

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE LAJAS Y AGUJAS DE LOS AGREGADOS
GRUESOS USADOS LOCALMENTE PARA LA ELABORACIÓN DE
CONCRETO DE $F'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ ”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR EL BACHILLER:

ROLANDO CALUA ZAMBRANO

ASESOR:

ING. LUCIO MARCIAL SIFUENTES INOSTROZA

Cajamarca – Perú

2019

Agradecimiento

Mi profundo agradecimiento a Dios por brindarme este paso importante en mi vida, y otorgarme sabiduría para concluir con éxito este trabajo de titulación.

A mi asesor Ing. Lucio Marcial Sifuentes Hinostraza, por su apoyo incondicional, por su tiempo, ayuda y orientación en el desarrollo y culminación de la investigación.

A mi familia y amigos, por todo el apoyo incondicional que siempre me brindan, por su confianza y amor.

El autor.

Dedicatoria

A Dios, que fortaleció mi corazón e iluminó mi mente para guiar mi camino durante todo mi periodo de estudio.

A mis padres: Rosa Zambrano Chilón y Leonardo Calua Castrejón, por siempre brindarme su apoyo y amor en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos: Esteban, Luzmila y Homero, por ser siempre un ejemplo y motivación a seguir.

Índice de Contenido

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA.....	II
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. HIPÓTESIS	3
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo general.	3
1.4.2. Objetivos específicos.	3
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	3
1.6.1. Alcances.	3
1.6.2. Limitaciones.	4
1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.7.1. Tipo.....	4
1.7.2. Diseño.	4
1.7.3. Variables.	4
1.7.4. Muestra.....	4
1.7.5. Unidad de análisis.....	4
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1. Agregado.....	6

2.2.2.	Propiedades Físicas de los Agregados	13
2.2.3.	Propiedades Químicas de los Agregados	29
2.2.4.	Cemento.	30
2.2.5.	Agua.	32
2.2.6.	Concreto	34
2.2.7.	Propiedades a Evaluar del Concreto	41
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....		49
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
3.2.	DESCRIPCIÓN DE CANTERAS.....	49
3.2.1.	Descripción de la cantera Bazán.....	49
3.2.2.	Descripción de la cantera Ortiz.	49
3.2.3.	Trituración de agregados en cantera.	50
3.3.	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES	52
3.3.1.	Requerimientos del concreto considerados para el diseño de mezclas.....	52
3.3.2.	Propiedades de los materiales a considerar para el diseño de mezclas.....	53
3.3.3.	Diseño de mezclas de la Cantera Bazán.	53
3.3.4.	Procedimiento realizado para el ajuste de las proporciones de la cantera Bazán....	57
3.3.5.	Diseño de mezclas de la Cantera Ortiz.	59
3.3.6.	Procedimiento realizado para el ajuste de las proporciones de la cantera Ortiz.	63
3.4.	PROCEDIMIENTO REALIZADO PARA LA VARIACIÓN DE LOS ÍNDICES DE LAJAS Y AGUJAS.....	65
3.4.1.	Especímenes de concreto a diferentes índices de lajas y agujas.	65
3.5.	TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	68
3.5.1.	Técnicas e instrumentos de recopilación de información.	68
3.5.2.	Técnicas de procesamiento y análisis de información.....	68
3.5.3.	Análisis de los resultados.....	68
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		69
4.1.	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....	69
4.2.	ANÁLISIS DE LA PETROGRAFÍA DEL AGREGADO GRUESO	75
4.3.	ANÁLISIS DE LA CONSISTENCIA DE LAS MEZCLAS	75
4.4.	ANÁLISIS DE LA DENSIDAD DE MASA DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	77

4.5. ANÁLISIS DE LA DENSIDAD DE MASA DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	78
4.6. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESIÓN	79
4.7. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A FLEXIÓN	80
4.8. ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	81
4.9. ANÁLISIS DE LA POROSIDAD DEL CONCRETO	82
4.10. CONTRASTE DE HIPÓTESIS	83
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
5.1. CONCLUSIONES	84
5.2. RECOMENDACIONES.....	85
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
CAPITULO VII. ANEXOS	90
6.1. ANEXO I: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO.....	90
6.2. ANEXO II: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.....	91
6.3. ANEXO III: TABLAS PARA CAMBIAR ÍNDICE DE LAJAS.	102
6.4. ANEXO IV: TABLAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS.	106
6.5. ANEXO V: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO.	108
6.6. ANEXO VI: CONSTANCIA DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.....	135
6.7. ANEXO VII: PANEL FOTOGRÁFICO.	136
6.8. ANEXO VIII: PLANOS DE UBICACIÓN.	141

Índice de Tablas

Tabla N° 1: Tamices a utilizar para realizar el análisis granulométrico.	7
Tabla N° 2: Clasificación de agregado fino por tamaño.	8
Tabla N° 3: Clasificación de agregado grueso por tamaño.	8
Tabla N° 4: Clasificación, con ejemplos, de la forma de las partículas de los agregados.	10
Tabla N° 5: Medida de las muestras	12
Tabla N° 6: Límites Granulométricos	14
Tabla N° 7: Requisitos granulométricos del agregado grueso	18
Tabla N° 8: Cantidad mínima de muestra para partículas menores al tamiz N° 200	22
Tabla N° 9: Muestra requerida para el ensayo de abrasión	23
Tabla N° 10: Dimensiones de los calibradores de grosor, longitud y peso mínimo para subdivisión de la fracción	26
Tabla N° 11: Cantidad de muestras por tamaño nominal del agregado.	27
Tabla N° 12: Compuestos principales del cemento portland.	31
Tabla N° 13: Cementos comercializados en Perú.	32
Tabla N° 14: Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada.	33
Tabla N° 15: Edad de ensayo de los especímenes y tolerancia	44
Tabla N° 16: Resumen de las propiedades de los agregados.	53
Tabla N° 17: Balance de pesos y volúmenes cantera Ortiz.	54
Tabla N° 18: Determinación de volumen remanente de arena cantera Ortiz.	55
Tabla N° 19: Balance de pesos y volúmenes cantera Bazán.	60
Tabla N° 20: Determinación de volumen remanente de arena cantera Bazán.	61
Tabla N° 21: Distribución de especímenes para ensayos, cantera Bazán.	67
Tabla N° 22: Distribución de especímenes para ensayos, cantera Ortiz.	67
Tabla N° 23: Propiedades del agregado fino, cantera Bazán.	69
Tabla N° 24: Propiedades del agregado grueso, cantera Bazán.	71
Tabla N° 25: Propiedades del agregado grueso, cantera Ortiz.	73
Tabla N° 26: Petrografía del agregado grueso de la cantera Bazán.	75
Tabla N° 27: Petrografía del agregado grueso de la cantera Ortiz.	75

Tabla N° 28: Asentamiento de concreto con agregado de la cantera Bazán.	76
Tabla N° 29: Asentamiento de concreto con agregado de la cantera Ortiz.....	76
Tabla N° 30: Densidad de masa del concreto fresco con agregado de la cantera Bazán.	77
Tabla N° 31: Densidad de masa del concreto fresco con agregado de la cantera Ortiz.....	78
Tabla N° 32: Densidad de masa del concreto endurecido con agregado de la cantera Bazán.	78
Tabla N° 33: Densidad de masa del concreto endurecido con agregado de la cantera Ortiz.	79
Tabla N° 34: Promedio de resistencia a la compresión del concreto con agregados de la cantera Bazán.....	79
Tabla N° 35: Promedio de resistencia a la compresión del concreto con agregado de la cantera Ortiz.....	80
Tabla N° 36: Promedio de resistencia a la flexión del concreto con agregado de la cantera Bazán.	80
Tabla N° 37: Promedio de resistencia a la flexión del concreto con agregado de la cantera Ortiz.....	81
Tabla N° 38: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y variaciones de índices de agregado de la cantera Bazán, método ACI 318.	81
Tabla N° 39: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y variaciones de índices de agregado de la cantera Ortiz, método ACI 318.	82
Tabla N° 40: Promedio de la porosidad del concreto con agregados de la cantera Bazán. ...	82
Tabla N° 41: Promedio de la porosidad del concreto con agregados de la cantera Ortiz.	83
Tabla N° 42: Análisis granulométrico del agregado fino, cantera Bazán, ensayo 01.....	91
Tabla N° 43: Análisis granulométrico del agregado fino, cantera Bazán, ensayo 02.....	91
Tabla N° 44: Análisis granulométrico del agregado fino, cantera Bazán., ensayo 03.....	91
Tabla N° 45: Peso específico y absorción del agregado fino, cantera Bazán.....	92
Tabla N° 46: Contenido de humedad agregado fino, cantera Bazán.	92
Tabla N° 47: Factor de agua (f).	92
Tabla N° 48: Peso unitario suelto del agregado fino, cantera Bazán.....	93
Tabla N° 49: Peso unitario compactado del agregado fino, cantera Bazán.	93
Tabla N° 50: Material que pasa la malla n° 200 del agregado fino, cantera Bazán.	93
Tabla N° 51: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Bazán, ensayo 01.....	94
Tabla N° 52: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Bazán, ensayo 02.....	94
Tabla N° 53: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Bazán, ensayo 03.....	95
Tabla N° 54: Peso específico y absorción del agregado grueso, cantera Bazán.	95

Tabla N° 55: Contenido de humedad agregado grueso, cantera Bazán.	95
Tabla N° 56: Peso unitario suelto del agregado grueso, cantera Bazán.	96
Tabla N° 57: Peso unitario compactado del agregado grueso, cantera Bazán.	96
Tabla N° 58: Abrasión del agregado grueso, cantera Bazán.	96
Tabla N° 59: Material que pasa la malla n° 200 del agregado grueso, cantera Bazán.	96
Tabla N° 60: Índice de lajas del agregado grueso, cantera Bazán.	97
Tabla N° 61: Índice de agujas del agregado grueso, cantera Bazán.	97
Tabla N° 62: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Ortiz, ensayo 01.	98
Tabla N° 63: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Ortiz, ensayo 02.	98
Tabla N° 64: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Ortiz, ensayo 03.	99
Tabla N° 65: Peso específico y absorción del agregado grueso, cantera Ortiz.	99
Tabla N° 66: Contenido de humedad agregado grueso, cantera Ortiz.	99
Tabla N° 67: Peso unitario suelto del agregado grueso, cantera Ortiz.	100
Tabla N° 68: Peso unitario compactado del agregado grueso, cantera Ortiz.	100
Tabla N° 69: Abrasión del agregado grueso, cantera Ortiz.	100
Tabla N° 70: Material que pasa la malla n° 200 del agregado grueso, cantera Ortiz.	100
Tabla N° 71: Índice de lajas del agregado grueso, cantera Ortiz.	101
Tabla N° 72: Índice de agujas del agregado grueso, cantera Ortiz.	101
Tabla N° 73: Variación 01, $I_1 = 14.87\%$, cantera Bazán.	102
Tabla N° 74: Variación 01, $I_a = 17.20\%$, cantera Bazán.	102
Tabla N° 75: Variación 02, $I_1 = 37.16\%$, cantera Bazán.	103
Tabla N° 76: Variación 02, $I_a = 43\%$, cantera Bazán.	103
Tabla N° 77: Variación 01, $I_1 = 12.61\%$, cantera Ortiz.	104
Tabla N° 78: Variación 01, $I_a = 23.03\%$, cantera Ortiz.	104
Tabla N° 79: Variación 02, $I_1 = 31.51\%$, cantera Ortiz.	105
Tabla N° 80: Variación 02, $I_a = 57.5\%$, cantera Ortiz.	105
Tabla N° 81: Resistencia a la compresión promedio.	106
Tabla N° 82: Requerimientos de agua en L/m^3 y contenido de aire del concreto para los tamaños nominales máximos del agregado grueso y consistencia indicada	106
Tabla N° 83: Relación agua/cemento del concreto por resistencia.	106
Tabla N° 84: Estimación de volumen del agregado grueso por cada metro cúbico de hormigón.	107
Tabla N° 85: Selección del asentamiento.	107
Tabla N° 86: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, sin variación de	

índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.....	108
Tabla N° 87: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, sin variación de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.....	109
Tabla N° 88: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, sin variación de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.....	110
Tabla N° 89: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.....	111
Tabla N° 90: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.....	112
Tabla N° 91: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.....	113
Tabla N° 92: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, variación 02 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.....	114
Tabla N° 93: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, variación 02 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.....	115
Tabla N° 94: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, variación 02 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.....	116
Tabla N° 95: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, sin variación de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.....	117
Tabla N° 96: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, sin variación de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.....	118
Tabla N° 97: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, sin variación de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.....	119
Tabla N° 98: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.....	120
Tabla N° 99: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.....	121
Tabla N° 100: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.....	122
Tabla N° 101: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, variación 02 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.....	123
Tabla N° 102: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, variación 02 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.....	124
Tabla N° 103: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, variación 02	

de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.....	125
Tabla N° 104: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, sin variación de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.	126
Tabla N° 105: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, variación 01 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.	126
Tabla N° 106: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, variación 02 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.	127
Tabla N° 107: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, sin variación de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.	127
Tabla N° 108: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, variación 01 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.	128
Tabla N° 109: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, variación 02 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.	128
Tabla N° 110: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, sin variación de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.	129
Tabla N° 111: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, variación 01 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.	130
Tabla N° 112: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, variación 02 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.	131
Tabla N° 113: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, sin variación de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.	132
Tabla N° 114: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, variación 01 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.	133
Tabla N° 115: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, variación 02 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.	134

Índice de Figuras

FIGURA N° 1: Forma, redondez y textura de una partícula, Barret (1980).	10
FIGURA N° 2: Partícula con forma redondeada.	11
FIGURA N° 3: Partícula con forma de laja.....	11
FIGURA N° 4: Partícula con forma de aguja.....	11
FIGURA N° 5: Calibrador de grosores.	25
FIGURA N° 6: Calibrador de espesores.	25
FIGURA N° 7: Modos de falla.	45
FIGURA N° 8: Ubicación de la cantera Bazán.	50
FIGURA N° 9: Ubicación de la cantera Ortiz.	50
FIGURA N° 10: Trituradora de mandíbulas de efecto simple.	51
FIGURA N° 11: Trituradora de cono.	52
FIGURA N° 12: Gráfica de gradación del agregado fino.	70
FIGURA N° 13: Gráfica de gradación del agregado grueso cantera Bazán.	72
FIGURA N° 14: Gráfica de gradación del agregado grueso cantera Ortiz.	74
FIGURA N° 15: Muestreo de agregado.....	136
FIGURA N° 16: Tamizado de agregado grueso.....	136
FIGURA N° 17: Secado de muestra en estufa.	136
FIGURA N° 18: Material que pasa la malla N° 200.	137
FIGURA N° 19: Procesamiento de Índice de lajas.....	137
FIGURA N° 20: Procesamiento de Índice de agujas.....	137
FIGURA N° 21: Ensayo de Slump.	138
FIGURA N° 22: Elaboración de especímenes.	138
FIGURA N° 23: Curado de especímenes.....	138
FIGURA N° 24: Ensayo a compresión.	139
FIGURA N° 25: Ensayo a flexión.	139
FIGURA N° 26: Procedimiento de ensayo de porosidad de concreto.....	139
FIGURA N° 27: Cementos Pacasmayo	140
FIGURA N° 28: Cementos Inka.....	140
FIGURA N° 29: Cementos Andino	140
FIGURA N° 30: Cementos Yura.....	140

Resumen

Se determinó la influencia de los índices de lajas e índice de agujas del agregado grueso en la consistencia, resistencia a compresión, resistencia a flexión y porosidad del concreto de $F'c=280\text{kg/cm}^2$. Para ello se determinó las propiedades de los agregados, incluyendo el índice de lajas y agujas de cada cantera obteniendo para la cantera Bazán: $I_l = 29.73\%$ y $I_a = 34.40\%$ y la cantera Ortiz: $I_l = 25.21\%$ y $I_a = 46.05\%$. Se hizo dos variaciones, la primera reduciéndolos a la mitad: $I_l = 14.87\%$ - $I_a = 17.20\%$ y $I_l = 12.61\%$ - $I_a = 23.03\%$. La segunda variación consistió en incrementar en veinticinco por ciento estos índices: $I_l = 37.16\%$ - $I_a = 43\%$ y $I_l = 31.51\%$ - $I_a = 57.5\%$. Diseñadas las mezclas de concreto con el método ACI 211.1, se fabricaron 108 especímenes cilíndricos los que fueron ensayados a compresión a los 7, 14 y 28 días; 36 especímenes prismáticos ensayados a flexión a 28 días y 36 especímenes cúbicos sometidos a la prueba de porosidad a los 28 días. Los resultados muestran que para la primera variación, el slump se incrementa en 1.15 cm para la cantera Bazán y 2.02 cm para la cantera Ortiz; mientras que para los ensayos mecánicos y porosidad no se tiene variación significativa. De las dos canteras, la cantera Ortiz necesita 36.06 Kg de cemento menos para alcanzar la resistencia requerida. De los resultados obtenidos se concluye que los índices de lajas y agujas solamente tienen influencia en la consistencia del concreto.

Palabras Clave: Agregados, índice de lajas, índice de agujas, concreto, resistencia a la compresión.

Abstract

The influence of the slab indexes and the needle index of the coarse aggregate on the consistency, compressive strength, flexural strength and porosity of the concrete of $F'c = 280$ kg / cm² is determined. For this, the properties of the aggregates are determined, including the index of slabs and needles of each quarry, obtaining for the Bazán quarry: $II = 29.73\%$ and $Ia = 34.40\%$ and the Ortiz quarry: $II = 25.21\%$ and $Ia = 46.05\%$. Two variations were made, the first reducing them in half: $II = 14.87\%$ - $Ia = 17.20\%$ and $II = 12.61\%$ - $Ia = 23.03\%$. The second variation consists in increasing these indexes by twenty-five percent: $II = 37.16\%$ - $Ia = 43\%$ and $II = 31.51\%$ - $Ia = 57.5\%$. Designed the concrete mixtures with the ACI 211.1 method, 108 cylindrical specimens were manufactured which were tested for compression at 7, 14 and 28 days; 36 prismatic specimens tested at flexion at 28 days and 36 cubic specimens sometimes tested for porosity at 28 days. The results indicated for the first variation, the collapse is increased by 1.15 cm for the Bazán quarry and 2.02 cm for the Ortiz quarry; while for mechanical and porosity tests there is no significant variation. Of the two quarries, the Ortiz quarry needs 36.06 kg of cement less to achieve the required strength. From the required results it is concluded that the indexes of slabs and needles only influence the consistency of the concrete.

Key words: Aggregates, index of slabs, index of needles, concrete, compressive strength.

Capítulo I. Introducción

El crecimiento de nuestra sociedad ha generado un incremento considerable en los proyectos de construcción hechas de concreto debido a su versatilidad en su elaboración y uso; en el Perú según la Asociación de Productores de Cemento (2019), se despacharon aproximadamente 9.743 millones de toneladas de cemento portland en el año 2018.

Además del cemento, los agregados pétreos son componentes fundamentales del concreto hidráulico, según León y Ramírez (2010), la caracterización de los agregados son un factor determinante en la producción de concreto con determinadas resistencias, ya que cumpliendo con un correcto diseño de mezcla, un eficiente mezclado y colado, los resultados de laboratorio muestran variaciones considerables en la resistencia de un concreto.

Las causas de las variaciones en la resistencia de un concreto son difíciles de descifrar, pero si consideramos las afirmaciones del ingeniero Abanto (2009) que los agregados constituyen alrededor del 75% del volumen de éste, se puede deducir que las variaciones de calidad en el tiempo de estos afectan en gran medida las propiedades finales del concreto.

Sabemos que las partículas de los agregados son cuerpos de tres dimensiones y es difícil describir la forma de las mismas; según Fernández (2005) se las puede clasificar en redondeadas o cantos rodados, que son generalmente procedentes de ríos en las que por rozamiento se eliminan las partes salientes de las mismas; y las angulosas que son las que presentan ángulos, aristas vivas y superficies más o menos planas, procedentes generalmente de trituraciones; planas o laminares en las que predominan dos dimensiones sobre la tercera y aciculares que son las que predomina una dimensión sobre las otras dos dando lugar a agregados en forma de agujas.

De acuerdo a la norma MTC E 221 (2016), los índices de lajas y agujas son la cuantificación de las partículas planas y alargadas, en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de partículas que pasan o son retenidas en los calibradores de espesores y longitudes respectivamente, y el peso inicial de la muestra, de dicha fracción.

