	46.50 Kg/cm ²	46.00 Kg/cm ²	40.00 Kg/cm ²	43.50 Kg/cm ²
Tiempo de ensayo	2.20 mín.	2.28 mín.	2.25 mín.	1.95 mín.	2.38 mín.	2.08 mín.	2.19 mín.
Velocidad de ensayo	1.80Kg/cm ² /mín.	1.75Kg/cm ² /mín.	2.18Kg/cm ² /mín.	2.38Kg/cm ² /mín.	1.93Kg/cm ² /mín.	1.92Kg/cm ² /mín.	1.99Kg/cm ² /mín.
Ancho mayor de fisura	2.0 mm	1.6 mm	1.8 mm	1.6 mm	1.0 mm	1.3 mm	1.5 mm
Longitud de fisura	97.6 mm	105.1 mm	96.1 mm	102.6 mm	101.2 mm	99.0 mm	100.3 mm
Tipo de espécimen	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	PRISMÁTICO	---

7.11. ANEXO XI: TABLAS DE ANALISIS DE COSTO DE MATERIALES.

Tabla 73: Costo de materiales con 0% de puzolana

Descripción	Und.	Cantidad	P.U (S/.)	Parcial
Cemento tipo I	Bls	8.82	23	202.79
Agua Potable	m3	0.20	2	0.40
Agregado Fino	m3	0.53	50	26.63
Agregado Grueso	m3	0.66	50	32.99
Puzolana volcánica	Kg	0.00	0	0.00
Sikacem acelerante pe	Lts	10.6	10.0	105.80
TOTAL(S/.)				368.61

Tabla 74: Costo de materiales con 10% de puzolana.

Descripción	Und.	Cantidad	P.U (S/.)	Parcial
Cemento tipo I	Bls	7.94	23.00	182.51
Agua Potable	m3	0.20	2.00	0.40
Agregado Fino	m3	0.53	50.00	26.50
Agregado Grueso	m3	0.66	50.00	32.84
Puzolana volcánica	Kg	37.47	0.01	0.37
Sikacem acelerante pe	Lts	9.52	10.00	95.22
TOTAL(S/.)				337.84

Tabla 75: Costo de materiales con 15% de puzolana.

Descripción	Und.	Cantidad	P.U (S/.)	Parcial
Cemento	Bls	7.49	23.00	172.37
Agua Potable	m3	0.20	2.00	0.40
Agregado Fino	m3	0.53	50.00	26.47
Agregado Grueso	m3	0.66	50.00	32.76
Puzolana volcánica	Kg	56.21	0.01	0.56
Sikacem acelerante pe	Lts	8.99	10.00	89.93
TOTAL(S/.)				322.49

Tabla 76 : Costo de materiales con 20% de puzolana.

Descripción	Und.	Cantidad	P.U (S/.)	Parcial
Cemento	Bls	7.05	23.00	162.23
Agua Potable	m3	0.20	2.00	0.40
Agregado Fino	m3	0.53	50.00	26.41
Agregado Grueso	m3	0.65	50.00	32.69
Puzolana volcanica	Kg	74.94	0.01	0.75
Sikacem acelerante pe	Lts	8.46	10.00	84.64
TOTAL(S/.)				307.11