El propósito de esta investigación es determinar la influencia que los índices de lajas y agujas del agregado grueso tienen sobre la consistencia, resistencia a compresión, resistencia a flexión y porosidad del concreto.

1.1. Planteamiento del Problema

De acuerdo a Quiroga (2003), sostiene que las características de los agregados influyen en las propiedades como: trabajabilidad, en el acabado, en la exudación y en la segregación del concreto fresco y afectan la resistencia, la rigidez, la retracción, la densidad, la permeabilidad y durabilidad del concreto en estado sólido.

León y Ramírez (2010), el componente más costoso de una mezcla de concreto es el cemento, que junto al agua forman la pasta. La pasta es el elemento que llena los vacíos entre los agregados, provee la trabajabilidad a la mezcla y proporciona la adherencia entre los agregados una vez la mezcla de concreto se endurece. De Larrard (1999), afirma que el porcentaje de vacíos de una mezcla de agregados está principalmente relacionado con su gradación, forma y textura. Si los vacíos generados en mezclas de agregados con partículas aplanadas y alargadas generalmente son mayores que en mezclas con partículas redondeadas, entonces las mezclas hechas con los agregados producidos en la cantera Bazán y cantera Ortiz a evaluar, demandan una mayor cantidad de pasta para obtener las propiedades requeridas.

Los métodos de diseño de mezclas de concreto usados en la actualidad no consideran de una manera directa el efecto de la forma de los agregados, en el caso del método de diseño del ACI 211.1 (2002), se tiene en cuenta parcialmente el efecto de la forma al involucrar el módulo de finura de las arenas y la masa unitaria compacta de los agregados, sin embargo este método no establece variaciones en la cantidad de agua debido a estos factores.

Las partículas con forma de lascas y agujas tienen mucha importancia ya que estas pueden alterar los resultados de la granulometría y módulo de finura ya que debido a sus dimensiones estas no son retenidas en el menor tamiz. Tienen mayor relevancia en los pavimentos flexibles donde solo se permite como máximo el 15% de estas partículas con forma de lascas y agujas. La producción de agregados en la provincia de Cajamarca se lleva a cabo con un mínimo control de calidad. Es por ello que la forma que presentan los agregados es de lascas y agujas en porcentajes elevados, esto depende de la procedencia de las rocas y del proceso de trituración, debido a esto y otros aspectos, las canteras de Cajamarca no califican para ser usadas en pavimentos flexibles. Con base en lo expuesto, la presente investigación realizó el estudio de la influencia del índice de lascas y agujas en la consistencia, porosidad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión de un concreto $F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es la influencia de los índices de lajas y agujas del agregado grueso en la consistencia, resistencia a la compresión, resistencia a flexión y porosidad del concreto de $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$?

1.3. Hipótesis

“Los índices de lajas y agujas del agregado grueso disminuyen la consistencia, resistencia a la compresión, resistencia a flexión y porosidad del concreto de $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ ”.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

- ✓ Determinar la influencia de los índices de lajas y agujas en la consistencia, resistencia a compresión, resistencia a flexión y porosidad del concreto de $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$.

1.4.2. Objetivos específicos.

- ✓ Determinar los índices de lajas y agujas del agregado grueso.
- ✓ Determinar la consistencia del concreto.
- ✓ Determinar la resistencia a compresión, resistencia a flexión y porosidad del concreto.

1.5. Justificación de la Investigación

La importancia de obtener concreto de resistencia estable y de durabilidad óptima son necesarias en todos los proyectos de construcción, la gran cantidad de fallas en los pavimentos de nuestra ciudad nos lleva a indagar sobre ellas. Ya que el concreto hidráulico, se ve afectado, entre otros aspectos, por la falta estricta de controles de calidad o estudios que verifiquen la variación de las características de los agregados.

Ferreira y Torres (2014), afirman que la durabilidad y resistencia del concreto está ligado a la durabilidad y resistencia individual de sus componentes, y de esto, los agregados son los señalados como principales modificadores de ésta, la producción y obtención de agregados pétreos está generando gran cantidad de partículas planas y alargadas lo cual genera incertidumbre acerca del impacto negativo que estos producen en el concreto, por falta de estudios acerca del índice de lajas y agujas y su influencia en el concreto hidráulico.

1.6. Alcances y Limitaciones

1.6.1. Alcances.

El alcance de esta investigación corresponde a un ámbito local, donde se aprovechan los agregados pétreos de la cuenca del río Mashcón; para estudiar la influencia del índice de lajas y agujas en la consistencia, resistencia a compresión y resistencia a la flexión de un concreto

de 280 kg/cm²; se realizó el diseño de mezclas con el método del Comité ACI 211.1 para luego fabricar especímenes que fueron sometidas a ensayos en el laboratorio de resistencia de materiales, para finalmente presentar y discutir los resultados.

1.6.2. Limitaciones.

Debido a la negativa de los propietarios no se aplicó un plan de muestreo para la obtención de los agregados. La investigación concluye en base a datos obtenidos máximo hasta los 28 días de edad del concreto. No se cuenta con un Compresómetro para la obtención del módulo de elasticidad.

1.7. Diseño de la Investigación.

1.7.1. Tipo.

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

1.7.2. Diseño.

Por la naturaleza de las variables fue una investigación de diseño experimental, el cual fue variar el índice de lajas y el de agujas.

1.7.3. Variables.

1.7.3.1. *Variables independientes: Índice de lajas y agujas.*

1.7.3.2. *Variables dependientes: Resistencia a compresión, consistencia, módulo de elasticidad y porosidad del concreto.*

1.7.4. Muestra.

La muestra fue intencional por conveniencia en un total de 180 especímenes: 108 especímenes cilíndricos para los ensayos a compresión, 36 especímenes prismáticos para los ensayos a flexión y 36 especímenes cúbicos para los ensayos de porosidad del concreto. Mayor detalle de la distribución se encuentra en el ítem 3.4.

1.7.5. Unidad de análisis.

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

Capítulo II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación

Se han hecho estudios de las propiedades de los agregados pétreos para su utilización en la producción de mezclas de concreto, enfocados en la morfología de las partículas, para este primer caso, se tiene la investigación de León y Ramírez (2010), en su publicación de la caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes, concluyen que los valores de alargamiento calculado por el método de análisis de imágenes presenta pequeñas diferencias con respecto al método manual usando calibradores de alargamiento y aplanamiento. El slump es influenciado por la forma de las partículas planas y alargadas, a mayor cantidad de partículas planas y alargadas se disminuye el slump y la trabajabilidad de la mezcla. Al hacer el ajuste de los diseños de mezclas utilizando agregados de diferentes formas para un asentamiento obtenido se tiene que los volúmenes de pasta varían en un 5,9% entre agregados con índices de elongación baja y alta.

Alexander (1996), afirma que la forma de los agregados tiene un efecto directo en la resistencia, influenciando las concentraciones de esfuerzo en el material compuesto y el grado de microfisuras y fisuras antes y después de la falla. Mehta y Monterio (1993), encontraron además que la forma de los agregados afecta la forma de la curva esfuerzo – deformación del concreto ya que la morfología de los agregados influencia la generación de microfisuras en la zona de transición. La influencia de la forma de los agregados en la resistencia del concreto es controversial. Shilstone (1999), a pesar de que se ha observado que concretos fabricados con agregados con diferentes formas y un contenido de cemento dado pueden alcanzar niveles de resistencia similares, algunos autores aseguran que los concretos producidos con agregados de forma redondeada y cúbica tienden a producir mayores resistencias que agregados alargados y aplanados.

Chan (2003), la forma de los agregados tiene incidencia sobre la trabajabilidad del concreto fresco. Las formas básicas de éstos se pueden simplificar en cuatro tipos, que son: equidimensional o esférica, prismática, tabular o elíptica, e irregular. De todas éstas, la que mayor problema puede ocasionar para la trabajabilidad es aquella de tipo tabular que además está alargada; estas piezas pueden provocar disminución en la trabajabilidad ya que muy fácilmente pueden orientarse de manera preferencial en un solo plano, de manera que el agua

y el espacio poroso pueden acumularse debajo de ellas. Los agregados influyen en las características del concreto endurecido, tanto por su propia resistencia, como por la cantidad y tamaño de las partículas, y sobre todo, aquellas que facilitan la adherencia entre las dos fases.

Contreras (2014), llega a la conclusión que los concretos elaborados a base de piedra chancada de forma angular tienen mayor resistencia a la compresión que los concretos hechos con grava de río de forma redondeada en porcentajes que varían entre 8% y 16%, esto es debido a la mejor adherencia mecánica que logra la forma de la piedra chancada con la pasta de cemento y que se da en menor medida con la grava redondeada. Dando motivación a indagar en cómo influye el índice de lajas y el índice de agujas en el concreto hidráulico.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Agregado.

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana 400.011 (2018), es un término colectivo para los materiales minerales como arena, arena gruesa y roca triturada que se usa en forma de partículas graduadas o fragmentos como un medio obligatorio para formar los materiales compuestos que constituyen el hormigón Asfáltico y el hormigón Hidráulico. Los agregados son la fase discontinua del concreto.

Los agregados pueden ser naturales o manufacturados. Generalmente se extraen los agregados naturales de las formaciones de las rocas más grandes a través de una excavación abierta. Extraída la roca se reduce típicamente a los tamaños utilizables por un sistema de trituración.

De acuerdo a Rivva (2004), el volumen de los agregados en el concreto hidráulico es de un 62% a 78% de la unidad cúbica del concreto. Es por ello que la calidad de estos tiene una importancia primordial en el producto final.

Los agregados no intervienen directamente en las relaciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, pero sus características como forma, textura, adherencia, granulometría y peso específico afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductibilidad y durabilidad.

La composición granulométrica se determinará empleando los tamices especificados en la siguiente tabla:

Tabla N° 1: Tamices a utilizar para realizar el análisis granulométrico.

Agregado	Tamices normalizados	
FINO	150 μm	(No. 100)
	300 μm	(No. 50)
	600 μm	(No. 30)
	1,18 mm	(No. 16)
	2,36 mm	(No. 8)
	4,75 mm	(No. 4)
	9,50 mm	(3/8)
	12,5 mm	(1/2)
	19,0 mm	(3/4)
	25,0 mm	(1)
GRUESO	37,5 mm	(1 1/2)
	50,0 mm	(2)
	63,0 mm	(2 1/2)
	75,0 mm	(3)
	90,0 mm	(3 1/2)
	100,0 mm	(4)

Fuente: NTP 400.011:2018

Dependiendo de sus dimensiones la Norma Técnica Peruana, clasifica y denomina a los agregados en:

2.2.1.1. Agregado fino

De acuerdo a la norma NTP 400.011 (2018), Se define como agregado artificial de rocas o piedras provenientes de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 3/8" (9,5 mm) y queda retenido en el tamiz 200 (0.075 mm).

Las partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactas y resistentes. Asimismo, deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas. El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites establecidos en la NTP 400.037 (2018), cuyo módulo de finura no debe ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1.

Anupujo (2017), afirma que la arena natural se usa generalmente como agregado fino, el limo y la arcilla también se incluyen en esta categoría. El depósito blando compuesto de arena, limo y arcilla se denomina franco. El propósito del agregado fino es llenar los huecos en el agregado grueso y actuar como un agente de trabajabilidad.

Tabla N° 2: Clasificación de agregado fino por tamaño.

Agregado fino	Variación de tamaño
Arena gruesa	2.0mm - 0.5mm
Arena mediana	0.5mm - 0.25mm
Arena fina	0.25 mm - 0.06 mm
Limo	0.06mm - 0.002mm
Arcilla	<0.002

Fuente: Clasificación de agregados según tamaño y forma – agregados gruesos y finos Anupoju (2017).

2.2.1.2. Agregado grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz normalizado N°4 (4,75 mm), que cumple los límites establecidos en la NTP 400.037 (2018), formado fundamentalmente por gravas, gravas trituradas, piedra triturada, escoria de explosión, de concreto de cemento hidráulico, o bien de la combinación de las anteriores, con las características que establece la norma.

Deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semiangular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa. Las partículas deberán ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humos, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas. El rango de tamaño de varios agregados gruesos se da a continuación.

Tabla N° 3: Clasificación de agregado grueso por tamaño.

Agregado grueso	Talla
Grava fina	4 mm - 8 mm
Grava mediana	8 mm - 16 mm
Grava gruesa	16 mm - 64 mm

Fuente: Clasificación de agregados según tamaño y forma – agregados gruesos y finos Anupoju (2017).

2.2.1.3. Clasificación de los agregados.

a) *Por su forma*

De manera similar a la NTP 400.11 (2018), el ingeniero Anupoju (2017), hace las descripciones de la clasificación de los agregados de acuerdo a su forma:

- Agregado Redondeado

Los agregados redondeados están completamente formados por desgaste y están disponibles en forma de grava a la orilla del río o mar. Los agregados redondeados dan como resultado el porcentaje mínimo de huecos (32 - 33%), por lo tanto, proporciona más trabajabilidad. Requieren una menor cantidad de relación agua-cemento. No se consideran para concreto de alta resistencia debido al pobre comportamiento de enclavamiento y la débil resistencia de la unión.

- Agregados irregulares

Los agregados irregulares o parcialmente redondeados están parcialmente formados por desgaste y están disponibles en forma de arenas y grava. Los agregados irregulares pueden resultar en 35-37% de huecos. Estos darán menor trabajabilidad en comparación con los agregados redondeados. La resistencia de la unión es ligeramente mayor que los agregados redondeados, pero no como se requiere para el concreto de alta resistencia.

- Agregados Angulares

Los agregados angulares consisten en bordes bien definidos formados en la intersección de superficies más o menos planas y estos se obtienen al aplastar las rocas. Los agregados angulares resultan en un porcentaje máximo de huecos (38-45%), por lo tanto, da menos trabajabilidad. Proporcionan un 10-20% más de resistencia a la compresión debido al desarrollo de una unión agregado-mortero más fuerte. Por lo tanto, estos son útiles en la fabricación de hormigón de alta resistencia.

- Agregados laminares

Cuando el espesor del agregado es pequeño en comparación con el ancho y la longitud de ese agregado, se dice que es un agregado escamoso. O en el otro, cuando la dimensión mínima del agregado es menor que el 60% de su dimensión media, entonces se dice que es un agregado escamoso.

- Agregados alargados

Cuando la longitud del agregado es mayor que las otras dos dimensiones, entonces se llama agregado alargado o la longitud del agregado es mayor que 180% de su dimensión media.

Tabla N° 4: Clasificación, con ejemplos, de la forma de las partículas de los agregados.

Clasificación	Descripción	Ejemplos
Redondeado	Completamente desgastada por agua o fricción.	Grava de río o playa; arena del desierto, de la playa o del viento.
Irregular	Naturalmente irregular, o parcialmente moldeado por fricción y con bordes pulidos.	Otras gravas, pedernal de tierra o excavado.
Laminar	Material cuyo espesor es pequeño en relación con las otras dos dimensiones.	Roca laminada
Angular	Posee bordes bien definidos formados en la intersección de caras planas.	Rocas trituradas de todos los tipos, escoria triturado.
Alargada	Material angular en el que la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.	Agregados de rocas meteorizadas.

Fuente: NTP 400.011:2018

FIGURA N° 1: Forma, redondez y textura de una partícula, Barret (1980).

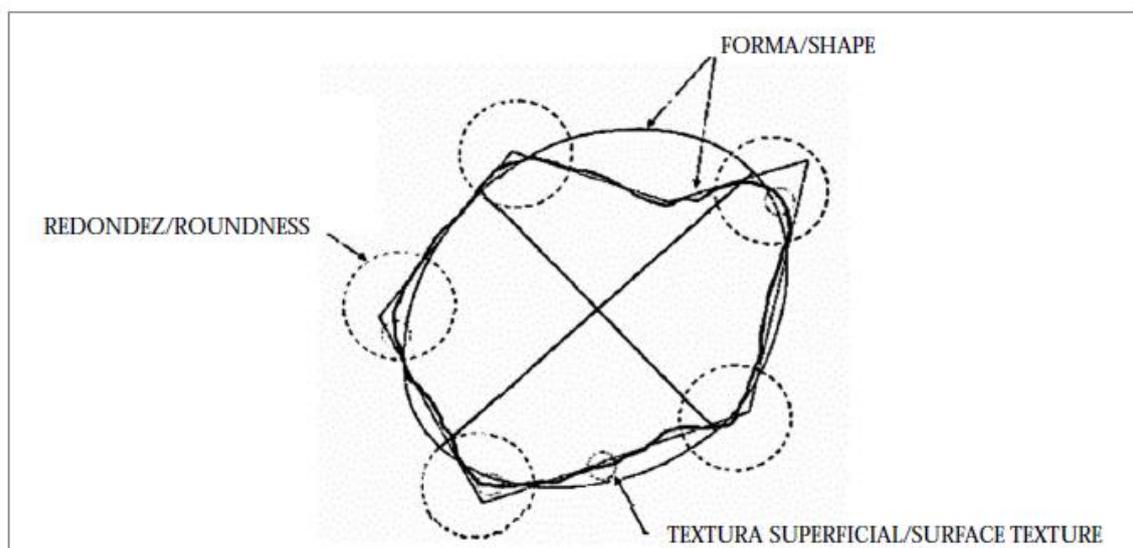


FIGURA N° 2: Partícula con forma redondeada.



FIGURA N° 3: Partícula con forma de laja.



FIGURA N° 4: Partícula con forma de aguja.



2.2.1.4. Muestreo de agregados

De acuerdo a la NTP 400.010 (2016), es la actividad en donde se recolectan las muestras de agregados que denotan la naturaleza y condiciones del material al cual representan.

2.2.1.5. Número y masa de las muestras de campo.

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 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. En general, las cantidades indicadas proveerán material adecuado para análisis granulométrico y ensayos de calidad rutinarios.

Tabla N° 5: Medida de las muestras

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

^A Para agregado procesado, el tamaño máximo nominal es la menor malla donde se produce el primer retenido.

^B Para agregado global (por ejemplo base o sub-base) la masa mínima requerida será la mínima del agregado grueso más 10 kg.

Fuente: NTP 400.010 (2016).

2.2.1.6. *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 (2015).

Todas las muestras para la realización de los ensayos fueron obtenidas por el procedimiento descrito a continuación.

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

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.

2.2.2. **Propiedades Físicas de los Agregados**

Para un conocimiento más preciso de las propiedades y características de los agregados, se han realizado una serie de ensayos experimentales de acuerdo a las NTP's, que serán detallados a continuación, los cuales mostrarán los resultados obtenidos en los anexos.

2.2.2.1. *Análisis granulométrico de agregados*

Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica de la obra y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados.

El método utilizado para determinar la granulometría del agregado fino y grueso fue el de cribado. Los procedimientos son descritos en la norma NTP 400.012 (2018).

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

- a) Se secó la muestra a peso constante a una temperatura de 110 °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.

2.2.2.2. *Granulometría del agregado fino*

El agregado fino debe tener una granulometría comprendida dentro de los límites indicados en las Normas NTP 400.037 (2018). Se recomienda para el agregado los siguientes límites.

Tabla N° 6: Límites Granulométricos

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 (2018).

- El 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 agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.
- El módulo de fineza recomendable está entre 2.3 y 3.1.

2.2.2.3. Granulometría del agregado grueso.

El agregado grueso debe estar graduado dentro de los límites especificados en la NTP 400.037 (2018), así como es recomendable tener en consideración lo siguiente:

- a) La granulometría seleccionada deberá permitir obtener una máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de las mezclas.
- b) La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- c) La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 1/2" y no más del 6% del agregado que pasa la malla 1/4".

2.2.2.4. Tamaño máximo del agregado grueso.

Según la NTP 400.037 (2018), el tamaño máximo es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso. 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.

2.2.2.5. *Tamaño máximo nominal del agregado grueso.*

De acuerdo a la NTP 400.037(2018), es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido. La NTP 400.010 (2016), nos indica que el tamaño máximo nominal del agregado es igual a un tamaño mayor que el primer tamiz que retiene más del 10% del agregado.

2.2.2.6. *Módulo de fineza de agregados.*

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.

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

Cálculo:

$$M.F.A.F = \frac{\Sigma \% \text{Ret. acum. (N}^\circ 4, \text{ N}^\circ 8, \text{ N}^\circ 16, \text{ N}^\circ 30, \text{ N}^\circ 50 \text{ y N}^\circ 100)}{100}$$

$$M.F.A.G = \frac{\% \text{ Ret. acum. (N}^\circ 4, 3/8'', 3/4'', 1 1/2'', 2'')}{100}$$

2.2.2.7. *Densidad relativa 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.