7.12. ANEXO XII: CURVAS REPRESENTATIVAS DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA.

Tabla N° 77: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C05-28D-0%

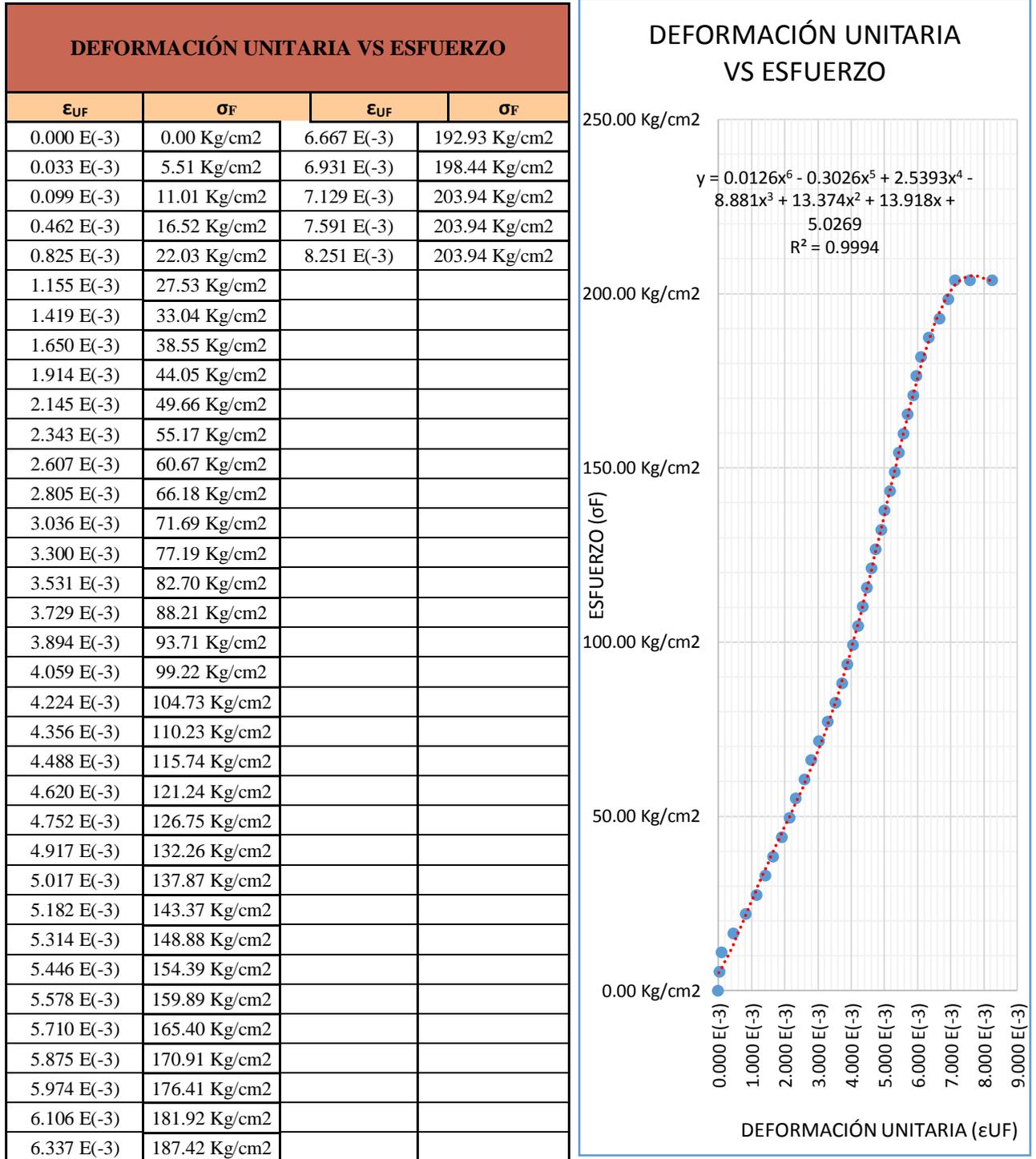


Gráfico N° 18: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C05-28D-0%

Tabla N° 78: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F06-28D-0.0%

DEFORMACIÓN UNITARIA VS ESFUERZO	
ϵ_{UF}	σ_F
0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm2
0.519 E(-3)	1.94 Kg/cm2
1.104 E(-3)	3.77 Kg/cm2
1.494 E(-3)	5.71 Kg/cm2
1.883 E(-3)	7.55 Kg/cm2
2.208 E(-3)	9.48 Kg/cm2
2.468 E(-3)	11.42 Kg/cm2
2.727 E(-3)	13.26 Kg/cm2
2.987 E(-3)	15.19 Kg/cm2
3.247 E(-3)	17.13 Kg/cm2
3.442 E(-3)	18.97 Kg/cm2
3.701 E(-3)	20.90 Kg/cm2
3.896 E(-3)	22.74 Kg/cm2
4.156 E(-3)	24.68 Kg/cm2
4.286 E(-3)	26.61 Kg/cm2
4.416 E(-3)	28.45 Kg/cm2
4.545 E(-3)	30.39 Kg/cm2
4.675 E(-3)	32.22 Kg/cm2
4.805 E(-3)	34.16 Kg/cm2
5.065 E(-3)	36.10 Kg/cm2
5.325 E(-3)	37.93 Kg/cm2
5.714 E(-3)	39.87 Kg/cm2
6.169 E(-3)	41.81 Kg/cm2
6.494 E(-3)	41.81 Kg/cm2
6.818 E(-3)	41.81 Kg/cm2