2.2.2.8. *Gravedad específica y absorción del agregado grueso*

El método empleado para el desarrollo de este ensayo es el establecido en la NTP 400.021 (2018).

➤ **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 e 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:**

Gravedad Específica

➤ **Gravedad Específica en Estado Seco al Horno:** calcular la gravedad específica en base al agregado secado al horno de la manera siguiente:

$$\text{Gravedad Específica en Estado Seco al Horno} = \frac{A}{B - C} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

A = masa en el aire de la muestra seca al horno (gr)

B = masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)

C = masa en el agua de la muestra saturada (gr)

➤ **Gravedad Específica en Estado Saturado Superficialmente Seco:** Calcular la gravedad específica sobre la base del agregado de superficie seca saturada, de la siguiente manera:

$$\text{Gravedad Específica en Estado Superficialmente Seco} = \frac{B}{B - C} \dots\dots\dots (2)$$

➤ **Gravedad específica aparente:** Gravedad específica aparente, de la siguiente manera:

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \frac{A}{A - C} \dots\dots\dots (3)$$

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

$$\% \text{Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100 \dots\dots\dots (4)$$

2.2.2.9. *Gravedad específica y absorción del agregado fino*

El método empleado para el desarrollo de este ensayo es el establecido en la NTP 400.022 (2018).

➤ **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 °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 min.
- 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 superficialmente seca, 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.

Tabla N° 7: 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 (2½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1½ pulg)	25.0 mm (1 pulg)	19.0 mm (¾ pulg)	12.5 mm (½ pulg)	9.5 mm (¾ 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 (3½ pulg a 1½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 15	...	...	...	...	...
2	63 mm. a 37.5 mm (2½ pulg a 1½ 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 (1½ 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 (1½ 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 ¾ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25 mm. a 4.75 mm (1 pulg a 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 ¾ pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	0 a 5	...	...
67	19.0 mm. a 4.75 mm (¾ pulg a N° 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	12.5 mm. a 4.75 mm (½ pulg a N° 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	9.5 mm. a 2.36 mm (¾ pulg a N° 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	9.5 mm. a 1.18 mm (¾ pulg a 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

Fuete: NTP 400.037-2002

➤ **Cálculos:**

a) Densidad Relativa (Gravedad específica)

- **Gravedad Específica en Estado Seco al Horno:** Gravedad específica en base al agregado secado al horno, de la manera siguiente:

$$\text{Gravedad Específica en Estado Seco al Horno} = \frac{A}{(B + S - C)} \dots\dots (5)$$

En dónde:

A = masa de la muestra secada al horno, g

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

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

- **Gravedad Específica en estado Saturado Superficialmente Seco:** Calcular la gravedad específica sobre la base del agregado de superficie seca saturada, de la siguiente manera:

$$\text{Gravedad Específica en Estado Superficialmente Seco} = \frac{S}{(B + S - C)} \dots\dots (6)$$

- **Gravedad específica aparente:** Calcular la gravedad específica aparente de la siguiente manera:

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \frac{A}{(B + A - C)} \dots\dots (7)$$

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

$$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 \dots\dots (8)$$

2.2.2.10. *Masa por unidad de volumen (densidad de masa).*

El siguiente ensayo tiene por finalidad establecer la masa por unidad de volumen o densidad de masa 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 (2016).

➤ **Procedimiento:**

a) Determinación de la densidad 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 0.01 kg

iii. Se determinó la masa del picnómetro con una exactitud de 0.01 kg

b) Calibración del recipiente:

i. Se determinó la masa del vidrio y recipiente con exactitud de 0.05 kg.

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 0.05 kg.

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 0.05 kg.

d) Procedimiento para peso 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 0.05 kg.

➤ **Cálculos:**

a) **Densidad del agua:** Calcular como sigue:

$$D = \frac{P_1 - P_2}{V} \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

D = Densidad del agua para la 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:

$$V = \frac{(W - M)}{D} \dots\dots\dots (10)$$

$$F = \frac{D}{(W - M)} \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

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

$$PU = \frac{(G - T)}{V} \dots\dots\dots (12)$$

$$PU = (G - T) * F \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

PU = Densidad de masa 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:

$$\% \text{Vacíos} = \frac{S * W - M}{S * V} * 100 \dots\dots\dots (14)$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado, kg/m³

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

W = Densidad del agua, kg/m³

2.2.2.11. *Materiales más finos que pasan por el tamiz n° 200.*

Los agregados deben cumplir lo establecido por la norma NTP 400.037 (2018), también lo descrito en la NTP 400.018 (2018), para ello se obtendrá una muestra del tamaño apropiado según la siguiente tabla:

Tabla N° 8: 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 400.018-2018

➤ **Procedimiento:**

a) Se secó la muestra de ensayo a peso constante a una temperatura de 110 °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 µm (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 °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 µm

(N° 200) por vía húmeda tal como sigue:

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100 \dots \dots \dots (15)$$

Dónde:

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

P_1 = Masa seca de la muestra original, g

P_2 = Masa seca de la muestra luego del lavado, g

2.2.2.12. *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 (2019).

Tabla N° 9: Muestra requerida para el ensayo de abrasión

Peso de los tamaños indicados (gr.)		
Pasa	Retiene	B
3/4"	1/2"	2500 ± 10
1/2"	3/8"	2500 ± 10
Total		5000 ± 10

Fuente: NTP 400.019-2019.

➤ **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:

$$\% \text{Abrasión} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100 \dots \dots \dots (16)$$

Donde:

P_1 = Masa de la muestra antes del ensayo, kg

P_2 = Masa de la muestra después del ensayo, kg

2.2.2.13. Índice lajas y agujas de agregado grueso.

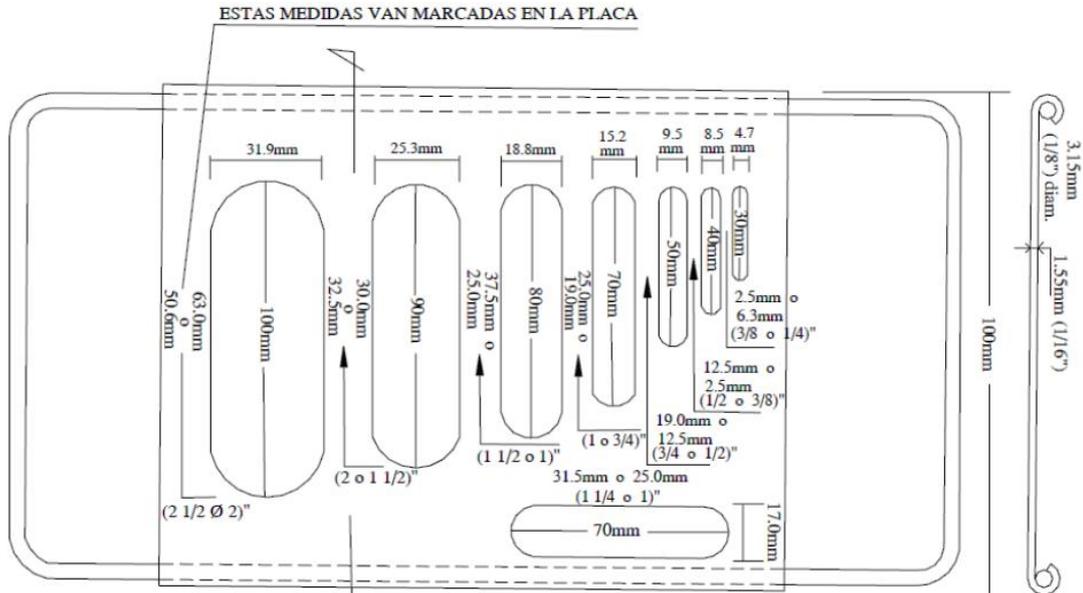
Sabemos que las partículas de los agregados son cuerpos de tres dimensiones y es difícil describir la forma de las mismas; según Fernández (2005) se las puede clasificar en redondeadas o cantos rodados, que son generalmente procedentes de ríos en las que por rozamiento se eliminan las partes salientes de las mismas; y las angulosas que son las que presentan ángulos, aristas vivas y superficies más o menos planas, procedentes generalmente de trituraciones; planas o laminares en las que predominan dos dimensiones sobre la tercera y aciculares que son las que predomina una dimensión sobre las otras dos dando lugar a agregados en forma de agujas.

En el manual de control de calidad del concreto (2004), se recomienda que la cantidad total de estas partículas no debe ser mayor al 15%. En la norma MTC E 221 (2016), encontramos el procedimiento que debe seguirse para la determinación de los índices de lajas y agujas. Este modo operativo se aplica a los agregados de origen natural o artificial, incluyendo los agregados ligeros y no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3mm (1/4") o mayores de 63mm (2 1/2").

- ✓ Se define como índice de aplanamiento de una fracción de agregado el porcentaje en peso, de las partículas que la forman, cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción.
 - ✓ Se define como índice de alargamiento de una fracción de agregado el porcentaje en peso, de las partículas que la forman, cuya dimensión máxima (longitud) es superior a 9/5 de la dimensión media de la fracción.
- Equipos, materiales e insumos.
- b) *Equipos y materiales*
 - Tamices. De los siguientes tamaños de abertura: 6,3 mm (1/4"); 9,5 mm (3/8"); 12,5mm (1/2"); 19 mm (3/4"); 25 mm (1"); 37,5 mm (1 1/2"); 50 mm (2") y 63 mm (2 1/2")
 - Balanza. Con una sensibilidad mínima de 0,1% del peso de la muestra del agregado a ensayar.
 - Calibradores metálicos. Uno de ranuras (calibrador de espesores) y otro de barras (calibrador de longitudes).

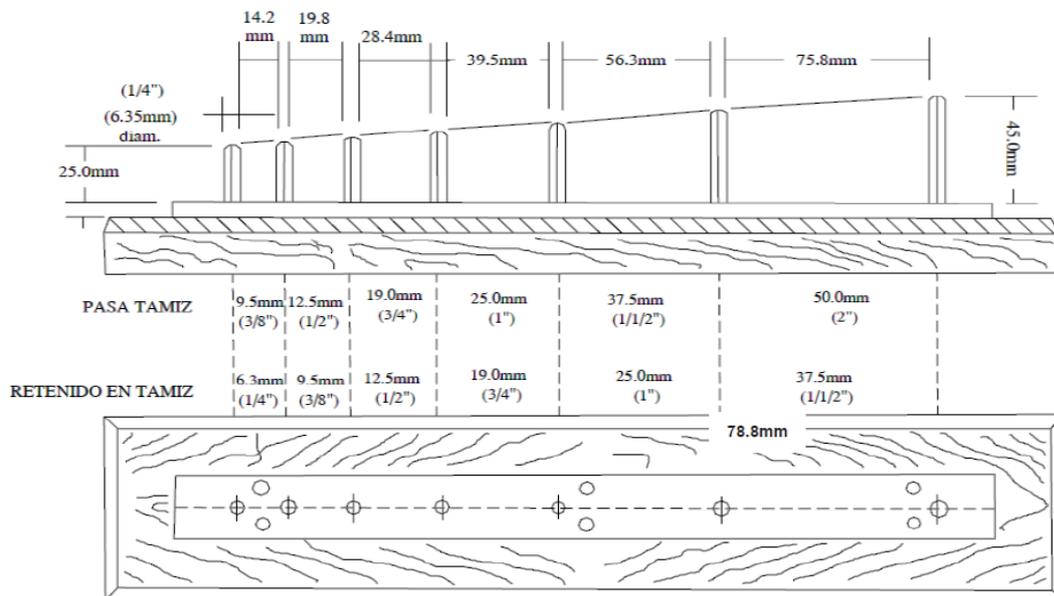
- Horno ventilado. Horno regulado por un termostato que mantenga la temperatura a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

FIGURA N° 5: Calibrador de grosores.



Fuente: Manual de ensayos del MTC.

FIGURA N° 6: Calibrador de espesores.



Fuente: Manual de ensayos del MTC.

c) *Insumos*

Tabla N° 10: Dimensiones de los calibradores de grosor, longitud y peso mínimo para subdivisión de la fracción

Tamices		Dimensiones del calibrador (mm)			Peso mínimo para subdivisión (kg)
Pasa	Retiene	Aplanamiento	Alargamiento		
mm (pulg)	mm (pulg)	Abertura de la ranura(1)	Separación de las barras(2)		
63,0 (2 1/2")	50,0 (2")	33,9	-----		50
50,0 (2")	37,5 (1 1/2")	26,3	78,8		35
37,5 (1 1/2")	25,0 (1")	18,8	56,3		15
25,0 (1")	19,0 (3/4")	13,2	39,6		5
19,0 (3/4")	12,5 (1/2")	9,5	28,4		2
12,5 (1/2")	9,5 (3/8")	6,6	19,8		1
9,5 (3/8")	6,3 (1/4")	4,7	14,2		0,5

⁽¹⁾ Esta dimensión es igual a 0,6 veces el promedio de las aberturas de los tamices que definen la fracción.

⁽²⁾ Esta dimensión es igual a 1,8 veces el promedio de las aberturas de los tamices que definen la fracción.

Fuente: Manual de ensayos del MTC (2016).

➤ Procedimiento

El material recibido en el laboratorio, se reduce por cuarteo hasta obtener una muestra representativa, en cantidad suficiente para la realización del ensayo. Las cantidades requeridas de peso del agregado (previamente desechados los tamaños no comprendidos entre 63,0 mm (2 1/2") y 6,3 mm (1/4")).

Una vez así separada la muestra para ensayo, se seca en el horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta peso constante y luego se procede a determinar su análisis granulométrico.

Se descarta todo el material que quede retenido en el tamiz 63 mm (2 1/2") y el que pase el tamiz 6,3mm (1/4"). Se determina el peso P_i , con aproximación del 0,1%, de cada fracción retenida y se ponen estas en bandejas separadas e identificadas con el tamaño definido de la fracción. (Nota 1).

Tabla N° 11: Cantidad de muestras por tamaño nominal del agregado.

Tamaño nominal del agregado mm (pulg)		Peso mínimo del material para ensayo, tamaño del agregado entre 63,0 mm (2 1/2") y 6,3 mm (1/4") kg
mm	(Pulg)	kg
50,0	(2)	35
40,0	(1 1/2)	15
25,0	(1)	5
20,0	(3/4)	2
12,5	(1/2)	1
10,0	(3/8)	0,5

Fuente: Manual de ensayos del MTC.

Nota 1. Si el peso de cualquiera de las fracciones consideradas resultase excesiva, esta fracción se puede subdividir en otras dos, siempre que el peso de la fracción subdividida no sea menor que la mitad de la mínima apropiada. En tales circunstancias se modificará el resto del procedimiento adecuadamente y se aplicarán los factores de corrección, pertinentes en la determinación del peso de las partículas, aplanadas o alargadas, que hubieran sido obtenidas, con respecto al peso total de la fracción considerada.

Al porcentaje del peso retenido entre cada dos tamices consecutivos de los utilizados en el ensayo se le denomina R_i , siendo la i la luz del tamiz de abertura menor. Las fracciones del agregado cuyo peso sea inferior al 10% de la muestra no se ensayan.

Para separar el material con forma aplanada de cada una de las fracciones de ensayo, se hace pasar cada partícula por la ranura del calibrador de grosores, cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya.

Nota 2. Hay en uso calibradores de grosor que disponen de una ranura adicional para la fracción (31,5)/25 mm (1 1/4")/ (1"); las dimensiones de esta ranura, calculadas con el mismo criterio que en las otras.

La cantidad total de partículas de cada fracción que pasa por la ranura correspondiente, se pesa (P_i) con aproximación del 0,1% del peso total de la muestra en ensayo.

Para separar el material con forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo, se hace pasar cada partícula en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya.

La cantidad total de partículas de cada fracción retenida entre las dos barras correspondientes, se pesa (P_i) con aproximación del 0,1% del peso total de la muestra de ensayo.

➤ Cálculos e informe

d) cálculos

El índice de aplanamiento de cada fracción de ensayo se calcula, en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas, P_{ai} , que pasa a través de la correspondiente ranura y el peso inicial, P_i , de dicha fracción.

$$\text{Índice de aplanamiento de la fracción } (I_{ai}) = \frac{P_{ai}}{P_i} \times 100 \dots\dots (17)$$

El índice de alargamiento de cada fracción de ensayo se calcula, en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas, P_{li} , retenidas entre las correspondientes barras y el peso inicial, P_i , de dicha fracción.

$$\text{Índice de alargamiento de la fracción } (I_{li}) = \frac{P_{li}}{P_i} \times 100 \dots\dots (18)$$

El valor obtenido para cada fracción ensayada, tanto del porcentaje de aplanamiento como del porcentaje de alargamiento, se redondeará al número entero más próximo.

e) informe

Los resultados obtenidos mediante esta norma pueden expresarse para cada fracción ensayada o para el total de la muestra.

La expresión de los índices de aplanamiento y alargamiento de cada fracción serán los obtenidos directamente en el ensayo, indicando expresamente la fracción ensayada.

Para expresar los índices de aplanamiento y alargamiento totales, se calcula el promedio ponderado de los respectivos índices de todas las fracciones ensayadas, empleando como factores de ponderación los porcentajes retenidos, R_i , de acuerdo con las siguientes fórmulas.

$$\text{Índice de aplanamiento } (I_a) = \frac{\sum(I_{ai} \times R_i)}{\sum(R_i)} \dots\dots (19)$$

$$\text{Índice de alargamiento } (I_l) = \frac{\sum(I_{li} \times R_i)}{\sum(R_i)} \dots\dots (20)$$

Donde:

I_{ai} = Índice de aplanamiento de la fracción i

I_{li} = Índice de alargamiento de la fracción i

R_i = Porcentajes retenidos en cada fracción i

2.2.2.14. *Descripción Petrográfica.*

El análisis petrográfico según la norma ASTM C 295 (1999), proporciona una identificación de los tipos y variedades de rocas presentes en los agregados potenciales. También se identifica los minerales presentes en la muestra.

La identificación de los materiales constituyentes de una muestra es usualmente un paso necesario para poder determinar lo que se puede esperar acerca de la conducta del material en el uso que se le va a dar. El valor de cualquier examen petrográfico dependerá en gran parte de la representatividad de las muestras examinadas, la integridad y exactitud de la información así como la habilidad del petrógrafo de poner en correlación estos datos con los del examen, proporcionarán datos acerca de la fuente y propuestas para el uso del material.

➤ Procedimiento

Selección de muestras para el examen: las muestras de grava para el examen petrográfico deben tamizarse en seco para proporcionar muestras de cada tamaño de tamiz. Los resultados del análisis de tamiz de cada muestra realizada deben ser proporcionados al petrografista que realiza el examen y utilizado en el cálculo de resultados del examen petrográfico. Cada fracción de tamiz debe examinarse por separado, comenzando con el tamaño más grande disponible. Las rocas se reconocen más fácilmente en piezas más grandes.

El número de partículas de cada fracción de tamiz que se examinará se fijará por la precisión requerida de la determinación de los constituyentes menos abundantes. Suponiendo que los procedimientos de muestreo de campo y de laboratorio son precisos y confiables, el número de partículas examinadas, identificadas y contadas en cada fracción de tamiz dependerá de la precisión requerida de la estimación de los componentes presentes en pequeñas cantidades. Los números dados en este método son mínimos.

Se cree que al menos 150 partículas de cada fracción de tamiz deben identificarse y contarse para obtener resultados confiables.

2.2.3. Propiedades Químicas de los Agregados

De acuerdo a Rivera (2013), tal como se expresó en la definición de agregado, la mayoría de los áridos son inertes. Sin embargo desde hace algún tiempo se han observado reacciones entre agregado y pasta de cemento (algunas dañinas).

2.2.3.1. *Epitaxia.*

Mejora la adherencia entre ciertos agregados calizos y la pasta de cemento, a medida que transcurre el tiempo; lo cual favorece el desarrollo de las propiedades en el concreto endurecido, Rivera (2013).

2.2.3.2. *Reacción álcali-agregado.*

Rivera (2013), menciona que esta es una reacción desfavorable porque origina esfuerzos de tensión dentro de la masa endurecida del mortero o del concreto; dichos esfuerzos pueden causar fallas en la estructura debido a que la resistencia a la tensión del mortero o del concreto es baja, del orden de un 10% de su resistencia a la compresión.

La reacción más común se produce entre los óxidos de sílice (SiO_2) en sus formas inestables y los óxidos alcalinos de la pasta de cemento (Na_2O y K_2O). Esta reacción que es del tipo sólido líquido, produce un gel hinchable que aumenta de volumen a medida que absorbe agua, lo cual origina presiones internas en el concreto que conducen a la expansión, agrietamiento y ruptura de la pasta de cemento, esto se conoce como reacción álcali-sílice, ya que también existe otra reacción similar entre algunos tipos de caliza dolomítica y los álcalis del cemento, en lo que se llama una reacción álcali-carbonato, que es menos frecuente.

2.2.4. Cemento.

En el manual de control de calidad del concreto (2004), se define el cemento como un material aglutinante que presenta las propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí. Este material tiene la propiedad de fraguar y endurecerse en presencia de agua, presentando un proceso químico que es el calor de hidratación. El cemento Portland hidráulico es la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso.

Rivva (2007), describe al cemento Portland normal como producto obtenido por la pulverización del clinker Portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que no excedan el 1% en peso del total y que la norma correspondiente determine que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante. Los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el clinker.

Según Pasquel (2011), el cemento es el componente más activo del concreto y, generalmente, tiene el mayor costo unitario por ello, y considerando que las propiedades del concreto dependen tanto de la cantidad como de la calidad de sus componentes, la selección y uso adecuado del cemento son fundamentales para obtener en forma económica las propiedades deseadas para una mezcla dada. Es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes.

El cemento Portland normal deberá cumplir con los requisitos indicados en la NTP 334.009 (2016), para los Tipos I, II, y V, los cuales se fabrican en el Perú. El cemento Portland normal

Tipo I se empleará en todos aquellos casos en que no se requieren en el concreto las propiedades especiales especificadas para los otros tipos. Los principales compuestos del cemento portland.

Tabla N° 12: Compuestos principales del cemento portland.

Nombre del compuesto	Composición de óxido	Abreviatura
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S
Silicato Dicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato Tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Aluminoferrita Tetracálcica	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fuente: Tecnología del concreto, Neville (2013).

2.2.4.1. Tipos de cemento

Los cementos que cumplan con la norma NTP 334.009 (2016) pueden ser usados para la producción de concreto.

- **Tipo I:** Se le conoce como cemento Pórtland ordinario y es el de mayor comercialización en el mercado. De uso general, donde no se requieren propiedades especiales.
- **Tipo II:** De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Para emplearse en estructuras con ambientes agresivos y/o en vaciados masivos.
- **Tipo III:** Desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Para uso en clima frío o en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicio de las estructuras.
- **Tipo IV:** De bajo calor de hidratación. Para concretos (hormigones) masivos.
- **Tipo V:** Alta resistencia a los sulfatos. Para ambientes muy agresivos.

De acuerdo a la norma NTP 334.090 (2016) se tienen los cementos adicionados:

- **Cemento Tipo MS.** Que corresponde a la norma de performance de cementos Portland adicionados, en el tipo de moderada resistencia a los sulfatos.
- **Cemento Portland Compuesto Tipo ICo.** Es un cemento adicionado obtenido por la pulverización conjunta de Clinker portland, materias calizas como travertinos y/o hasta un máximo de 30% de peso.
- **Cemento Portland Tipo IS:** Cemento Portland de escoria de altos hornos.
- **Cemento Portland Puzolánico Tipo IP.-** Para usos en construcciones generales de concreto. El porcentaje adicionado de puzolana se encuentra entre 15% y 40%.

- **Cemento Portland Puzolánico Modificado Tipo IPM.-** Cemento Portland Puzolánico modificado para uso en construcciones generales de concreto. El porcentaje adicionado de puzolana es menor de 15%.

Tabla N° 13: Cementos comercializados en Perú.

Empresas	Cemento Portland			C. Portland Adicionados			
	I	II	V	IP	I(PM)	MS	I Co
Unión Andina de Cementos	✓	✓	✓	✓	✓		
Cementos Pacasmayo	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Cementos Selva	✓	✓	✓	✓			✓
Cementos Inka	✓	✓	✓				✓
Yura	✓	✓	✓	✓		✓	

Fuente: Empresas Productoras de Cemento y Asociación de Productores de Cemento (2017).

2.2.5. Agua.

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

Pasquel (2011), el agua es un elemento indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, por lo tanto este componente debe cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo su función en la combinación química, sin ocasionar problemas colaterales si tiene ciertas sustancias que pueden dañar al concreto. Por estas razones, debe evaluarse su conveniencia para fines de mezclado y curado.

2.2.5.1. Agua de mezcla

De acuerdo a la NTP 339.088 (2019), el agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas. En general, el agua potable es adecuada para el concreto. El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- i) Reaccionar en el cemento para hidratarlo.
- ii) Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- iii) Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

Por lo tanto, la cantidad de agua que interviene en la mezcla de concreto es normalmente por razones de trabajabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento. El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de éstas, que ocasionan reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento.

2.2.5.2. Agua de curado

En general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para curado, y por otro lado, en las obras es usual emplear la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como para el curado del concreto.

Tabla N° 14: Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada.

Concentración máxima en el agua de mezcla, ppm ^A	Límite
A. Cloruro como Cl, ppm	
1. En concreto pretensado, tableros de puentes, o designados de otra manera	500 ^B
2. Otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan aluminio embebido o metales diversos o con formas metálicas galvanizadas permanentes	1000 ^B
B. Sulfatos como SO ₄ , ppm	3000
C. Álcalis como (Na ₂ O+0.658 K ₂ O), ppm	600
D. Sólidos totales por masa, ppm	50000

^A ppm es la abreviación de partes por millón

^B Cuando el productor puede demostrar que estos límites para el agua de mezcla pueden ser excedidos, los requerimientos para el concreto del Código ACI 318 – Concreto Simple, regirán.

Fuente: NTP 339.088 (2019)

2.2.6. Concreto

De acuerdo a Kosmatka et al (2004), el concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta es el resultado de la combinación de cemento portland, agua y aire atrapado o incluido, uno los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca. Esto sucede por el endurecimiento de la pasta, como afirma Neville (2013), en presencia de agua los silicatos y aluminatos presentes en el cemento forman productos de hidratación, que con el paso del tiempo producen una masa firme y dura que se conoce como pasta de cemento hidratada.

Rivva (2007), define el concreto como un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado. La pasta es el resultado de la combinación química del material cementante con el agua. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de éste. Las propiedades del concreto están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas de sus materiales componentes.

Kosmatka et al (2004) afirma que la calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta. Menciona también que la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciado por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento. Afirma que las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son:

- Aumento de la resistencia a compresión y de la resistencia a flexión.
- Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción.
- Aumento de la resistencia a las intemperies.
- Mejor unión entre concreto y armadura.
- Reducción de la retracción y de la fisuración.

2.2.6.1. Concreto Fresco

De acuerdo a Neville (2013), el concreto recién mezclado tiene solamente interés pasajero, pero debemos considerar el grado de compactación, y seriamente, debido a que afecta la resistencia del concreto, por tanto la consistencia de la mezcla debe permitir transportar, colocar, compactar y acabar con suficiente facilidad y sin segregación. Se afirma también que un concreto trabajable se determina por la facilidad de colocación y resistencia a la segregación, pero para cada una de las circunstancias de un tipo particular de construcción.

Desafortunadamente no hay prueba que mida la trabajabilidad en forma directa, pero está estrechamente relacionada con la consistencia, y la consistencia es medida mediante la prueba de revenimiento usada extensamente en el campo.

En el concreto fresco se pueden dar dos eventualidades, como menciona Neville (2013), la segregación y el sangrado. La segregación se define como la separación de los constituyentes de una mezcla heterogénea de modo que su distribución ya no es uniforme. El sangrado también conocido como ganancia de agua, es una forma de segregación en la cual algo del agua de la mezcla tiene de subir a la superficie del concreto acabado de colar. Para poder alcanzar la densidad más alta, se usa la compactación por vibración, que tiene el efecto de hacer fluido el mortero de la mezcla, de modo que a fricción interna se reduce y ocurre el empacamiento del agregado grueso.

De acuerdo a Rivva (2007), las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes requisitos básicos, de acuerdo a cada circunstancia de un tipo particular de construcción:

- a) 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.
- b) La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del empleo que se va a dar a la estructura.
- c) El costo de la unidad cúbica de concreto endurecido deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada.

El concreto endurecido se compone de pasta y agregado, en este apartado trataremos la pasta:

2.2.6.1.1. La pasta.

De acuerdo a Rivva (2007), aquella parte del concreto endurecido conocida como pasta comprende a cuatro elementos fundamentales:

- a) El gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de hidratación del cemento.
- b) Los poros incluidos en ella.
- c) El cemento no hidratado, si lo hay.
- d) Los cristales de hidróxido de calcio, o cal libre, que puedan haberse formado durante la hidratación del cemento.
- e) Estos cuatro elementos tienen un papel fundamental en el comportamiento del concreto.

También define las funciones de la pasta en el concreto:

- a) Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido.
- b) Separar las partículas de agregado.
- c) Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas.
- d) Proporcionar lubricación a la masa cuando ésta aún no ha endurecido.

Rivva (2007), afirma que las propiedades de la pasta dependen de:

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

2.2.6.1.2. Porosidad de la pasta

De acuerdo a Rivva (2007), existen en la pasta cantidades variables de espacios vacíos, denominados poros, los cuales no contienen materia sólida aunque, bajo determinadas circunstancias, algunos de ellos podrían estar parcial o totalmente llenos de agua, Las define de la siguiente manera:

- Poros por aire atrapado

Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire, del orden del 1%, es aportada por los materiales y queda atrapada en la masa de concreto, no siendo eliminada por los procesos de mezclado, colocación o compactación. Los espacios que este aire forma en la masa de concreto se conocen como poros por aire atrapado.

Los poros por aire atrapado varían en tamaño desde aquellos que no son perceptibles a simple vista hasta aquellos de un centímetro o más de diámetro. Su perfil puede ser irregular y no necesariamente están interconectados. La presencia de los poros de aire atrapado es inevitable pero inconveniente dado que contribuyen a la disminución de la resistencia y durabilidad del concreto, pudiendo adicionalmente incrementar la permeabilidad.

- Poros capilares

Se define como poros capilares a los espacios originalmente ocupados por el agua en el concreto fresco, los cuales en el proceso de hidratación del cemento no han sido ocupados por el gel.

El gel sólo puede desarrollarse en los espacios originalmente llenos de agua. Por tanto, si la relación agua-cemento es alta o el curado es pobre, la cantidad de espacios ocupables por el gel será alta y sólo una parte de ellos será ocupada por el gel durante el proceso de hidratación, quedando los espacios residuales en la condición de poros capilares.

La importancia de los poros capilares radica en que, conforme aumenta su número:

- a) Disminuyen las resistencias mecánicas de la pasta endurecida.
- b) Aumentan la porosidad, permeabilidad y capacidad de absorción de la pasta.
- c) Aumenta la vulnerabilidad de la pasta al ataque por acción de las bajas temperaturas sobre el concreto
 - Poros gel

Durante el proceso de formación del gel quedan atrapados dentro de éste, totalmente aislados unos de otros, así como del exterior, un conjunto de vacíos a los cuales se les conoce con el nombre de poros gel.

Estos poros se presentan en el gel en forma independiente de la relación agua cemento y el grado de hidratación de la pasta, ocupando aproximadamente el 28% de la misma.

2.2.6.2. *Concreto Endurecido*

De acuerdo al Manual de control de calidad del concreto (2004), las propiedades del concreto endurecido están gobernadas por la resistencia de la pasta endurecida, los agregados y las interfaces agregado-pasta. El concreto es capaz de soportar grandes esfuerzos a la compresión, dependiendo de las características de sus componentes y el diseño de este mismo.

2.2.6.2.1. El curado.

Neville (2013) manifiesta que para obtener un buen concreto, al colado de una mezcla adecuada debe seguir el curado, dentro de un ambiente apropiado, durante las primeras etapas del endurecimiento. El curado es el nombre que se da a los procedimientos utilizados para promover la hidratación del cemento; consiste en un control de temperatura y en el movimiento de humedad, a partir de la superficie, hacia dentro del concreto. Más específicamente, el objeto del curado es mantener saturado el concreto, o tan cercanamente saturado como sea posible, hasta que el espacio originalmente llenado con agua de la pasta de cemento fresco se haya llenado en el grado deseado por los productos de hidratación del cemento. En el caso del concreto en obra, el curado activo se detiene casi siempre mucho antes de que haya ocurrido la máxima hidratación posible.

Kosmatka et al (2004), define tres métodos de curado para mantener el concreto húmedo:

- Métodos que mantienen el agua de la mezcla presente durante los periodos iniciales de endurecimiento. Entre éstos se incluyen encharcamiento o inmersión, rociado, aspersión o niebla y coberturas saturadas de agua. Estos métodos permiten un cierto enfriamiento a través de la evaporación, que es benéfico en clima caluroso.

- Métodos que reducen la pérdida del agua de la mezcla de la superficie del concreto. Esto se puede hacer cubriéndose el concreto con papel impermeable o plástico o a través de la aplicación de compuestos formadores de membrana.
- Métodos que aceleran el desarrollo de la resistencia a través del suministro de calor y humedad adicional al concreto. Esto se realiza normalmente con vapor directo, espirales de calentamiento o encofrados o almohadilla calentados eléctricamente.

2.2.6.2.2. Resistencia a la compresión.

De acuerdo a Rivera (2013), generalmente el diseñador de estructuras, especifica en la memoria de cálculos y en los planos una resistencia a la compresión del concreto ($F'c$), la cual se utiliza como base para calcular el dimensionamiento y el refuerzo de los diferentes elementos de una obra. Cuando en la obra se obtenga una resistencia menor que la especificada ($F'c$), se disminuirá el factor de seguridad de la estructura. Para evitar esta posible disminución de seguridad y debido a que en toda obra se obtienen diferentes valores de resistencia para una misma mezcla, debido a variaciones en la dosificación, mezcla, transporte, colocación, compactación y curado del concreto; la mezcla deberá dosificarse para obtener una resistencia a la compresión promedio ($F'cr$) mayor que $F'c$. En la práctica resulta antieconómico indicar una resistencia mínima, igual a la resistencia de diseño; puesto que de acuerdo al análisis estadístico, siempre existe la posibilidad de obtener algunos valores más bajos.

2.2.6.2.3. Resistencia a la flexión.

Rivera (2013), afirma que la resistencia a la flexión de un concreto es baja en comparación con su resistencia a la compresión, pero muy superior a su resistencia en tracción pura. Este parámetro es aplicado en estructuras tales como pavimentos rígidos; debido a que los esfuerzos de compresión que resultan en la superficie de contacto entre las llantas de un vehículo y el pavimento son aproximadamente iguales a la presión de inflado de las mismas, la cual en el peor de los casos puede llegar a ser de 5 o 6 kg/cm²; este esfuerzo de compresión sobre un pavimento de concreto hidráulico resulta sumamente bajo con relación a la resistencia a la compresión del concreto que normalmente varía entre 150 y 350 kg/cm² en nuestro medio. Por lo tanto, no es la resistencia a la compresión el factor determinante de la calidad del concreto para pavimentos, sino la resistencia a la flexión, por el paso de los vehículos y por diferencias de temperatura un lado de la losa estará sometida a tensión y el otro lado a compresión, siendo cambiables estos esfuerzos. Los esfuerzos de flexión podrían ser atendidos por medio de refuerzo, pero esto sería antieconómico debido a que se tendría que utilizar refuerzo en dos capas. En la práctica lo que se hace es diseñar el espesor del pavimento en forma tal que los

esfuerzos de flexión, causados por el paso de los vehículos y la diferencia de temperatura, sean inferiores a la capacidad máxima a flexión de las placas. Es claro entonces que para el diseño de pavimentos de concreto la característica importante es la resistencia a la flexión del concreto o también llamada "módulo de rotura".

2.2.6.2.4. Porosidad del concreto.

Neville (2013) especifica que la porosidad es el volumen de huecos expresado como una fracción del volumen total del concreto, además la resistencia del concreto está influenciado por el volumen de todos los vacíos dentro del concreto: aire atrapado, poros capilares, poros de gel y aire incluido si está presente.

2.2.6.3. Método americano de selección de proporciones de la mezcla.

Neville (2013) describe la práctica estándar ACI 211.1 como un método de selección de proporciones de la mezcla de concreto que contiene cemento portland solo o junto con otros materiales cementantes, y que contiene también aditivos. Se deberá recalcar que el método proporciona una primer aproximación a las proporciones de la mezcla de ensayo. En esencia, el método del ACI 211.1 consiste en una secuencia de pasos lógicos y directos que toman en cuenta las características de los materiales que se van a emplear. Estos pasos se emplearon en el capítulo III del presente trabajo.

2.2.6.4. 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), flexión (150 mm por 150 mm por 500 mm) y porosidad (100 mm por 100 mm por 100 mm), con cada una de las dosificaciones descritas, se realizaron siguiendo los procedimientos indicados en la Norma NTP 339.183 (2018).

➤ **Procedimiento:**

a) Pasos para la realización de las mezclas

1. Se realizaron mezclas de volumen igual a 0.04 m³ con lo que se elaboraran 6 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, y variación de partículas de agregado grueso para los casos que corresponda.
3. Previo al inicio de la rotación de la mezcladora añadir el agregado grueso, una parte del agua de mezcla, adicionar el agregado fino, el cemento y el resto de agua con la

mezcladora funcionando. Luego de que todos los ingredientes están en la mezcladora, mezclar el hormigón durante 3 min seguido por 3 min de reposo y luego 2 min finales de mezclado.

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 14 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.

2.2.6.5. Curado de los especímenes de concreto.

El curado de los 180 especímenes se realizó siguiendo los procedimientos indicados en la NTP 339.183 (2018).

➤ **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 posa 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.

2.2.7. Propiedades a Evaluar del Concreto

2.2.7.1. Asentamiento en el concreto en estado fresco.

Este ensayo se realizó bajo lo establecido en la NTP 339.035 (2015).

➤ 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. 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.
- (d) Se enrasó el concreto rodando la varilla de compactación sobre el borde del molde.
- (e) 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.
- (f) Se levantó el molde por encima de los 300 mm de un solo movimiento, en un solo tiempo lento.
- (g) 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.

2.2.7.2. Densidad de masa del concreto en estado fresco.

Este ensayo se realizó mediante lo establecido por la NTP 339.046 (2018).

➤ **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) Densidad de masa: Se calculó este parámetro como sigue:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \dots\dots\dots (21)$$

Dónde:

D = Densidad de masa 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:

$$T = \frac{M}{V} \dots\dots\dots (22)$$

Dónde:

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:

Dónde:

$$Y = \frac{M}{D} \dots\dots\dots (23)$$

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

2.2.7.3. *Densidad de masa del concreto en estado endurecido.*

El ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.034 (2016).

➤ **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.

2.2.7.4. *Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto.*

El ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.034 (2016).

➤ **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 fueron realizadas 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° 15: Edad de ensayo de los especímenes y tolerancia

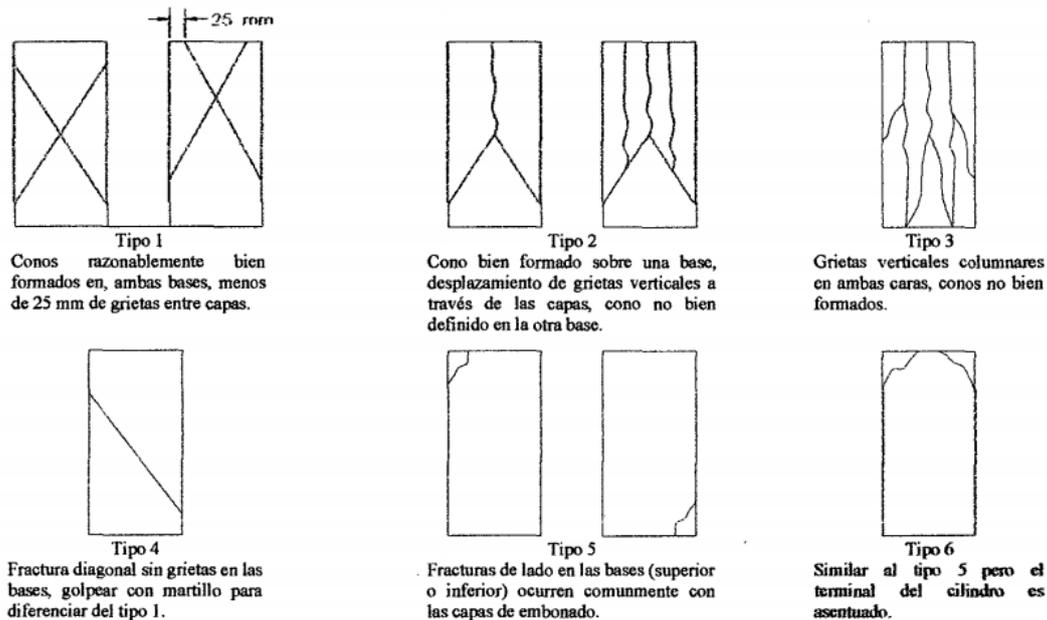
Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	± 0.5 h o 2.1 %
03 d	± 2 h o 2.8 %
07 d	± 6 h o 3.6 %
28 d	± 20 h o 3.0 %
90 d	± 48 h o 2.2 %

Fuente: NTP 339.034 – 2016

- (c) **Dimensiones los especímenes:** Se midió cuatro diámetros con el vernier en las dos caras, 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 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 (2016), así mismo se registró el modo de falla, y si falló el agregado o la pasta durante el proceso.