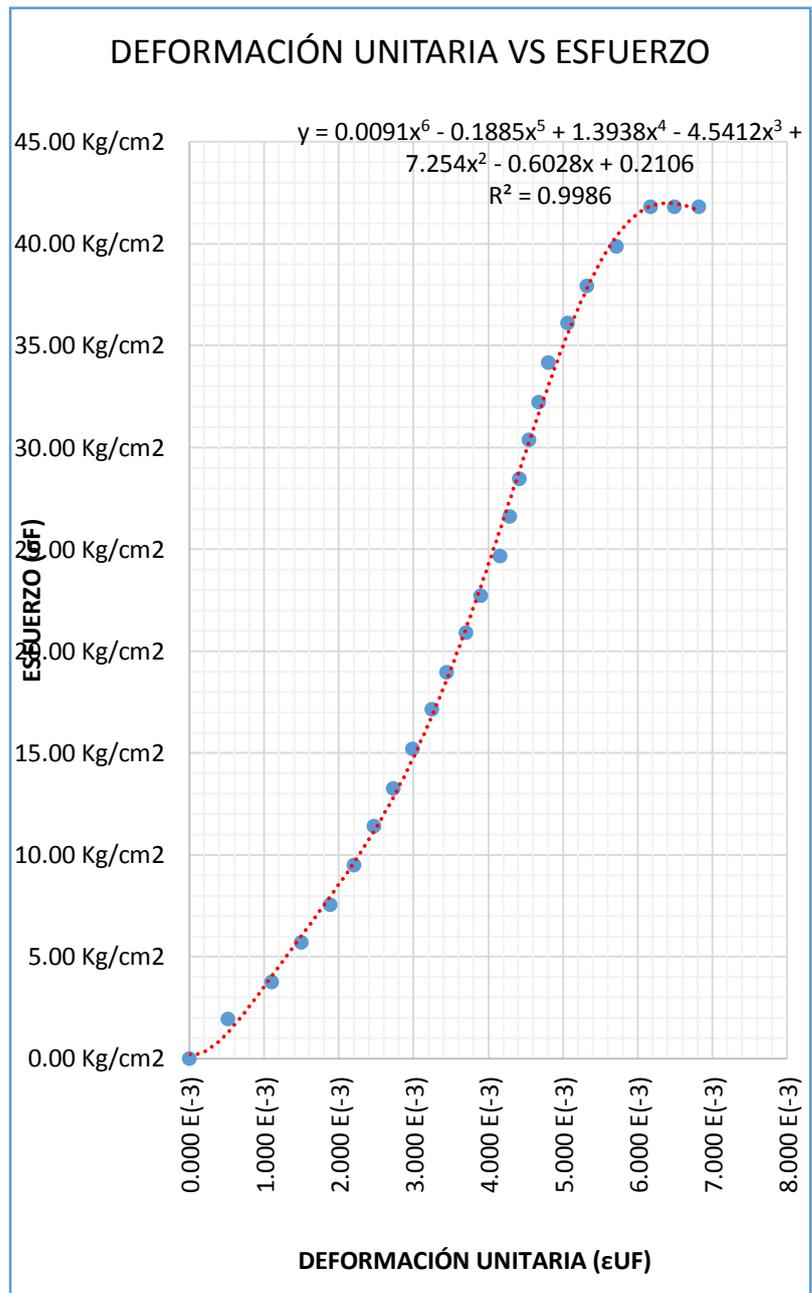


Gráfico N° 19: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F06-28D-0%

Tabla N° 79: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C06-28D-10%

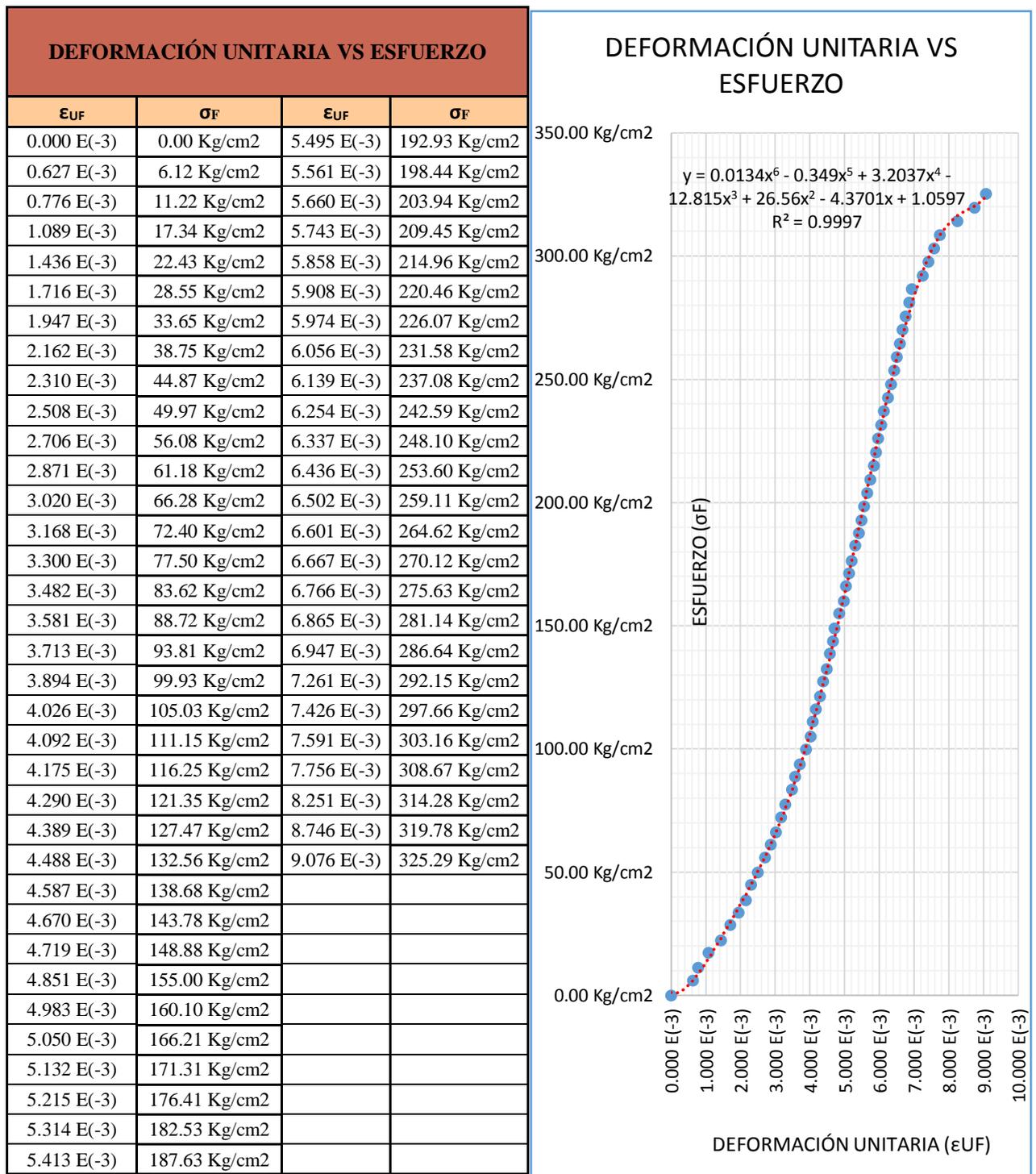


Gráfico N° 20 Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C05-28D-10%

Tabla N° 80: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F06-28D-10%

DEFORMACIÓN UNITARIA VS ESFUERZO	
ϵ_{UF}	σ_F
0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm2
0.196 E(-3)	1.94 Kg/cm2
0.523 E(-3)	3.87 Kg/cm2
0.980 E(-3)	5.81 Kg/cm2
1.242 E(-3)	7.75 Kg/cm2
1.438 E(-3)	9.69 Kg/cm2
1.699 E(-3)	11.62 Kg/cm2
1.895 E(-3)	13.56 Kg/cm2
2.222 E(-3)	15.50 Kg/cm2
2.418 E(-3)	17.44 Kg/cm2
2.484 E(-3)	19.37 Kg/cm2
2.680 E(-3)	21.31 Kg/cm2
2.810 E(-3)	23.25 Kg/cm2
2.941 E(-3)	25.19 Kg/cm2
3.072 E(-3)	27.12 Kg/cm2
3.203 E(-3)	29.06 Kg/cm2
3.399 E(-3)	31.00 Kg/cm2
3.464 E(-3)	32.94 Kg/cm2
3.595 E(-3)	34.87 Kg/cm2
3.725 E(-3)	36.81 Kg/cm2
3.922 E(-3)	38.75 Kg/cm2
4.248 E(-3)	40.69 Kg/cm2
4.510 E(-3)	42.62 Kg/cm2
4.771 E(-3)	44.56 Kg/cm2