FIGURA N° 7: Modos de falla.



Fuente: NTP 339.034 – 2016.

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

Este ensayo se desarrolló según la NTP 339.079 (2017).

➤ 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 (2016).
- (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.

$$M_r = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots (24)$$

En donde:

Mr: Es el módulo de rotura, en MPa.

P: Es la carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, en N

L: Es la longitud del tramo, mm

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en mm.

H: Es la altura de la viga en la sección de falla, en mm.

2.2.7.6. *Módulo de elasticidad del concreto.*

La NTP 339.034 describe el método que cubre la determinación del módulo de elasticidad secante de Young y la relación de Poisson en cilindros de concreto moldeados y núcleos de concreto taladrados cuando son sometidos a esfuerzos de compresión longitudinal. Este método de ensayo proporciona un valor de la relación esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a la longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.

La Determinación del Esfuerzo - Deformación en los especímenes ensayados a compresión a la edad de 28 días, al no contar con un Compresómetro, se determinaron con un deformímetro ubicado en la base móvil de la máquina compresora, por lo que la deformación obtenida habría

sido no solo del concreto, sino también de los dos discos de neopreno utilizados para el cabeceo del espécimen, por lo que de usarse estas deformaciones para determinar el módulo de Elasticidad con la curva esfuerzo - deformación se obtuvieron resultados dispersos para las diferentes dosificaciones. Así se optó por calcular estos resultados utilizando la fórmula teórica que relaciona la resistencia del concreto con el módulo de elasticidad del mismo.

➤ **Cálculos:**

a) **Según el ACI 318S - 14:**

$$E = W_c^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'_c} \dots\dots (25)$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad, MPa

Wc = Densidad del concreto, kg/m³

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

2.2.7.7. *Porosidad del concreto.*

De acuerdo a la norma ASTM C 642 (1997), siempre que sea posible, la muestra debe consistir de varias porciones individuales de concreto, cada una de las cuales se debe ensayar por separado. Las porciones individuales pueden ser: porciones de cilindros, de núcleos extraídos del concreto o de vigas de cualquier forma o tamaño, excepto que el volumen de cada porción no debe ser menor de 350 cm³ (o para concreto de peso normal, de aproximadamente 800g): y cada porción debe estar libre de grietas o fisuras visibles, o de bordes rotos.

➤ **Procedimiento**

a) **Masa seca al horno:** Se determina la masa de las porciones y se secan en un horno de secado a una temperatura de 110 ± 5°C por no menos de 24h. Después se remueven los especímenes del horno, se secan en aire seco (preferiblemente en un desecador a una temperatura de 20 a 25 °C y se les determina su masa. Si el espécimen estaba comparativamente seco, cuando su primera masa fue determinada, y la segunda masa concuerda con muy poca variación respecto a la primera, se le puede considerar seco. Si el espécimen estaba aún mojado al determinar la primera masa, se le coloca nuevamente a un segundo tratamiento de secado por 24h y se determina su masa nuevamente. Si un tercer valor de masa concuerda con esta segunda determinación se puede considerar seco el espécimen. En caso de duda se vuelve a secar el espécimen para períodos de 24h hasta que se obtengan valores de masa que concuerden. Si la diferencia de valores de masa sucesivos excede del 0.5% del valor menor de masa comparado, se retornan los

especímenes al horno para un periodo adicional de secado por 24 h. Se repite el procedimiento hasta que la diferencia obtenida entre dos valores sucesivos de masa sea menor que el 0.5% del menor valor obtenido. Este último valor de la masa seca al horno se designa como: A

- b) **Masa saturada después de inmersión el agua:** Después de su secado final, enfriado y determinación de la masa, los especímenes se sumergen en agua a temperatura de aproximadamente 21°C por un período no menor de 48h hasta que dos valores sucesivos de masa de la muestra saturada de superficie seca a intervalos de 24h, indique un incremento de la masa de menos de 0.5% del valor mayor comparado. Con una toalla se remueve la humedad superficial de los especímenes para dejarlos en condición de saturados de superficie seca y se les determina su masa. El último valor obtenido de masa saturada de superficie seca después de su inmersión en agua, se designa como: B.
- c) **Masa saturada después de ebullición en agua:** El espécimen procesado como se describe el apartado b, se coloca en un recipiente adecuado, cubierto con agua potable, y se hierve por un período de 5h. Luego se le deja enfriar al aire por pérdida natural de calor, por un período no menor de 14h, hasta que su temperatura final sea de 20 a 25°C. Se le remueve la humedad superficial con una toalla y se determina la masa del espécimen. La masa saturada de superficie seca después de ebullición, se designa como: C.
- d) **Masa sumergida aparente:** Después de su inmersión en agua y ebullición, los especímenes se suspenden dentro del agua por un alambre y se determina su masa sumergida aparente, que se designa como: D

➤ **Cálculos**

- Absorción después de inmersión, % = $[(B-A)/A] \times 100$ (26)
- Absorción después de inmersión y ebullición, % = $[(C-A)/A] \times 100$ (27)
- Densidad seca global (o bruta) , = $[A/(C - D)] \cdot \rho$ (28)
- Densidad global después de inmersión = $[B/(C-D)] \cdot \rho$ (29)
- Densidad después de inmersión y ebullición = $[C/(C-D)] \cdot \rho$ (30)
- Densidad aparente = $[A/(A-D)] \cdot \rho$ (31)
- Volumen de vacíos (poros permeables), % = $(C-A)/(C-D) \times 100$ (32)

Capítulo III. Materiales y Métodos

3.1. Ubicación Geográfica de la Investigación.

La investigación fue realizada en el laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz”, en el edificio 1C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la Av. Atahualpa N°1050, entre los meses de Enero a Agosto del 2019, ocho (08) meses consecutivos.

3.2. Descripción de Canteras.

Para realizar la caracterización de agregados para concreto se escogieron dos canteras del río Mashcón, donde se extraen agregado fino y grueso. Las canteras a caracterizar se escogieron debido a la importancia de su ubicación geográfica, volumen de extracción y también por tener dos niveles de chancado, con una chancadora de quijada y una chancadora cónica, totalmente operativos en este año 2019.

3.2.1. Descripción de la cantera Bazán.

La cantera Bazán se localiza al norte de la ciudad, en las coordenadas UTM 17M 773435E y 9210571N a una altitud de 2758 msnm, de fácil acceso, siendo por la carretera que conduce hacia Bambamarca, encontramos la cantera en el km 2, al lado derecho.

Los agregados que se producen en esta cantera son de rocas provenientes de depósitos aluvio – fluviales que conforman el cauce y áreas de inundación del río Mashcón. Estos depósitos están compuestos por de rocas de tamaño medio, el hormigón es procesado en el mismo lugar, donde existe una chancadora, donde se hace el chancado y separación de material en piedra chancada de media pulgada y tres cuartos de pulgada.

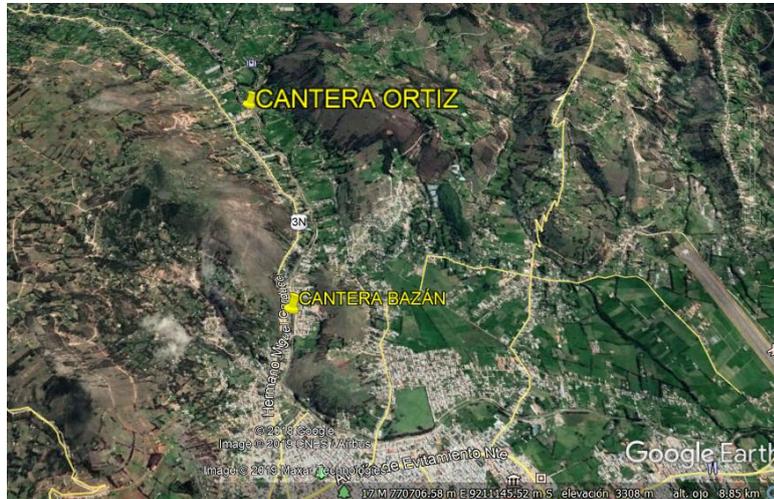
3.2.2. Descripción de la cantera Ortiz.

La cantera Ortiz se ubica al norte de la ciudad en las coordenadas UTM 17M 773043E y 9212749N a una altura de 2776 msnm, existe fácil acceso, siendo por la carretera que conduce hacia Bambamarca, se toma el desvío al lado derecho en el kilómetro 4.7, el cual conduce directamente a la cantera en estudio.

Los agregados que se producen en esta cantera son de rocas provenientes de depósitos aluvio – fluviales que conforman el cauce y áreas de inundación del río Mashcón. Estos depósitos

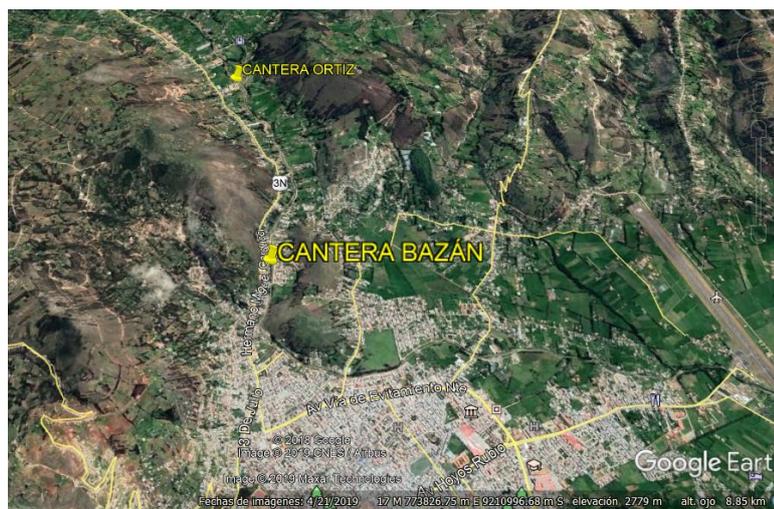
están compuestos por rocas de gran tamaño, el hormigón es procesado en el mismo lugar, donde existe una chancadora, donde se hace el chancado y separación de material, en piedra chancada de media pulgada y tres cuartos de pulgada.

FIGURA N° 8: Ubicación de la cantera Bazán.



Fuente: Google Earth (2019).

FIGURA N° 9: Ubicación de la cantera Ortiz.



Fuente: Google Earth (2019).

3.2.3. Trituración de agregados en cantera.

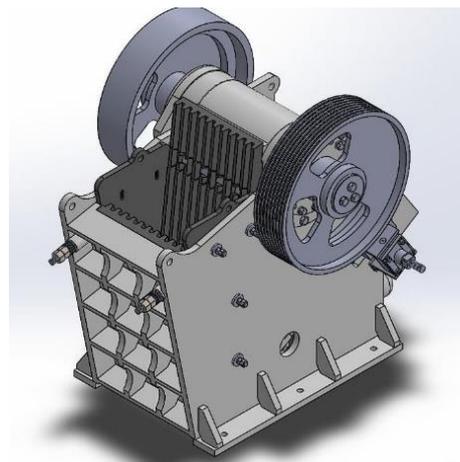
De acuerdo a la publicación de Explora geología (2010), la trituración Conduce a la reducción del tamaño de las partículas mediante procesos de compresión, abrasión, impacto o cizallamiento. La estructura de las rocas es la responsable de las características de su rotura, si es homogénea, la ruptura se produce indistintamente a través de granos, cristales o del cemento que las une, pero si son heterogéneas la ruptura tiene lugar a través del cemento.

3.2.3.1. Trituración primaria

El propósito de la trituración primaria es reducir el material a un tamaño que permita su transporte en bandas transportadoras. En la mayor parte de las instalaciones productoras de agregados de la provincia de Cajamarca, la trituración primaria se hace con una trituradora de mandíbulas. Cuando el material es fácil de triturar y no muy abrasivo, una trituradora de impactos puede ser la mejor solución para la trituración primaria.

Las trituradoras de mandíbulas están formadas por dos mandíbulas dispuestas una enfrente de la otra en forma de V, una de las cuales es fija y la otra está animada por un movimiento de oscilación alrededor de un eje horizontal. El material, introducido por la parte superior, es fragmentado debido al acercamiento de dicha mandíbula y el retroceso de la misma permite a los fragmentos generados descender hacia la parte más estrecha, donde se someterán a una nueva compresión hasta salir de la machacadora por la abertura inferior.

FIGURA N° 10: Trituradora de mandíbulas de efecto simple.



Fuente: Explora Geología.

3.2.3.2. Trituración secundaria

Es la segunda reducción de tamaño del agregado, el propósito de la trituración intermedia es producir varios productos gruesos, se utilizan molinos con boca de alimentación oblicua que admiten tamaños de alrededor de 350 mm para dar un producto final de 0 - 40 mm con porcentajes entre el 20% y el 40% de arena 0-5 mm.

Para este nivel de trituración se usa los trituradores cónicos, en este tipo de equipos los materiales a machacar se reducen por compresión, al igual que en una machacadora de mandíbulas, con la diferencia de que aquí se realiza entre una pieza troncocónica que tiene un movimiento giratorio excéntrico en el interior de un espacio limitado por una pared también troncocónica pero invertida. De esta manera, la superficie con forma de tronco de cono se

acerca sucesivamente a cada una de las generatrices de la pared cóncava fija para alejarse posteriormente.

FIGURA N° 11: Trituradora de cono.



Fuente: Explora Geología.

3.3.Procedimiento de Diseño de Mezclas y Elaboración de Especímenes

3.3.1. Requerimientos del concreto considerados para el diseño de mezclas

Las características del concreto han de ser función del fin para el cual está destinado. Por ello la selección de las proporciones de la unidad cubica de concreto debe permitir obtener un concreto con la facilidad de colocación, densidad, resistencia, durabilidad u otras propiedades que se consideran necesarias para el caso particular para el cual la mezcla está siendo diseñada, Rivva (2007). Para la elaboración del diseño de mezclas para los especímenes cilíndricos de concreto se consideró tener los siguientes requerimientos en el estado endurecido y no endurecido:

3.3.1.1.Apariencia

Para la elaboración de especímenes de concreto y su respectivo ajuste de proporciones se verificó que el concreto no endurecido, presente una apariencia homogénea, evitando que éste sea sobre gravoso o sobre arenoso.

3.3.1.2.Consistencia

Para el diseño y posterior ajuste de mezclas se consideró que el concreto no endurecido posea una consistencia plástica, es decir que su revenimiento se encuentre entre tres y cuatro pulgadas.

3.3.1.3.Resistencia requerida

Para el diseño de mezclas y ajuste de proporciones de los especímenes cilíndricos de concreto, se consideró una resistencia de 280 Kg/cm².

3.3.2. Propiedades de los materiales a considerar para el diseño de mezclas

3.3.2.1. Propiedades de los agregados

Tabla N° 16: Resumen de las propiedades de los agregados.

PROPIEDADES	CANTERA BAZÁN		CANTERA ORTIZ
	A. FINO	A. GRUESO	A. GRUESO
Tamaño máximo (pulg)	-	1"	1"
Tamaño máximo nominal (pulg)	-	3/4"	3/4"
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.60	2.57	2.59
Peso específico SSS (gr/cm ³)	2.63	2.60	2.62
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.68	2.64	2.67
Absorción (%)	1.16	1.05	1.13
Contenido de humedad (%)	0.53	0.71	0.24
Módulo de finura	3.05	6.87	7.06
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1603.67	1324.00	1347.00
Peso U. S. Compactado (kg/m ³)	1730.33	1478.00	1505.67
Abrasión (%)	-	32.24	28.35
Material que pasa la malla n° 200 (%)	2.24	0.71	0.61
Índice de lajas (%)	-	29.73	25.21
Índice de agujas (%)	-	34.40	46.05

3.3.3. Diseño de mezclas de la Cantera Bazán.

Este método de diseño considera las tablas empleadas por el comité 211.1 del ACI

Paso 1: Cálculo de la Resistencia Promedio (Resistencia media requerida):

Para el cálculo de la resistencia promedio tomamos como base la resistencia especificada dada y se le suma 86.70 kg/cm² de acuerdo a la tabla N° 81:

Se tiene que:

$$*f'_{cr} = f'_c + 86.70$$

$$*f'_{cr} = (280 + 86.70) \text{ kgs/cm}^2$$

$$*f'_{cr} = 366.70 \text{ kgs/cm}^2 \text{ (Resistencia de diseño)}$$

Paso 2: Elección del asentamiento:

Según el requerimiento de investigación dado se requiere una consistencia plástica, entonces se tiene que:

Slump: 3" a 4"

Paso 3: Estimación de la cantidad de agua por m³ y el porcentaje de aire atrapado:

De la tabla N° 82 obtenemos:

Agua: 205 Kg/m³

% Aire atrapado: 2.0

Paso 4: Cálculo de la relación agua/cemento

De acuerdo con la investigación nos dice que es para un concreto normal entonces la elección de la relación agua/cemento para el diseño lo haremos por resistencia

De la tabla N° 83 obtenemos:

Agua/Cemento: 0.463

Paso 5: Cálculo del factor cemento:

$$\frac{a}{c} = 0.463$$

$$\text{cemento} = \frac{a}{0.463}$$

Se sabe que la cantidad de agua es: 205 kg/m³

$$\text{cemento} = \frac{205 \text{ kg/m}^3}{0.463}$$

$$\text{cemento} = 442.76 \text{ kg/m}^3$$

Cantidad de cemento: 442.76 Kg /m³

Al resultado obtenido se le divide entre 42.5 para así calcular el factor cemento:

Factor Cemento: 10.42 bolsas / m³

Paso 6: Balance de pesos y volúmenes absolutos de lo ya calculado (cemento, agua, aire, y calcular por diferencia de 1.00m³ el volumen por completar con agregados)

Tabla N° 17: Balance de pesos y volúmenes cantera Ortiz.

Elemento	Peso en kg/m ³	Volumen en m ³
Agua	205	0.205
Cemento	442.76	0.140
Aire		0.0200
Balance de volúmenes		0.365
Saldo por completar con grava y arena		1.00 m ³ - 0.365m ³ = 0.635 m ³

Paso 7: Establecemos el porcentaje de intervención de grava:

Para hacer dicho cálculo usamos la tabla del comité ACI 211, el módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

$$TMN=3/4'' \quad MF=3.05$$

De la tabla N° 84 obtenemos:

Extrapolando se tiene:

$$\begin{array}{l} 3.05 \text{-----} X \\ 3.00 \text{-----} 0.60 \\ 2.80 \text{-----} 0.62 \\ \frac{3.05 - 2.8}{3.00 - 2.80} = \frac{X - 0.62}{0.60 - 0.62} \\ X = 0.595 \end{array}$$

NOTA:

El volumen absoluto se calcula multiplicando el de la tabla por el peso unitario compactado en seco de la grava y dividiendo por su peso específico seco

Volumen de agregado grueso compactado en seco por m³ de concreto = 0.595, hallamos el peso de la grava:

Peso de la grava= valor de la tabla x peso unitario compactado

Peso de la grava= 0.595m³ x 1478 kg/m³

Peso de la grava= 879.41kg

Hallamos el volumen absoluto de la grava:

Volumen absoluto de la grava= peso de la grava * peso específico de masa

Volumen absoluto de la grava= 877.26kg /2573 kg/m³

Volumen absoluto de la grava= 0.342

Paso 8: Determinación de volumen remanente de arena por diferencia y cálculo de sus pesos:

Tabla N° 18: Determinación de volumen remanente de arena cantera Ortiz.