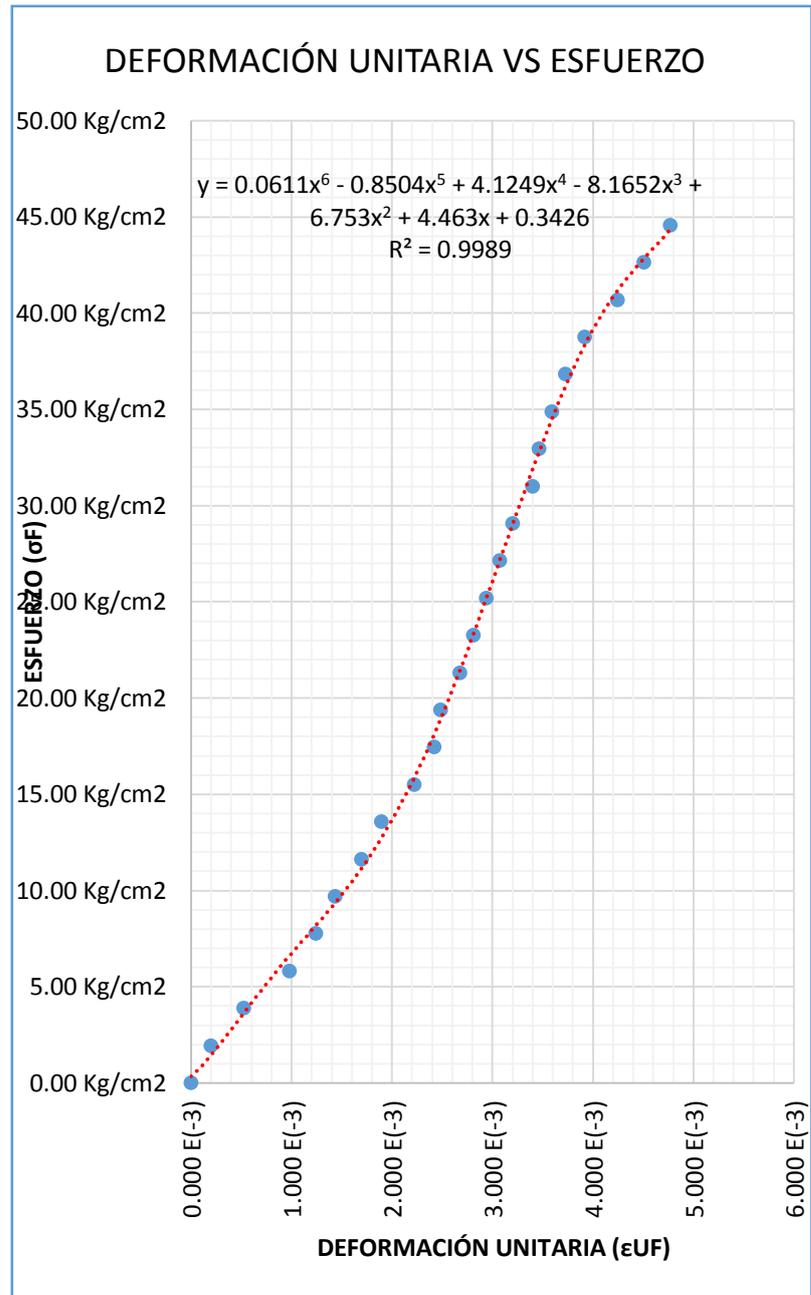


Gráfico N° 21: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F06-28D-10%

Tabla N° 81: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C05-28D-15%

DEFORMACIÓN UNITARIA VS ESFUERZO			
ε _{UF}	σ _F	ε _{UF}	σ _F
0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm2	5.928 E(-3)	195.48 Kg/cm2
0.065 E(-3)	6.12 Kg/cm2	5.993 E(-3)	201.09 Kg/cm2
0.261 E(-3)	11.22 Kg/cm2	6.091 E(-3)	206.70 Kg/cm2
0.749 E(-3)	17.34 Kg/cm2	6.189 E(-3)	212.31 Kg/cm2
1.107 E(-3)	22.43 Kg/cm2	6.254 E(-3)	217.81 Kg/cm2
1.368 E(-3)	28.55 Kg/cm2	6.352 E(-3)	223.42 Kg/cm2
1.726 E(-3)	33.65 Kg/cm2	6.450 E(-3)	229.03 Kg/cm2
1.954 E(-3)	39.77 Kg/cm2	6.515 E(-3)	234.64 Kg/cm2
2.182 E(-3)	44.87 Kg/cm2	6.678 E(-3)	240.25 Kg/cm2
2.443 E(-3)	50.99 Kg/cm2	6.840 E(-3)	245.75 Kg/cm2
2.736 E(-3)	56.08 Kg/cm2	7.003 E(-3)	251.36 Kg/cm2
2.899 E(-3)	62.20 Kg/cm2	7.166 E(-3)	256.97 Kg/cm2
3.160 E(-3)	67.30 Kg/cm2	7.362 E(-3)	262.58 Kg/cm2
3.322 E(-3)	73.42 Kg/cm2	7.557 E(-3)	268.08 Kg/cm2
3.485 E(-3)	78.52 Kg/cm2	7.752 E(-3)	273.69 Kg/cm2
3.648 E(-3)	84.64 Kg/cm2	8.078 E(-3)	279.30 Kg/cm2
3.779 E(-3)	89.74 Kg/cm2	8.404 E(-3)	284.91 Kg/cm2
3.941 E(-3)	95.85 Kg/cm2	9.055 E(-3)	290.52 Kg/cm2
4.104 E(-3)	100.95 Kg/cm2		
4.267 E(-3)	107.07 Kg/cm2		
4.397 E(-3)	112.17 Kg/cm2		
4.560 E(-3)	118.29 Kg/cm2		
4.658 E(-3)	123.39 Kg/cm2		
4.788 E(-3)	128.48 Kg/cm2		
4.886 E(-3)	134.60 Kg/cm2		
5.016 E(-3)	139.70 Kg/cm2		
5.081 E(-3)	145.82 Kg/cm2		
5.179 E(-3)	150.92 Kg/cm2		
5.309 E(-3)	157.04 Kg/cm2		
5.407 E(-3)	162.14 Kg/cm2		
5.472 E(-3)	168.25 Kg/cm2		
5.570 E(-3)	173.35 Kg/cm2		
5.668 E(-3)	179.47 Kg/cm2		
5.765 E(-3)	184.57 Kg/cm2		
5.831 E(-3)	190.69 Kg/cm2		

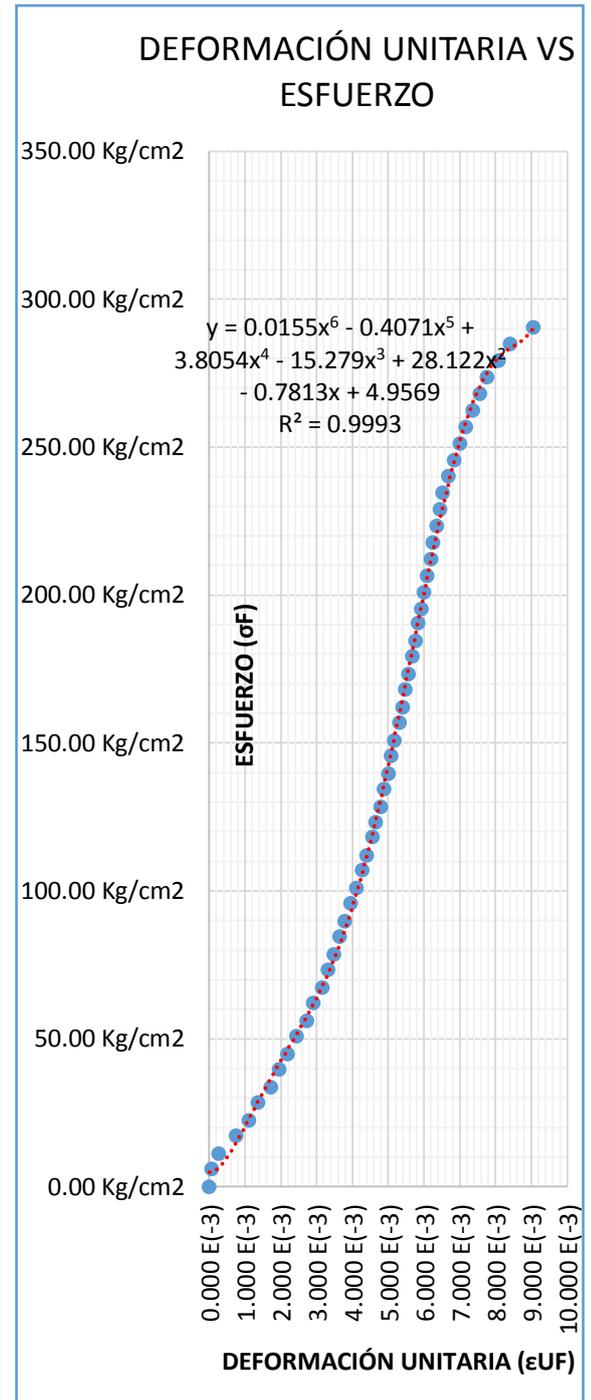


Gráfico N° 22: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C05-28D-15%

Tabla N° 82: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F01-28D-15%

DEFORMACIÓN UNITARIA VS ESFUERZO	
ϵ_{UF}	σ_F
0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm2
0.260 E(-3)	1.94 Kg/cm2
0.455 E(-3)	3.77 Kg/cm2
0.649 E(-3)	5.71 Kg/cm2
0.974 E(-3)	7.65 Kg/cm2
1.104 E(-3)	9.59 Kg/cm2
1.299 E(-3)	11.42 Kg/cm2
1.494 E(-3)	13.36 Kg/cm2
1.623 E(-3)	15.30 Kg/cm2
1.753 E(-3)	17.23 Kg/cm2
1.948 E(-3)	19.07 Kg/cm2
2.078 E(-3)	21.01 Kg/cm2
2.143 E(-3)	22.94 Kg/cm2
2.273 E(-3)	24.88 Kg/cm2
2.403 E(-3)	26.72 Kg/cm2
2.532 E(-3)	28.65 Kg/cm2
2.597 E(-3)	30.59 Kg/cm2
2.727 E(-3)	32.53 Kg/cm2
2.857 E(-3)	34.36 Kg/cm2
3.052 E(-3)	36.30 Kg/cm2
3.247 E(-3)	38.24 Kg/cm2
3.442 E(-3)	40.18 Kg/cm2
3.636 E(-3)	42.01 Kg/cm2
4.156 E(-3)	43.95 Kg/cm2
0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm2