Elemento	Peso en kg/m ³	Volumen en m ³
Agua	205	0.205
Cemento	439.9	0.14
Aire		0.02
Balance de volúmenes		0.367
Saldo por completar con grava y arena		1.00 m ³ - 0.367 m ³ = 0.633 m ³
Grava calculada	879.41	0.291
Volumen de arena por diferencia		0.633 m ³ - 0.342 m ³ = =0.291 m ³

Elemento	Peso en kg/m ³	Volumen en m ³
Cálculo del peso de arena	0.291 m ³ x 2600 kg/m ³	0.291m ³
	= 758.17 kg	

Pesos húmedos por metro cúbico.

Cemento	=	442.76	Kg.
A° Fino	=	758.17	Kg.
A° Grueso	=	879.41	Kg.
Agua	=	205	L

Paso 9: Corrección por humedad:

Para hacer esta corrección necesitamos los siguientes datos:

Los pesos húmedos de los agregados fino y grueso serán igual al respectivo peso seco multiplicado por la unidad más el contenido de humedad expresado en forma decimal.

-Peso húmedo del agregado:

Fino.....	758.17 x 1.0053 = 762.18 kg/m ³
Grueso.....	879.41 x 1.0071 = 885.62 kg/m ³

El agua de absorción no es parte del agua de mezclado, por lo que deberá ser excluida de las correcciones por humedad del agregado, para ello se debe calcular la humedad superficial.

-Humedad superficial del agregado:

Fino.....	0.53-1.16 = -0.63 %
Grueso.....	0.71-1.05 = -0.35 %

Conocida la humedad superficial se puede determinar el aporte de cada uno de los agregados al agua de mezcla. Para ello se multiplicara el peso seco del agregado por la humedad superficial del mismo expresada en fracción decimal.

-Aporte de humedad del agregado:

Fino.....	758.17 x -0.0063 = -4.78 lt/m ³
Grueso.....	879.41 x -0.0035 = -3.06lt/m ³
Total.....	-7.84 lt/m ³

Como el agregado añade agua del diseño de mezcla, dicha cantidad deberá ser reducida al agua de diseño para así poder determinar el agua efectiva para el diseño.

agua efectiva.....	205 + 7.84 = 212.84 lt/m ³
--------------------	---------------------------------------

Y los pesos de los materiales por metro cubico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas de prueba, serán:

Pesos húmedos por metro cúbico.

Cemento	=	442.76	Kg.
A° Fino	=	762.84	Kg.
A° Grueso	=	885.62	Kg.
Agua	=	212.84	L.

Pesos húmedos para tres probetas:

*Volumen del espécimen 0.020 m³

Cemento	=	8.86	Kg.
A° Fino	=	15.24	Kg.
A° Grueso	=	17.71	Kg.
Agua Efectiva	=	4.26	L.

3.3.4. Procedimiento realizado para el ajuste de las proporciones de la cantera Bazán.

Verificadas y obtenidas las condiciones anteriores, deberá realizarse en las siguientes tandas, los ajustes apropiados en las proporciones, de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Determinación de las características de la mezcla de prueba.

Apariencia = Homogénea

Asentamiento = 4.0 cm

Agua adicional = 170 cm³

Densidad de masa concreto en estado fresco = 2294.13 kg/m³

2. Tanda de mezclado.

Cemento	=	8.86	Kg.
A° Fino	=	15.24	Kg.
A° Grueso	=	17.71	Kg.
Agua Efectiva	=	4.26	lt.

3. Rendimiento de la Tanda

$$Y = \frac{46.07 \text{ Kg/tanda}}{2294.13 \text{ Kg/m}^3} = 0.0201 \text{ m}^3/\text{tanda}$$

4. Agua de mezclado.

Aporte del agregado fino	=	0.06	lt/tanda
Aporte del agregado grueso	=	0.10	lt/tanda
Agua añadida	=	4.27	lt/tanda
Agua de mezclado por tanda	=	4.43	lt/tanda

5. Agua de mezclado por m³ corregida por agua adicional.

$$\text{Agua} = \frac{4.43 \text{ lt/tanda}}{0.0201 \text{ m}^3/\text{tanda}} = 220.40 \text{ m}^3/\text{tanda}$$

6. Agua de mezclado por metro cúbico corregido por asentamiento: Se deberá disminuir en 2 litros por cada 10 mm de aumento del asentamiento.

$$\text{Agua} = 220.40 \text{ lt/m}^3 + 2 \times (9 - 4.0) \text{ lt/m}^3 = 230.40 \text{ lt/m}^3$$

7. Nuevos materiales de diseño corregidos por apariencia, agua adicional y asentamiento: Se determinará a partir de los datos como relación a/c y proporcionamiento por ACI obtenidos durante el diseño original.

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 496.76 \text{ Kg.} \\ \text{A}^\circ \text{ Fino} &= 697.28 \text{ Kg} \\ \text{A}^\circ \text{ Grueso} &= 888.63 \text{ Kg} \\ \text{Agua Efectiva} &= 230.40 \text{ lt} \end{aligned}$$

8. Corrección por resistencia:

Se determinará a partir de la fórmula de Powers actualizada, la que relaciona el grado de hidratación del concreto, la relación gel/ espacio, la resistencia probable a los 28 días y la relación a/c.

$$R = 2380 \times X^3 \dots\dots\dots (33)$$

$$X = \frac{0.687 * \alpha}{0.319 * \alpha + \frac{a}{c}} \dots\dots\dots (34)$$

Dónde:

R = Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²)

X = Relación Gel/Espacio

α = Grado de hidratación

a/c = Relación agua/cemento

Datos:

Resistencia a los 7 días = 362.55 kg/cm²

Resistencia esperada a los 28 días = 374.39/0.65 kg/cm² = 575.98 kg/cm²

Resistencia de diseño a los 28 días = 280.00 kg/cm²

$$\alpha = \frac{\left(\sqrt[3]{\frac{557.73}{2380}} \right) * 0.463}{0.687 - \left(\sqrt[3]{\frac{557.73}{2380}} \right) * 0.319} = 0.591$$

$$\frac{a}{c} = \frac{0.687 * 0.591}{\left(\sqrt[3]{\frac{280}{2380}} \right)} - 0.319 * 0.591 = 0.64$$

10. Nuevos materiales de diseño corregidos por resistencia

Se determinará a partir de la nueva relación a/c y método ACI.

Cemento	: 360.00 Kg
Agregado fino	: 812.58 Kg
Agregado grueso	: 888.63 Kg
Agua de diseño	: 230.40 Kg

3.3.5. Diseño de mezclas de la Cantera Ortiz.

Este método de diseño considera las tablas empleadas por el comité 211.1 del ACI

Paso 1: Cálculo de la Resistencia Promedio (Resistencia media requerida):

Para el cálculo de la resistencia promedio tomamos como base la resistencia especificada dada y se le suma 86.70 kg/cm² de acuerdo a la tabla N° 81:

Se tiene que:

$$*f'_{cr} = f'_c + 86.70$$

$$*f'_{cr} = (280 + 86.70) \text{ kg/cm}^2$$

$$*f'_{cr} = 366.70 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Resistencia de diseño)}$$

Paso 2: Elección del asentamiento:

Se requiere una consistencia plástica, entonces se tiene que:

Slump: 3" a 4"

Paso 3: Estimación de la cantidad de agua por m³ y el porcentaje de aire atrapado:

De la tabla N° 82 obtenemos:

Agua: 205 Kg/m³

% Aire atrapado: 2.0

Paso 4: Cálculo de la relación agua/cemento

De acuerdo con la investigación nos dice que es para un concreto normal entonces la elección de la relación agua/cemento para el diseño lo haremos por resistencia

De la tabla N° 83 obtenemos:

$$\text{Agua/Cemento: } 0.463$$

Paso 5: Cálculo del factor cemento:

$$\frac{a}{c} = 0.463$$

$$\text{cemento} = \frac{a}{0.463}$$

Se sabe que la cantidad de agua es: 205 kg/m^3

$$\text{cemento} = \frac{205 \text{ kg/m}^3}{0.463}$$

$$\text{cemento} = 442.76 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de cemento: } 442.76 \text{ Kg /m}^3$$

Al resultado obtenido se le divide entre 42.5 para así calcular el factor cemento:

$$\text{Factor Cemento: } 10.42 \text{ bolsas / m}^3$$

Paso 6: Balance de pesos y volúmenes absolutos de lo ya calculado (cemento, agua, aire, y calcular por diferencia de 1.00 m^3 el volumen por completar con agregados)

Tabla N° 19: Balance de pesos y volúmenes cantera Bazán.

Elemento	Peso en kg/m^3	Volumen en m^3
Agua :	205	0.205
Cemento :	442.76	0.140
Aire :		0.0200
Balance de volúmenes:		0.365
Saldo por completar con grava y arena :		0.635 m^3

Paso 7: Establecemos el porcentaje de intervención de grava:

Para hacer dicho cálculo usamos la tabla del comité ACI 211, el módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

TMN=3/4” MF=3.05

De la tabla N° 84 obtenemos:

Extrapolando se tiene:

$$\begin{array}{l} 3.05 \text{-----} X \\ 3.00 \text{-----} 0.60 \\ 2.80 \text{-----} 0.62 \\ \frac{3.05 - 2.8}{3.00 - 2.80} = \frac{X - 0.62}{0.60 - 0.62} \\ X = 0.595 \end{array}$$

El volumen absoluto se calcula multiplicando el de la tabla por el peso unitario compactado en seco de la grava y dividiendo por su peso específico seco

Volumen de agregado grueso compactado en seco por m³ de concreto = 0.575, hallamos el peso de la grava:

Peso de la grava= valor de la tabla * peso unitario compactado

Peso de la grava= 0.595m³ x 1525.67 kg/m³

Peso de la grava= 907.77 kg

Hallamos el volumen absoluto de la grava:

Volumen absoluto de la grava= peso de la grava x peso específico de masa

Volumen absoluto de la grava= 907.77kg /2587.80 kg/m³

Volumen absoluto de la grava= 0.351

Paso 8: Determinación de volumen remanente de arena por diferencia y cálculo de sus pesos:

Tabla N° 20: Determinación de volumen remanente de arena cantera Bazán.

Elemento	Peso en kg/m ³	Volumen en m ³
Agua	205	0.205
Cemento	439.9	0.14
Aire		0.020
Balance de volúmenes		0.365
Saldo por completar con grava y arena		1.00 m ³ - 0.365m ³ = 0.635 m ³
Grava calculada	877.26	0.339
Volumen de arena por		0.635 m ³ -0.351 m ³

diferencia		=0.284m ³
Cálculo del peso de arena	0.284 m ³ x 2600 kg/m ³ = 739.92 kg	0.284m ³

Pesos húmedos por metro cúbico.

Cemento	=	442.76	Kg.
A° Fino	=	739.92	Kg.
A° Grueso	=	907.77	Kg.
Agua	=	205	Litros

Paso 9: Corrección por humedad:

Para hacer esta corrección necesitamos los siguientes datos:

Los pesos húmedos de los agregados fino y grueso serán igual al respectivo peso seco multiplicado por la unidad más el contenido de humedad expresado en forma decimal.

-Peso húmedo del agregado:

Fino.....739.92 x 1.0053 = 743.84 kg/m³

Grueso.....907.77 x 1.0024 = 909.92 kg/m³

El agua de absorción no es parte del agua de mezclado, por lo que deberá ser excluida de las correcciones por humedad del agregado, para ello se debe calcular la humedad superficial.

-Humedad superficial del agregado:

Fino.....0.53-1.16 = -0.63 %

Grueso.....0.24-1.13 = - 0.89 %

Conocida la humedad superficial se puede determinar el aporte de cada uno de los agregados al agua de mezcla. Para ello se multiplicara el peso seco del agregado por la humedad superficial del mismo expresada en fracción decimal.

-Aporte de humedad del agregado:

Fino.....739.92x -0.0063 = - 4.67 lt/m³

Grueso.....907.77 x -0.0089 = -8.15 lt/m³

Total..... - 12.82 lt/m³

Como el agregado quita agua del diseño de mezcla, dicha cantidad deberá ser incrementada al agua de diseño para así poder determinar el agua efectiva para el diseño.

agua efectiva.....205 + 12.82 = 217.82 lt/m³

Y los pesos de los materiales por metro cubico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas de prueba, serán:

Cemento	=	442.76 Kg.
A° Fino	=	743.84 kg
A° Grueso	=	909.92 kg
Agua Efectiva	=	217.82 lt

Pesos húmedos para tres probetas:

Volumen del espécimen 0.020 m³

Cemento	=	8.86 Kg.
A° Fino	=	14.88 Kg.
A° Grueso	=	18.20 Kg.
Agua Efectiva	=	4.36 lt.

3.3.6. Procedimiento realizado para el ajuste de las proporciones de la cantera Ortiz.

Verificadas y obtenidas las condiciones anteriores, deberá realizarse en las siguientes tandas, los ajustes apropiados en las proporciones, de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Determinación de las características de la mezcla de prueba.

Apariencia = Homogénea

Asentamiento = 3.0 cm

Agua adicional = 0 cm³

Densidad de masa concreto en estado fresco = 2306.93 kg/m³

2. Tanda de mezclado.

Cemento	=	8.86 Kg.
A° Fino	=	14.88 Kg.
A° Grueso	=	18.20 Kg.
Agua Efectiva	=	4.36 lt.

3. Rendimiento de la Tanda

$$Y = \frac{46.30 \text{ Kg/tanda}}{2306.93 \text{ Kg/m}^3} = 0.0200 \text{ m}^3/\text{tanda}$$

4. Agua de mezclado.

Aporte del agregado fino	=	0.09 lt/tanda
Aporte del agregado grueso	=	0.17 lt/tanda
Agua añadida	=	4.10 lt/tanda
Agua de mezclado por tanda	=	4.36 lt/tanda

5. Agua de mezclado por m³ corregida por agua adicional.

$$\text{Agua} = \frac{4.36 \text{ lt/tanda}}{0.0200 \text{ m}^3/\text{tanda}} = 218 \text{ m}^3/\text{tanda}$$

6. Agua de mezclado por metro cúbico corregido por asentamiento: Se deberá disminuir en 2 litros por cada 10 mm de aumento del asentamiento.

$$\text{Agua} = 218 \text{ lt/m}^3 + 2 \times (9-3.0) \text{ lt/m}^3 = 230.00 \text{ lt/m}^3$$

8. Nuevos materiales de diseño corregidos por apariencia, agua adicional y asentamiento: Se determinará a partir de los datos como relación A/C y proporcionamiento por ACI obtenidos durante el diseño original.

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 496.76 \text{ Kg.} \\ \text{A}^\circ \text{ Fino} &= 699.05 \text{ kg} \\ \text{A}^\circ \text{ Grueso} &= 909.92 \text{ kg} \\ \text{Agua Efectiva} &= 230.00 \text{ lt} \end{aligned}$$

9. Corrección por resistencia:

Se determinará a partir de la fórmula de Powers actualizada, la que relaciona el grado de hidratación del concreto, la relación gel/ espacio, la resistencia probable a los 28 días y la relación a/c.

$$R = 2380 \times X^3 \dots\dots (33)$$

$$X = \frac{0.687 * \alpha}{0.319 * \alpha + \frac{a}{c}} \dots\dots (34)$$

Dónde:

R = Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²)

X = Relación Gel/Espacio

α = Grado de hidratación

a/c = Relación agua/cemento

Datos:

Resistencia a los 7días = 438.709 kg/cm²

Resistencia esperada a los 28 días = 406.74/0.65 kg/cm² = 674.94 kg/cm²

Resistencia de diseño a los 28 días = 280.00 kg/cm²

$$\alpha = \frac{\left(\sqrt[3]{\frac{674.94}{2380}} \right) * 0.463}{0.687 - \left(\sqrt[3]{\frac{674.94}{2380}} \right) * 0.319} = 0.656$$

$$\frac{a}{c} = \frac{0.687 * 0.656}{\left(\sqrt[3]{\frac{280}{2380}} \right)} - 0.319 * 0.656 = 0.71$$

10. Nuevos materiales de diseño corregidos por resistencia

Se determinará a partir de la nueva relación a/c y método ACI.

Cemento	:	323.94 Kg
Agua de diseño	:	230 Kg
Agregado grueso	:	909.92 Kg
Agregado fino	:	835.44 Kg

3.4. Procedimiento realizado para la variación de los índices de lajas y agujas.

Verificadas y obtenidas las condiciones anteriores, se realizó en las siguientes tandas, el remplazo de partículas según su forma, logrando la variación de los índices de lajas y agujas según corresponda, para la elaboración de la tesis:

Las proporciones y diseño de mezclas para los diferentes porcentajes de índice de lajas y agujas se muestran en las tablas.

3.4.1. Especímenes de concreto a diferentes índices de lajas y agujas.

3.4.1.1. Base: Especímenes de concreto sin variación de los índices de lajas y agujas.

Estos especímenes fueron elaborados sin variación de los índices de lajas y agujas del agregado grueso, para ello se mantendrá la composición base del agregado grueso de cada cantera, para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:

Cantera Bazán:

- **Compresión:** C – I₁ = 29.73% y I_a = 34.40% - 7d, 14d y 28d.
- **Flexión:** F – I₁ = 29.73% y I_a = 34.40% - 28d.
- **Porosidad:** P – I₁ = 29.73% y I_a = 34.40% - 28d.

Cantera Ortiz:

- **Compresión:** $C - I_1 = 25.21\%$ y $I_a = 46.05\%$ - 7d, 14d y 28d.
- **Flexión:** $F - I_1 = 25.21\%$ y $I_a = 46.05\%$ - 28d.
- **Porosidad:** $P - I_1 = 25.21\%$ y $I_a = 46.05\%$ - 28d.

3.4.1.2. Variación 01: Especímenes de concreto con los índices de lajas y agujas reducidos a la mitad.

Estos especímenes fueron elaborados reduciendo al 50% los índices de lajas y agujas del agregado grueso, para ello se reemplazara la mitad del agregado base por agregado conformado únicamente por partículas cúbicas de cada cantera, para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:

Cantera Bazán:

- **Compresión:** $C - I_1 = 14.87\%$ y $I_a = 17.20\%$ - 7d, 14d y 28d.
- **Flexión:** $F - I_1 = 14.87\%$ y $I_a = 17.20\%$ - 28d.
- **Porosidad:** $P - I_1 = 14.87\%$ y $I_a = 17.20\%$ - 28d.

Cantera Ortiz:

- **Compresión:** $C - I_1 = 12.61\%$ y $I_a = 23.03\%$ - 7d, 14d y 28d.
- **Flexión:** $F - I_1 = 12.61\%$ y $I_a = 23.03\%$ - 28d.
- **Porosidad:** $P - I_1 = 12.61\%$ y $I_a = 23.03\%$ - 28d.

3.4.1.3. Variación 02: Especímenes de concreto incrementando los índices de lajas y agujas en veinticinco por ciento.

Estos especímenes fueron elaborados incrementando en 25% los índices de lajas y agujas del agregado grueso, para ello se reemplazara determinadas cantidades del agregado base por agregado de forma de lajas y agujas de cada cantera, para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:

Cantera Bazán:

- **Compresión:** $C - I_1 = 37.16\%$ y $I_a = 43\%$ - 7d, 14d y 28d.
- **Flexión:** $F - I_1 = 37.16\%$ y $I_a = 43\%$ - 28d.
- **Porosidad:** $P - I_1 = 37.16\%$ y $I_a = 43\%$ - 28d.

Cantera Ortiz:

- **Compresión:** $C - I_1 = 31.51\%$ y $I_a = 57.5\%$ - 7d, 14d y 28d.
- **Flexión:** $F - I_1 = 31.51\%$ y $I_a = 57.5\%$ - 28d.
- **Porosidad:** $P - I_1 = 31.51\%$ y $I_a = 57.5\%$ - 28d.

Con cada una de las tres dosificaciones vistas en los acápites anteriores, se elaboraron especímenes con la siguiente distribución:

Tabla N° 21: Distribución de especímenes para ensayos, cantera Bazán.

CANTERA BAZÁN					
DÍAS	BASE	VARIACIÓN 01	VARIACIÓN 02	SUBTOTAL	TOTAL
	100% I _l = 29.73% y I _a =34.40%	50% I _l = 14.87% y I _a = 17.20%	125% I _l = 37.16% y I _a =43%		
COMPRESIÓN					
7	6	6	6	18	
14	6	6	6	18	54
28	6	6	6	18	
FLEXIÓN					
28	6	6	6	18	18
POROSIDAD					
28	6	6	6	18	18

Se consideró esta cantidad de repeticiones ya que la Norma NTP 339.183 (2018), en su apartado 5.5 Número de especímenes, menciona que usualmente tres o más especímenes deberán ser moldeados para cada condición y edad de prueba. Es por ello que se tomaron múltiplos de 3 para la evaluación de los especímenes, considerando que la norma NTP 339.183 (2018), es utilizada con fines de investigación.