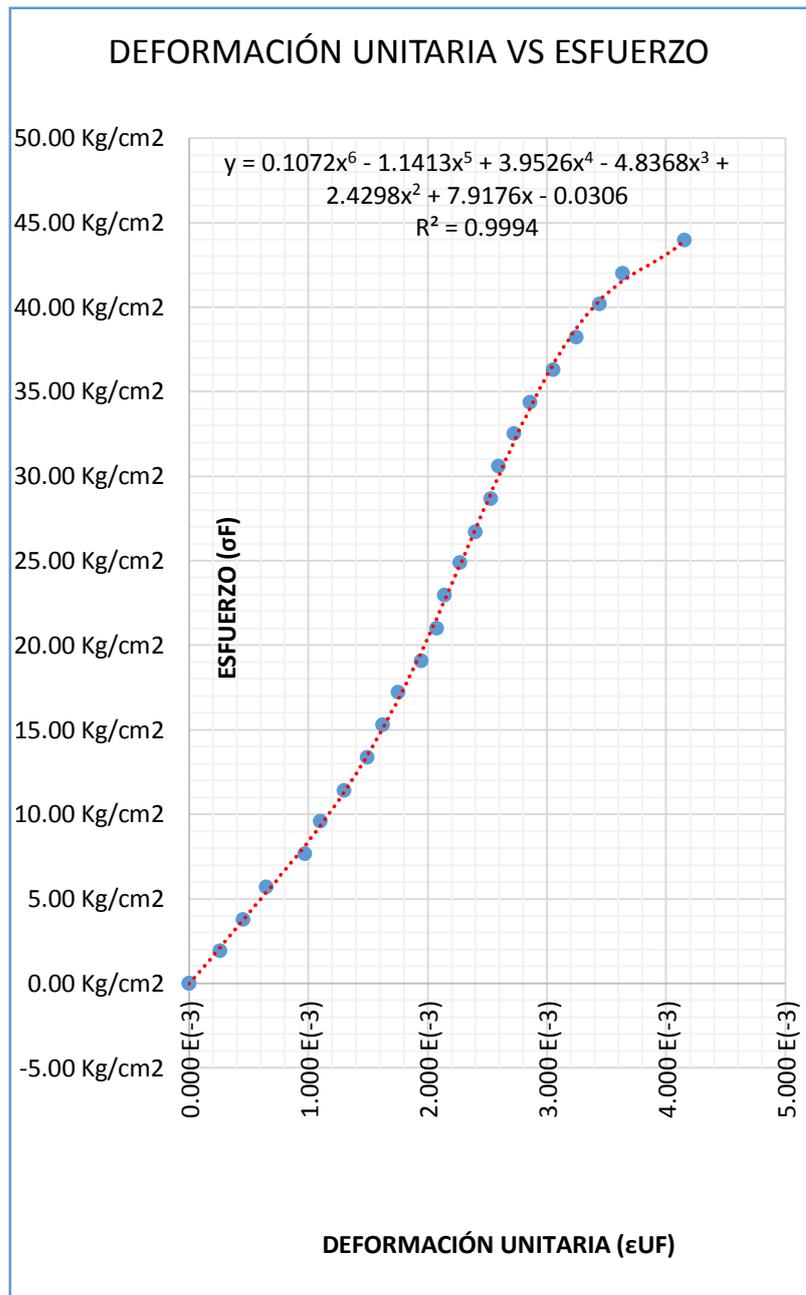


Gráfico N° 23: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F01-28D-15%

Tabla N°83: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C01-28D-20%

DEFORMACIÓN UNITARIA VS ESFUERZO			
ϵ_{UF}	σ_F	ϵ_{UF}	σ_F
0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm2	6.875 E(-3)	192.93 Kg/cm2
0.164 E(-3)	5.51 Kg/cm2	7.072 E(-3)	198.44 Kg/cm2
0.658 E(-3)	11.01 Kg/cm2	7.270 E(-3)	203.94 Kg/cm2
0.987 E(-3)	16.52 Kg/cm2	7.467 E(-3)	209.45 Kg/cm2
1.316 E(-3)	22.03 Kg/cm2	7.664 E(-3)	214.96 Kg/cm2
1.645 E(-3)	27.53 Kg/cm2	7.862 E(-3)	220.46 Kg/cm2
1.875 E(-3)	33.04 Kg/cm2	8.059 E(-3)	226.07 Kg/cm2
2.039 E(-3)	38.55 Kg/cm2	8.257 E(-3)	231.58 Kg/cm2
2.303 E(-3)	44.05 Kg/cm2	8.454 E(-3)	237.08 Kg/cm2
2.434 E(-3)	49.66 Kg/cm2	8.651 E(-3)	242.59 Kg/cm2
2.763 E(-3)	55.17 Kg/cm2	8.882 E(-3)	248.10 Kg/cm2
2.928 E(-3)	60.67 Kg/cm2	9.112 E(-3)	253.60 Kg/cm2