Tabla N° 22: Distribución de especímenes para ensayos, cantera Ortiz.

CANTERA ORTIZ					
DÍAS	BASE	VARIACIÓN 01	VARIACIÓN 02	SUBTOTAL	TOTAL
	100% I _l = 25.21% y I _a =46.05%	50% I _l = 12.61% y I _a = 23.03%	125% I _l = 31.51% y I _a = 57.5%		
COMPRESIÓN					
7	6	6	6	18	
14	6	6	6	18	54
28	6	6	6	18	
FLEXIÓN					
28	6	6	6	18	18
POROSIDAD					
28	6	6	6	18	18

3.5. Técnicas, Instrumentos de Recopilación y Procesamiento de Información

3.5.1. 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 variaciones de índices de lajas y agujas del agregado grueso utilizado para los concretos 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, moldes adecuados para la elaboración y control de calidad del concreto, balanzas, calibradores, tamices de acuerdo a las NTP y ASTM correspondientes.

El método cualitativo se usó para describir algunas propiedades o variables cualitativas de los concretos 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.

3.5.2. Técnicas de procesamiento y análisis de información.

La información cuantitativa que se obtuvo de las variables de estudio de las diferentes variaciones de índices de lajas y agujas del agregado grueso utilizado para los concretos elaborados, 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.

3.5.3. 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 la importancia de las variables de estudio mediante el análisis estadístico. Por ello se realizaron los análisis estadísticos de los resultados de las siguientes variables de evaluación: (a) Slump del concreto en estado fresco, (b) Densidad de masa del concreto fresco, (c) Densidad de masa de los especímenes cilíndricos de concreto endurecido, (d) Resistencia a compresión de 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 28 días, (f) Módulos de elasticidad del concreto 7, 14 y 28 días, (g) Porosidad del concreto de especímenes cúbicos a la edad de 28 días.

Capítulo IV. Análisis y Discusión de Resultados

4.1. Propiedades de los agregados

Tabla N° 23: Propiedades del agregado fino, cantera Bazán.

PROPIEDADES	
Peso específico de masa (gr/cm^3)	2.6
Peso específico SSS (gr/cm^3)	2.63
Peso específico aparente (gr/cm^3)	2.68
Absorción (%)	1.16
Contenido de humedad (%)	0.53
Módulo de finura	3.05
Peso unitario suelto seco (kg/m^3)	1603.67
Peso U. S. Compactado (kg/m^3)	1730.33
Material que pasa la malla n° 200 (%)	2.24

Interpretación: De los resultados resumidos en la tabla N° 23, se observa que el módulo de finura del agregado ensayado es de 3.05, valor permisible por la Norma NTP 400.012 (2.3 a 3.1); el agregado presenta 2.24% de material que pasa la mala n° 200 siendo permisible de acuerdo a la Norma NTP 400.018, teniendo como valor máximo 7% para agregado fino chancado.

En la siguiente grafica se aprecia la distribución granulométrica del agregado fino, se aprecia que en la malla N° 8, el agregado esta fuera del rango mínimo del porcentaje que pasa, pero ya hemos comprobado que es factible utilizar el agregado fino de la cantera Bazán para la producción de concreto hidráulico, a pesar de no estar enteramente dentro de los rangos requeridos para el agregado fino.

FIGURA N° 12: Gráfica de gradación del agregado fino.

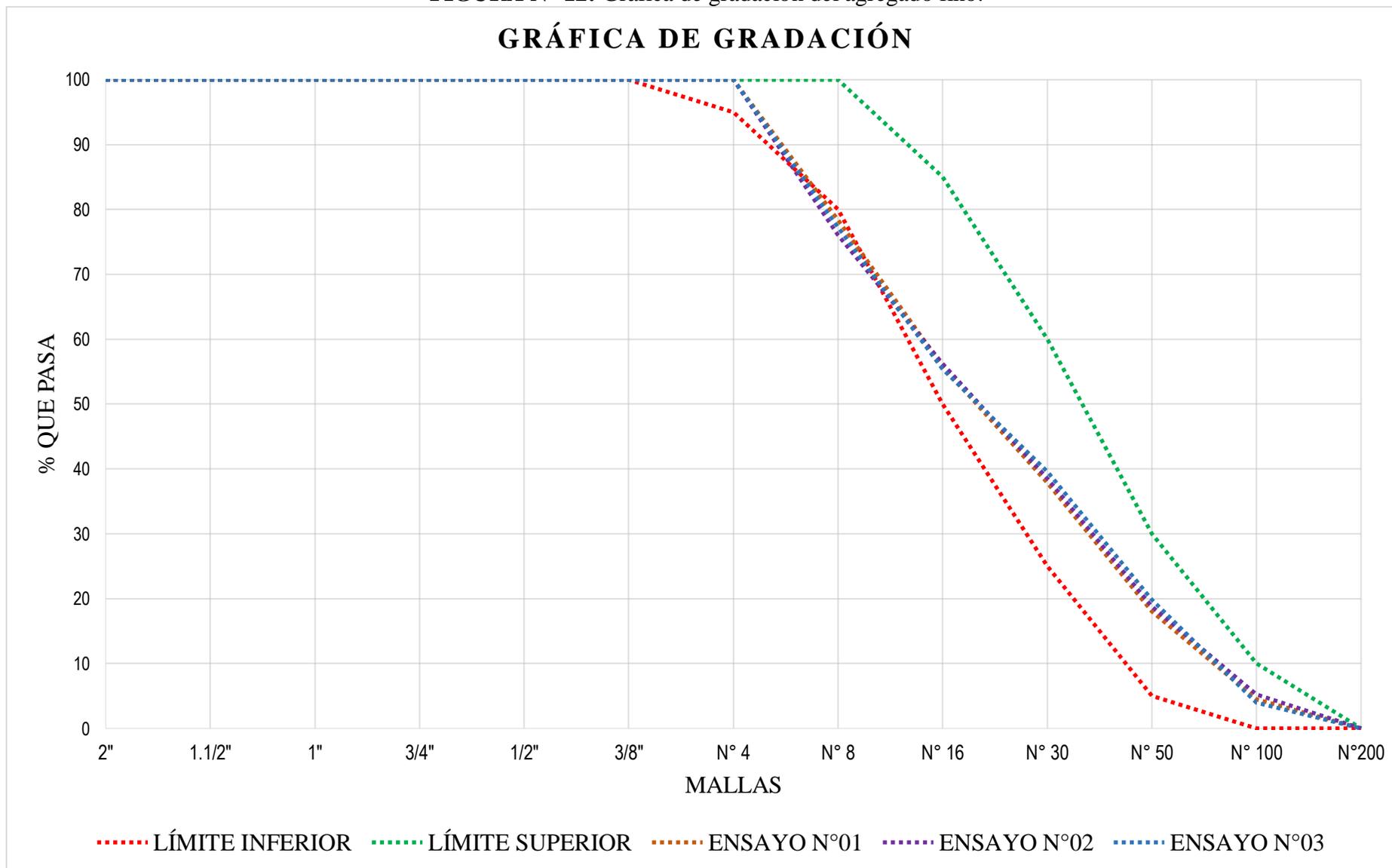


Tabla N° 24: Propiedades del agregado grueso, cantera Bazán.

PROPIEDADES	
Tamaño máximo (pulg)	1"
Tamaño máximo nominal (pulg)	3/4"
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.57
Peso específico SSS (gr/cm ³)	2.6
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.64
Absorción (%)	1.05
Contenido de humedad (%)	0.71
Módulo de finura	6.87
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1324
Peso U. S. Compactado (kg/m ³)	1478
Abrasión (%)	32.24
Material que pasa la malla n° 200 (%)	0.71
Índice de lajas (%)	29.73
Índice de agujas (%)	34.4

Interpretación: Para este agregado tenemos un TMN de 3/4" con un módulo de finura bajo de 6.87; el material que pasa la malla N° 200, cumple el parámetro permisible máximo de 1% según Norma NTP 400.018; según Norma NTP 400.019, el desgaste del agregado grueso debe mantenerse por debajo del 50%, cumpliendo este requisito alcanzando el 28.35% de desgaste, indicando que el agregado ensayado es resistente al desgaste; siendo un agregado apto para diseño de concreto. Para este agregado tenemos un índice de lajas: $I_l = 29.73\%$ y un índice de agujas: $I_a = 34.40\%$ que son las variables de estudio.

En la siguiente grafica se aprecia la distribución granulométrica del agregado grueso de la cantera Bazán, se aprecia que el agregado está cerca del límite superior permitido por el HUSO 67, dando un módulo de finura de 6.87, pero ya hemos comprobado que es factible utilizar el agregado grueso de la cantera Bazán para la producción de concreto hidráulico.

FIGURA N° 13: Gráfica de gradación del agregado grueso cantera Bazán.

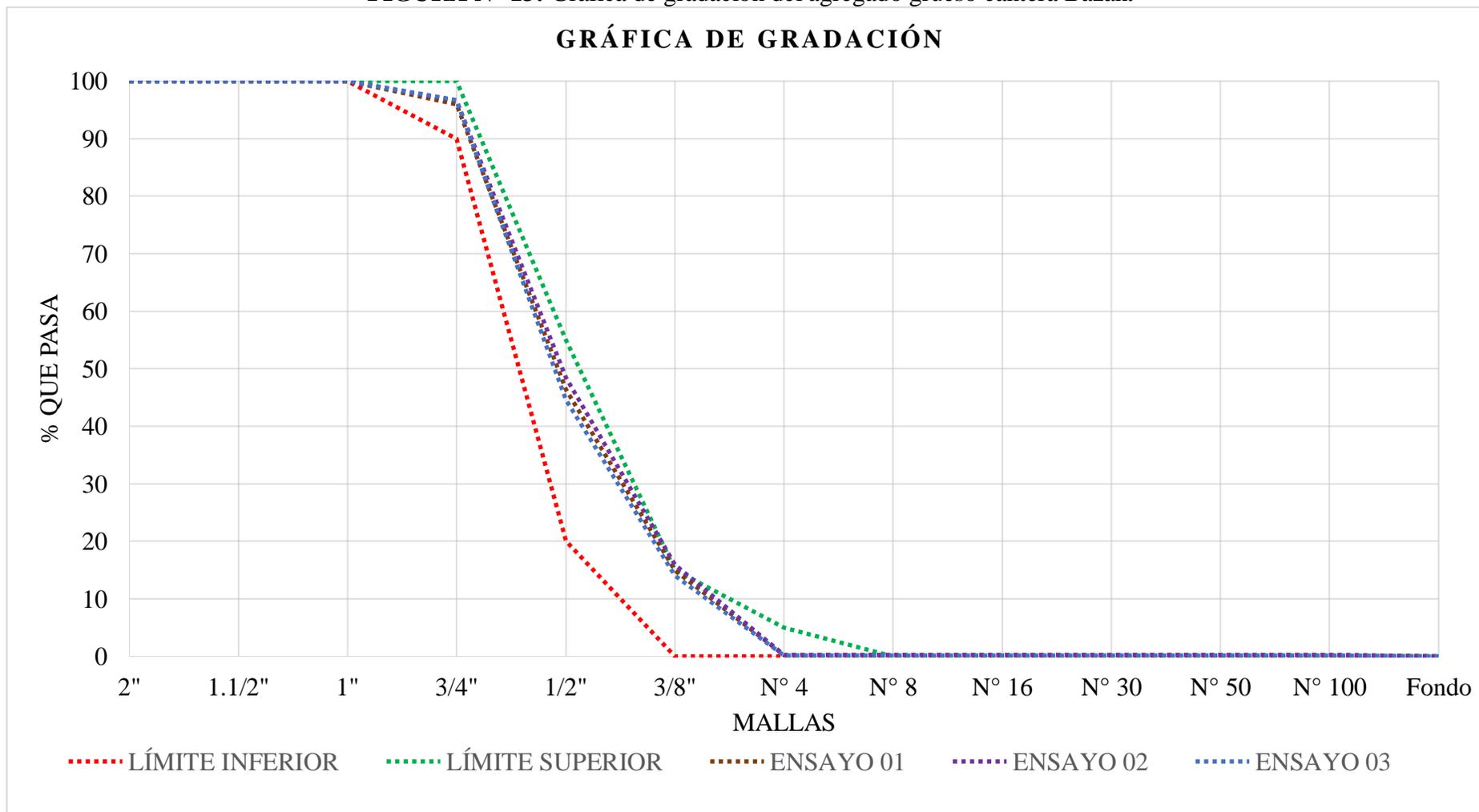


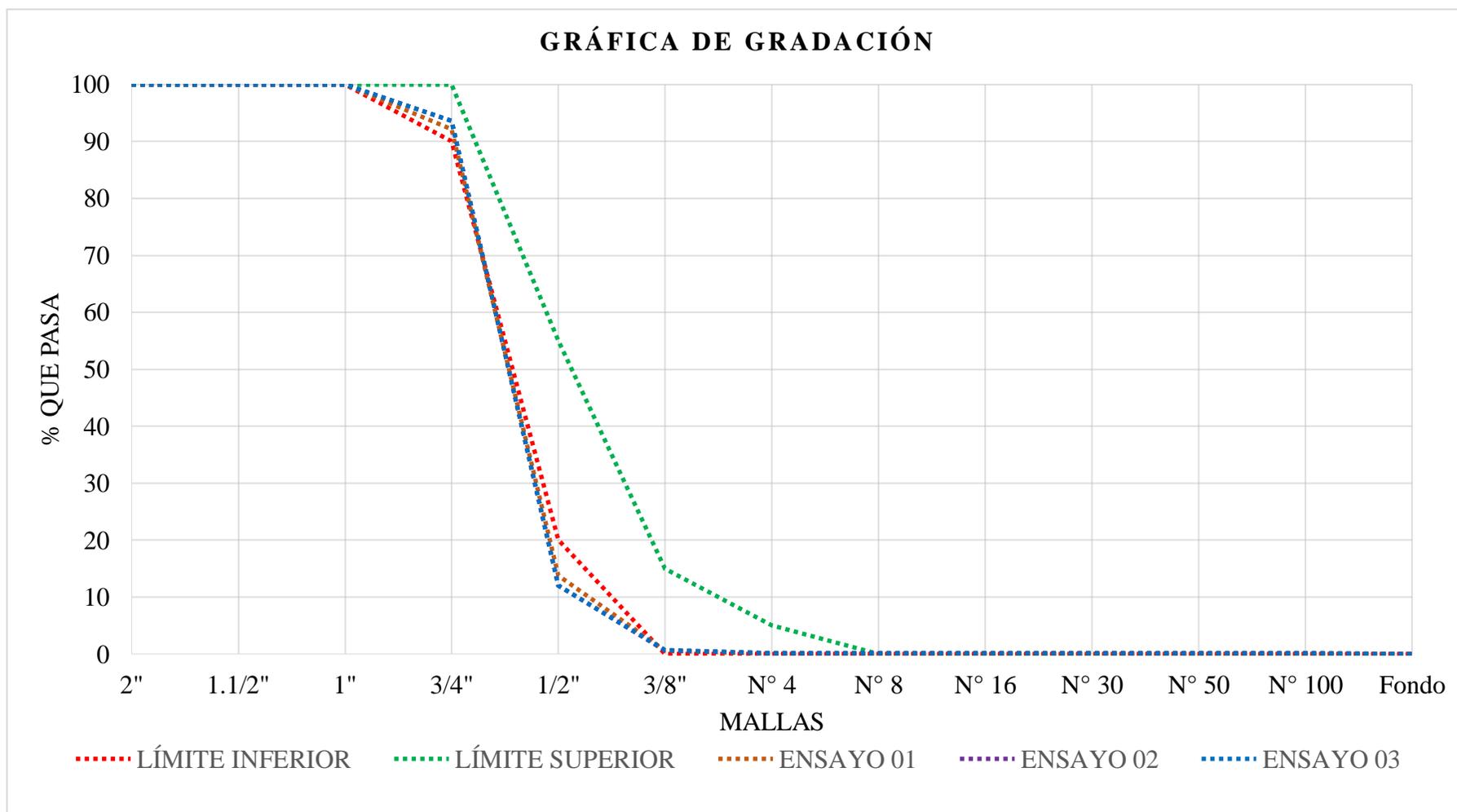
Tabla N° 25: Propiedades del agregado grueso, cantera Ortiz.

PROPIEDADES	
Tamaño máximo (pulg)	1"
Tamaño máximo nominal (pulg)	3/4"
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.59
Peso específico SSS (gr/cm ³)	2.62
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.67
Absorción (%)	1.13
Contenido de humedad (%)	0.24
Módulo de finura	7.06
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1347
Peso U. S. Compactado (kg/m ³)	1505.67
Abrasión (%)	28.35
Material que pasa la malla n° 200 (%)	0.61
Índice de lajas (%)	25.21
Índice de agujas (%)	46.05

Interpretación: Para este agregado tenemos un TMN de 3/4" con un módulo de finura de 7.06; el material que pasa la malla N° 200, cumple el parámetro permisible máximo de 1% según Norma NTP 400.018; según Norma NTP 400.019, el desgaste del agregado grueso debe mantenerse por debajo del 50%, cumpliendo este requisito alcanzando el 32.24% de desgaste, indicando que el agregado ensayado es resistente al desgaste; siendo un agregado apto para diseño de concreto. Para este agregado tenemos un índice de lajas: $I_l = 25.21\%$ y un índice de agujas: $I_a = 46.05\%$; que son las variables de estudio.

En la siguiente grafica se aprecia la distribución granulométrica del agregado grueso de la cantera Ortiz, se aprecia que el agregado esta fuera del rango del HUSO 67, se tiene demasiada presencia de partículas de media pulgada, se tiene un módulo de finura de 7.06, pero ya hemos comprobado que es factible utilizar el agregado grueso de la cantera Ortiz para la producción de concreto hidráulico.

FIGURA N° 14: Gráfica de gradación del agregado grueso cantera Ortiz.



4.2. Análisis de la petrografía del agregado grueso

Para determinar la petrografía se seleccionaron 150 partículas de agregado por cada retención obtenido del análisis granulométrico, teniendo los siguientes resultados.

Tabla N° 26: Petrografía del agregado grueso de la cantera Bazán.

ORIGEN	PORCENTAJE DE PARTÍCULAS				
	T -3/4"	T - 1/2"	T - 3/8"	T - No.4	PROMEDIO
SEDIMENTARIO	24.0%	17.3%	24.7%	13.3%	19.8%
ÍGNEO	76.0%	82.7%	75.3%	86.7%	80.2%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

La muestra objeto de estudio contiene agregados en su mayoría de origen ígneo: traquitas y dacitas, teniendo también agregado de origen sedimentario: areniscas y calizas. El agregado presenta forma muy angular y angular, no presentando inconvenientes para la adherencia dentro de la masa de concreto.

Tabla N° 27: Petrografía del agregado grueso de la cantera Ortiz.

ORIGEN	PORCENTAJE DE PARTÍCULAS				
	T -3/4"	T - 1/2"	T - 3/8"	T - No.4	PROMEDIO
SEDIMENTARIO	95.3%	93.3%	93.3%	94.7%	94.2%
ÍGNEO	4.7%	6.7%	6.7%	5.3%	5.8%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

La muestra objeto de estudio contiene agregados en su mayoría de origen sedimentario: areniscas y calizas, teniendo también agregado de origen ígneo: traquitas y dacitas. El agregado presenta forma muy angular y angular, no presentando inconvenientes para la adherencia dentro de la masa de concreto. Este agregado presenta una mejor performance respecto al primero, ya que se requiere menos cantidad de cemento para alcanzar la resistencia requerida.

4.3. Análisis de la Consistencia de las Mezclas

Se determinó el asentamiento de seis tandas de concreto para cada una de las variaciones de índice de lajas e índice de agujas, tres tandas para las probetas cilíndricas, tres tandas que abarcaron las probetas prismáticas y cubicas, luego se calculó el promedio, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 28: Asentamiento de concreto con agregado de la cantera Bazán.