3.092 E(-3)	66.18 Kg/cm2	9.342 E(-3)	259.11 Kg/cm2
3.224 E(-3)	71.69 Kg/cm2	9.572 E(-3)	264.62 Kg/cm2
3.454 E(-3)	77.19 Kg/cm2	9.803 E(-3)	270.12 Kg/cm2
3.618 E(-3)	82.70 Kg/cm2	10.526 E(-3)	275.63 Kg/cm2
3.783 E(-3)	88.21 Kg/cm2	10.855 E(-3)	281.14 Kg/cm2
4.013 E(-3)	93.71 Kg/cm2	12.500 E(-3)	286.64 Kg/cm2
4.112 E(-3)	99.22 Kg/cm2		
4.276 E(-3)	104.73 Kg/cm2		
4.507 E(-3)	110.23 Kg/cm2		
4.605 E(-3)	115.74 Kg/cm2		
4.868 E(-3)	121.24 Kg/cm2		
5.000 E(-3)	126.75 Kg/cm2		
5.197 E(-3)	132.26 Kg/cm2		
5.329 E(-3)	137.87 Kg/cm2		
5.526 E(-3)	143.37 Kg/cm2		
5.658 E(-3)	148.88 Kg/cm2		
5.789 E(-3)	154.39 Kg/cm2		
5.921 E(-3)	159.89 Kg/cm2		
6.053 E(-3)	165.40 Kg/cm2		
6.217 E(-3)	170.91 Kg/cm2		
6.316 E(-3)	176.41 Kg/cm2		
6.447 E(-3)	181.92 Kg/cm2		
6.809 E(-3)	187.42 Kg/cm2		

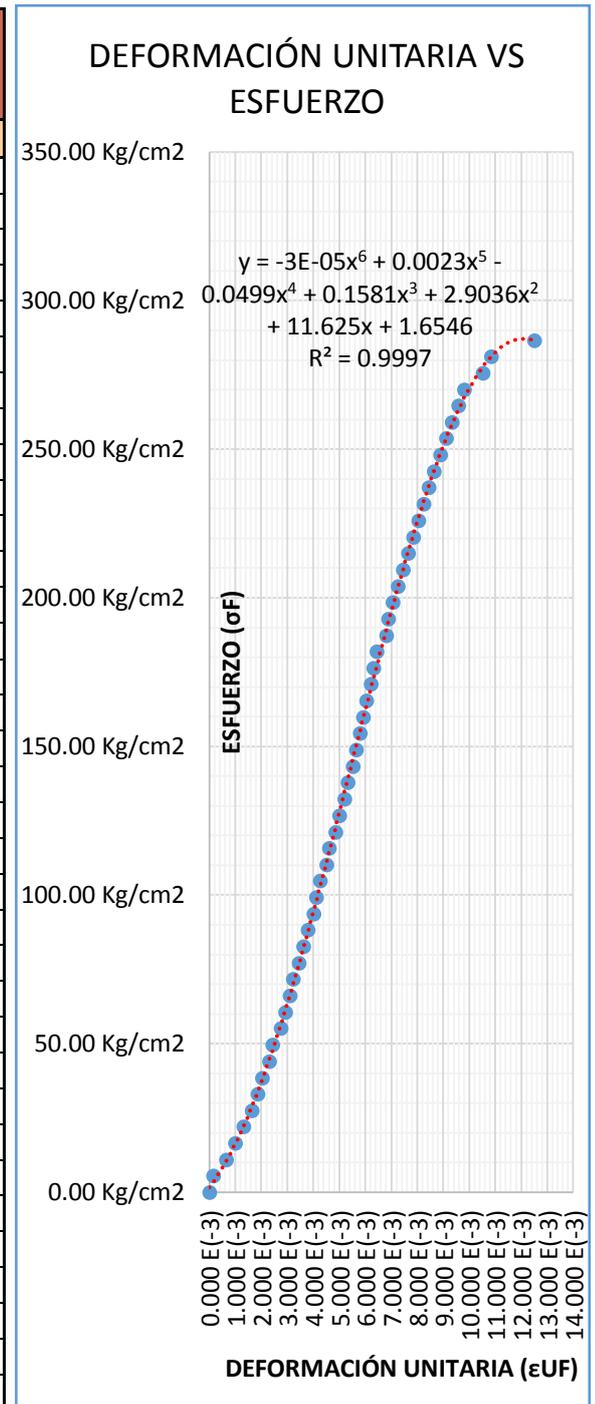


Gráfico N° 24: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen C01-28D-20%

Tabla N°84: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F01-28D-20%

DEFORMACIÓN UNITARIA VS ESFUERZO	
ϵ_{UF}	σ_F
0.000 E(-3)	0.00 Kg/cm2
0.203 E(-3)	2.04 Kg/cm2
0.541 E(-3)	4.18 Kg/cm2
1.014 E(-3)	6.22 Kg/cm2
1.351 E(-3)	8.26 Kg/cm2
1.824 E(-3)	10.30 Kg/cm2
2.297 E(-3)	12.44 Kg/cm2
2.568 E(-3)	14.48 Kg/cm2
2.905 E(-3)	16.52 Kg/cm2
3.176 E(-3)	18.66 Kg/cm2
3.378 E(-3)	20.70 Kg/cm2
3.716 E(-3)	22.74 Kg/cm2
3.919 E(-3)	24.78 Kg/cm2
4.189 E(-3)	26.92 Kg/cm2
4.324 E(-3)	28.96 Kg/cm2
4.527 E(-3)	31.00 Kg/cm2
4.662 E(-3)	33.14 Kg/cm2
4.865 E(-3)	35.18 Kg/cm2
5.068 E(-3)	37.22 Kg/cm2
5.405 E(-3)	39.26 Kg/cm2
5.743 E(-3)	41.40 Kg/cm2
6.419 E(-3)	43.44 Kg/cm2

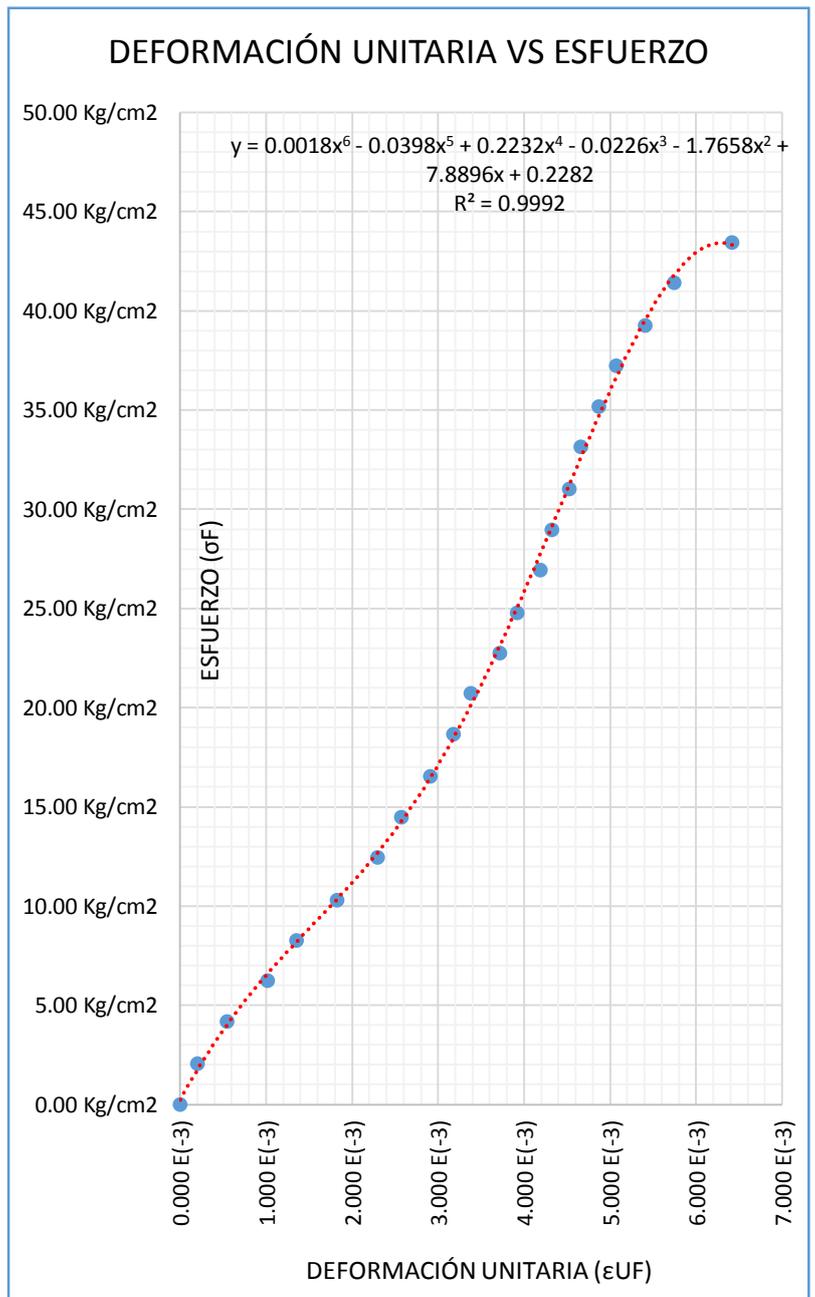


Gráfico N° 25: Esfuerzos y deformaciones unitarias del espécimen F01-28D-20%