N° de Tanda	CANTERA BAZÁN		
	100%	50%	125%
	I _a = 29.73% y I _l =34.40%	I _a = 14.87% y I _l = 17.20%	I _a = 37.16% y I _l =43%
1	8.50	9.80	8.40
2	8.30	9.30	8.30
3	9.80	11.00	9.80
4	9.10	10.20	9.30
5	8.80	9.60	8.80
6	9.80	11.30	9.60
Promedio	9.05	10.20	9.03

Como se observa en la tabla N° 28 se observa que la variación significativa se presenta para la reducción a la mitad de los índices, ya que con el agregado base tenemos un asentamiento de 9.05 cm siendo consistencia plástica, y para la variación 01 tenemos 10.20 cm estando dentro del rango fluido y para la variación 02 tenemos 9.03 cm. Para la variación 01 tendremos un mejor acomodo de partículas, con lo cual podríamos hacer un reajuste por asentamiento. Entonces la relación entre consistencia y los índices es inversamente proporcional. Con la observación y manipulación del concreto durante los ensayos se pudo verificar que la trabajabilidad de la mezcla se incrementó para la variación 01, es importante resaltar que en la conformación de las probetas prismáticas es donde se notó la mayor diferencia de la importancia de los índices, ya que se necesita más trabajo y mortero para poder darle un buen acabado al espécimen.

Tabla N° 29: Asentamiento de concreto con agregado de la cantera Ortiz.

N° de Tanda	CANTERA ORTIZ		
	100%	50%	125%
	I _a = 25.21% y I _l =46.05%	I _a = 12.61% y I _l = 23.03%	I _a = 31.51% y I _l = 57.5%
1	8.30	10.40	8.30
2	9.30	11.30	8.90
3	9.00	11.20	8.80
4	8.30	10.50	8.50
5	8.80	10.60	8.70
6	9.10	10.90	9.30
Promedio	8.80	10.82	8.75

Como se observa en la tabla N° 29 se observa que la variación significativa se presenta para la reducción a la mitad de los índices, ya que con el agregado base tenemos un asentamiento de 8.80 cm siendo consistencia plástica, y para la variación 01 tenemos 10.82 cm como promedio saliéndose del rango plástico, y para la variación 02 tenemos 8.75 cm, para la variación 01 tendremos un mejor acomodo de partículas, con lo cual podríamos hacer un reajuste por asentamiento, notaremos que para este agregado grueso tenemos mayor asentamiento cuando se reducen los índices comparado con la cantera Bazán. Entonces la relación entre consistencia y los índices es inversamente proporcional.

Con la observación y manipulación del concreto durante los ensayos se pudo verificar que la trabajabilidad de la mezcla se incrementó para la variación 01, es importante resaltar que en la conformación de las probetas prismáticas es donde se notó la mayor diferencia de la importancia de los índices, ya que se necesita más trabajo y mortero para poder darle un buen acabado al espécimen.

4.4. Análisis de la Densidad de Masa del Concreto en Estado Fresco

Se determinó la densidad de masa de seis tandas de concreto para cada variación realizada, los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla N° 30: Densidad de masa del concreto fresco con agregado de la cantera Bazán.

N° de Tanda	CANTERA BAZAN		
	100%	50%	125%
	I _a = 29.73% y I _l =34.40%	I _a = 14.87% y I _l = 17.20%	I _a = 37.16% y I _l =43%
1	2289.52	2290.34	2287.57
2	2291.67	2292.80	2287.37
3	2286.96	2293.00	2292.59
4	2293.41	2295.97	2289.11
5	2288.60	2294.33	2293.92
6	2291.06	2290.75	2290.34
Promedio	2290.20	2292.87	2290.15

En la Tabla N° 30 se muestran los promedios de la densidad de masa del concreto en estado fresco, para las 18 tandas, teniéndose también un mejor resultado para la variación 01, debiéndose al mejor acomodo de las partículas, una mayor compacidad. Estos valores están cercanos al que la bibliografía recomienda que es de aproximadamente 2300 kg/m³.

Tabla N° 31: Densidad de masa del concreto fresco con agregado de la cantera Ortiz.

N° de Tanda	CANTERA ORTIZ		
	50%	150%	100%
	I _a = 25.21% y I _l =46.05%	I _a = 12.61% y I _l = 23.03%	I _a = 31.51% y I _l = 57.5%
1	2300.27	2302.22	2302.53
2	2306.93	2304.27	2307.95
3	2301.30	2307.13	2301.19
4	2300.07	2304.68	2299.45
5	2301.91	2305.50	2291.67
6	2299.97	2301.50	2301.09
Promedio	2301.74	2304.22	2300.65

En la Tabla N° 31 se muestran los promedios de la densidad de masa del concreto en estado fresco, para las 18 tandas, teniéndose también un mejor resultado para la variación 01, debiéndose al mejor acomodo de las partículas, una mayor compacidad. Estos valores están cercanos al que la bibliografía recomienda que es de aproximadamente 2300 kg/m³.

4.5. Análisis de la Densidad de Masa del Concreto en Estado Endurecido

Se determinó la densidad de masa de los especímenes cilíndricos de concreto para cada variación, los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla N° 32: Densidad de masa del concreto endurecido con agregado de la cantera Bazán.

ESPECIMEN	CANTERA BAZAN		
	100%	50%	125%
	I _a = 29.73% y I _l =34.40%	I _a = 14.87% y I _l = 17.20%	I _a = 37.16% y I _l =43%
C 01	2286.21	2284.24	2277.72
C 02	2282.86	2292.17	2283.35
C 03	2286.84	2293.98	2286.93
C 04	2282.80	2288.92	2286.30
C 05	2283.32	2285.86	2301.35
C 06	2286.94	2279.84	2284.60
Promedio	2284.83	2287.50	2286.71

En la Tabla N° 32 se muestra que el promedio de la densidad de masa del concreto en estado endurecido a diferentes variaciones de los índices, obtenido a partir de la determinación del peso y medidas de los especímenes ensayados.

Tabla N° 33: Densidad de masa del concreto endurecido con agregado de la cantera Ortiz.

ESPECIMEN	CANTERA ORTIZ		
	50%	150%	100%
	I _a = 25.21% y I _l =46.05%	I _a = 12.61% y I _l = 23.03%	I _a = 31.51% y I _l = 57.5%
C 01	2302.37	2289.79	2297.66
C 02	2296.99	2302.91	2285.20
C 03	2283.02	2289.25	2281.02
C 04	2287.46	2301.78	2289.38
C 05	2296.27	2296.57	2304.03
C 06	2300.76	2299.85	2305.33
Promedio	2294.48	2296.69	2293.77

En la Tabla N° 33 se muestra que el promedio de la densidad de masa del concreto en estado endurecido a diferentes variaciones de los índices, obtenido a partir de la determinación del peso y medidas de los especímenes ensayados.

4.6. Análisis de la Resistencia Promedio a Compresión

Se determinó la resistencia de 54 especímenes de concreto a diferentes edades y en grupos de 6 especímenes para cada cantera:

Tabla N° 34: Promedio de resistencia a la compresión del concreto con agregados de la cantera Bazán.

Promedio de ensayos a compresión					
Porcentaje de índice de lajas e índice de agujas		Edad de ensayo			Variación de la resistencia a los 28 días
		7 días	14 días	28 días	
100%	I _a = 29.73% y I _l =34.40%	20.0 MPa	24.1 MPa	28.6 MPa	0.00%
50%	I _a = 14.87% y I _l = 17.20%	20.5 MPa	24.4 MPa	29.0 MPa	1.44%
125%	I _a = 37.16% y I _l =43%	20.0 MPa	24.1 MPa	28.5 MPa	-0.28%

En la Tabla N° 34 se observa que la resistencia a compresión del concreto según la edad de ensayo va incrementándose independientemente de la variación del índice de lajas e índice de

agujas, también se verifica que la resistencia a compresión del concreto debido a las dos variaciones de índices muestra un incremento no significativo en relación a los especímenes base.

Tabla N° 35: Promedio de resistencia a la compresión del concreto con agregado de la cantera Ortiz.

Porcentaje de índice de lajas e índice de agujas		Promedio de ensayos a compresión			Variación de la resistencia a los 28 días
		Edad de ensayo			
		7 días	14 días	28 días	
100%	I _a = 25.21% y I _l =46.05%	20.5 MPa	23.7 MPa	28.6 MPa	0.00%
50%	I _a = 12.61% y I _l = 23.03%	20.8 MPa	24.4 MPa	29.1 MPa	1.75%
125%	I _a = 31.51% y I _l = 57.5%	20.1 MPa	23.8 MPa	28.6 MPa	-0.16%

En la Tabla N° 35 se observa que la resistencia a compresión del concreto según la edad de ensayo va incrementándose independientemente de la variación del índice de lajas e índice de agujas, también se verifica que la resistencia a compresión del concreto debido a las dos variaciones de índices muestra un incremento no significativo en relación a los especímenes base.

4.7. Análisis de la resistencia promedio a flexión

Se determinó la resistencia de 18 especímenes de concreto a 28 días de edad y en grupos de 6 especímenes para cada cantera:

Tabla N° 36: Promedio de resistencia a la flexión del concreto con agregado de la cantera Bazán.

Porcentaje de índice de lajas e índice de agujas		Promedio de ensayos a flexión		Variación de la resistencia a los 28 días
		Edad de ensayo		
		28 días		
100%	I _a = 29.73% y I _l =34.40%	4.85 MPa		0.00%
50%	I _a = 14.87% y I _l = 17.20%	4.95 MPa		2.06%
125%	I _a = 37.16% y I _l =43%	4.85 MPa		0.00%

En la tabla N° 36 se observa que la resistencia alcanzada a los 28 días por cada una de las variaciones no presenta variación significativa.

Tabla N° 37: Promedio de resistencia a la flexión del concreto con agregado de la cantera Ortiz.

Promedio de ensayos a flexión		Edad de ensayo 28 días	Variación de la resistencia a los 28 días
Porcentaje de índice de lajas e índice de agujas			
100%	I _a = 25.21% y I _l =46.05%	5.40 MPa	0.00%
50%	I _a = 12.61% y I _l = 23.03%	5.45 MPa	0.93%
125%	I _a = 31.51% y I _l = 57.5%	5.40 MPa	0.00%

En la tabla N° 37 se observa que la resistencia alcanzada a los 28 días por cada una de las variaciones no presenta variación significativa. Pero mantiene un mejor comportamiento respecto a los resultados de la otra cantera.

4.8. Análisis del módulo de elasticidad

Se determinó el módulo de elasticidad a través de los métodos establecidos por el ACI 318 para las diferentes edades y variaciones, los datos promedio se muestran en las siguientes tablas:

Tabla N° 38: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y variaciones de índices de agregado de la cantera Bazán, método ACI 318.

Porcentaje de índice de lajas e índice de agujas	Edad de Ensayo			Variación a los 28 días	
	7 días	14 días	28 días		
100%	I _a = 29.73% y I _l =34.40%	21056.9 MPa	23074.3 MPa	25125.0 MPa	0.00%
50%	I _a = 14.87% y I _l = 17.20%	21291.5 MPa	23265.0 MPa	25347.0 MPa	0.88%
125%	I _a = 37.16% y I _l =43%	21012.8 MPa	23063.6 MPa	25119.0 MPa	-0.02%

En la tabla N° 38 se puede observar la variación del módulo de elasticidad del concreto a diferentes edades y porcentajes de índices de lajas obtenido mediante lo descrito por el reglamento ACI 318, los resultados no presentan variación considerable.

Tabla N° 39: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y variaciones de índices de agregado de la cantera Ortiz, método ACI 318.

Porcentaje de índice de lajas e índice de agujas	Edad de Ensayo			Variación a los 28 días
	7 días	14 días	28 días	
100% $I_a= 29.73\%$ y $I_l=34.40\%$	21350.3 MPa	22977.8 MPa	25293.1 MPa	0.00%
50% $I_a= 14.87\%$ y $I_l= 17.20\%$	21536.1 MPa	23349.0 MPa	25550.6 MPa	1.02%
125% $I_a= 37.16\%$ y $I_l=43\%$	21110.0 MPa	22997.4 MPa	25262.8 MPa	-0.12%

En la tabla N° 39 se puede observar la variación del módulo de elasticidad del concreto a diferentes edades y porcentajes de índices de lajas obtenido mediante lo descrito por el reglamento ACI 318, los resultados no presentan variación considerable pero se siguen obteniendo mejores resultados en comparación con la otra cantera.

4.9. Análisis de la porosidad del concreto

Se determinó la porosidad del concreto a través de los métodos establecidos por el ASTM C 642, a la edad de 28 días para cada variación, los datos promedio se muestran en las siguientes tablas:

Tabla N° 40: Promedio de la porosidad del concreto con agregados de la cantera Bazán.

Porcentaje de índice de lajas e índice de agujas	Edad de ensayo		Variación a los 28 días
	28 días		
100% $I_a= 29.73\%$ y $I_l=34.40\%$	16.84		0.00%
50% $I_a= 14.87\%$ y $I_l= 17.20\%$	16.84		0.00%
125% $I_a= 37.16\%$ y $I_l=43\%$	16.84		0.00%

En la tabla N° 40 se observan los promedios de los ensayos para obtener la porosidad del concreto de acuerdo a la ASTM C 642; no se tiene variación en cuando a dicha propiedad.

Tabla N° 41: Promedio de la porosidad del concreto con agregados de la cantera Ortiz.

Porcentaje de índice de lajas e índice de agujas	Edad de ensayo		Variación a los 28 días
	28 días		
100%	I _a = 29.73% y I _l =34.40%	16.75	0.00%
50%	I _a = 14.87% y I _l = 17.20%	16.75	0.00%
125%	I _a = 37.16% y I _l =43%	16.75	0.00%

En la tabla N° 41 se observan los promedios de los ensayos para obtener la porosidad del concreto de acuerdo a la ASTM C 642; no se tiene variación en cuando a dicha propiedad.

4.10. Contraste de hipótesis

La morfología de los agregados, para esta investigación representada por el índice de lajas e índice de agujas, influye en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, con una mayor influencia en la manejabilidad que en las propiedades mecánicas. Ya que se comprobó el incremento del asentamiento para los agregados de la cantera Bazán, en promedio 1.15 cm y para la cantera Ortiz se incrementó en promedio 2.02cm.

La resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y porosidad del concreto de las mezclas con igual dosificación pero con agregados con diferentes porcentajes de índice de lajas e índice de agujas no presentan diferencias significativas, por lo tanto la forma no representa un factor que influya en las propiedades mecánicas del concreto.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- ✓ Para un concreto de $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (28MPa) se determinó que mientras más bajos los índices de lajas y agujas, se incrementa la consistencia de la mezcla; mientras que la resistencia a compresión, resistencia a flexión y porosidad del concreto no se ven influenciado por la forma de lajas y agujas del agregado grueso.
- ✓ Se determinó el índice de lajas y agujas de cada cantera obteniendo para la cantera Bazán: $I_l = 29.73\%$ y $I_a = 34.40\%$ y la cantera Ortiz: $I_l = 25.21\%$ y $I_a = 46.05\%$.
- ✓ Se determinó el incremento de la consistencia para la reducción a la mitad de estos índices, reflejándose en la prueba de revenimiento, ya que el asentamiento para la mezcla con los agregados de la cantera Bazán se incrementó en promedio 1.15 cm y para la cantera Ortiz se incrementó en promedio 2.02 cm.
- ✓ La resistencia a compresión del concreto de $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (28MPa) a los 28 días con agregado grueso de la cantera Bazán es de 28.6 MPa y para la cantera Ortiz la resistencia a la compresión es de 28.4 MPa. La resistencia a la compresión no es influenciada por la forma del agregado grueso.
- ✓ La resistencia a flexión del concreto de $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (28MPa) a los 28 días con agregado grueso de la cantera Bazán es de 4.85 MPa y para la cantera Ortiz la resistencia a flexión es de 5.40 MPa. La resistencia a flexión no es influenciada por la forma del agregado grueso.
- ✓ Se determinó la porosidad del concreto fabricado con agregado grueso de la cantera Bazán siendo el 16.84% mientras que para la cantera Ortiz es de 16.75%. La porosidad no es influenciada por la forma del agregado grueso.
- ✓ El concreto fabricado con agregado grueso de la cantera Ortiz alcanza la resistencia requerida con 36.06 Kg de cemento menos que el concreto preparado con agregados de la cantera Bazán.

5.2.Recomendaciones

- ✓ Realizar estudios de la influencia de los índices de lascas y agujas en el módulo de elasticidad de un concreto $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$.
- ✓ Realizar estudios de durabilidad de un concreto $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para diferentes valores de los índices de lascas y agujas.
- ✓ Realizar estudios de consistencia de un concreto $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$, con métodos diferentes al método de revenimiento.

Capítulo VI. Referencias Bibliográficas

- Abanto, F. 2009. Tecnología del concreto. 2 ed. Lima, Perú, San Marcos. 244p.
- Anopaju, S. 22 jul 2016. Clasificación de los áridos según tamaño y forma: áridos gruesos y finos(en línea). India, The Constructor - Civil Engineering Home, consultado el 27 oct. 2019. Disponible en <https://theconstructor.org/building/classification-of-aggregates-size-shape/12339/>.
- ACI (American Concrete Institute). 2002. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. ACI 211.1-91. 2 ed. Michigan, Estados Unidos, 38 p.
- ACI (American Concrete Institute). 2014. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. ACI 318S-14. Michigan, Estados Unidos, 29 ago. 592 p.
- Alexander, M. 1996. Aggregates and the deformation properties of concrete. Materials journal (93), p. 569 - 577.
- ASOCEM (Asociación de Productores de Cemento). 2019. Reporte estadístico 2018. Lima, Perú. p 17.
- ASOCRETO (Asociación Colombiana de Productores de Concreto). 2004. Manual de Control de Calidad del Concreto. Bogotá, Colombia. 50 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 1994. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. ASTM C 469. West Conshohocken, Estados Unidos, 15 mar. 8 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 1997. Standard Guide for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. ASTM C 642. West Conshohocken, Estados Unidos, 10 ene. 3 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 1997. Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete. ASTM C 295. West Conshohocken, Estados Unidos, 10 ene. 8 p.
- Barret, P. 1980. The shape of rock particle, a critical review, Sedimentology. Wellington, Nueva Zelanda, 13 p.
- Chan , J. 2003. Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. Revista Ingeniería de construcción (7), p. 39 - 46.

- Contreras, W. 2014. Influencia de la forma y textura del agregado grueso de la cantera Olano en la consistencia y resistencia a la compresión en el Distrito de Jaén - Cajamarca. Tesis Bach. Cajamarca, Perú; UNC. 112 p.
- De Larrard, F. 1999. Concrete Mixture Proportioning: a Scientific Approach, Revista Americana de Ingeniería Civil y Arquitectura, p. 103 – 106.
- Explora geología. 2010. Estudio sobre áridos. Badajoz, España. p. 82 -87.
- Fernández, M. 2005. Hormigón. Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, España, 543 p.
- Ferreira, D; Torres, K. 2014. Caracterización Física de Agregados Petreos para Concretos Caso: Cantera Dromos (Mosquera) y Mina Cemex (Apulo). Tesis Bach. Bogota, Colombia; UCC. 44 p.
- Kosmatka, S; Kerkhoff, B; Panarese, W; Tanesi, J. 2004. Diseño y control de mezclas de concreto, Illinois, Estados Unidos, Portland Cement Association. 459 p.
- INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2015. CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland. NTP 339.035. 4 ed. Lima, Perú, 31 dic. 13 p.
- INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2015. AGREGADOS. AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo. NTP 400.043. 2 ed. Lima, Perú, 09 dic. 08 p.
- INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2016. AGREGADOS. Extracción y preparación de muestras. NTP 400.010.2011. 3 ed. Lima, Perú, 02 ago. 10 p.
- INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2016. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. NTP 400.017. 3 ed. Lima, Perú, 02 ago. 18 p.
- INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2016. CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos. NTP 334.009.2016. 6 ed. Lima, Perú, 31 dic. 23 p.
- INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2016. CEMENTOS. Cementos Portland Adicionados. Requisitos. NTP 334.090.2016. 3 ed. Lima, Perú, 31 dic. 24 p.
- INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2016. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. NTP 339.034:2015. 4 ed. Lima, Perú, 31 dic. 10 p.
- INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2017. CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. NTP 339.079. 3 ed. Lima, Perú, 18 dic. 14 p.

INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2018. AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos. NTP 400.037. 4 ed. Lima, Perú, 08 feb. 18 p.

INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2018. AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. NTP 400.012.2018. 3 ed. Lima, Perú, 18 jul. 18 p.

INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2018. AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). NTP 400.011. 2 ed. Lima, Perú, 18 jul. 16 p.

INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2018. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable del agregado por secado. NTP 339.185. 3 ed. Lima, Perú, 18 jul. 8 p.

INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2018. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso unitario”) y los vacíos en los agregados. NTP 400.017.2011. 3 ed. Lima, Perú, 02 ago. 18 p.

INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2018. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. NTP 400.022. 3 ed. Lima, Perú, 18 jul. 9 p.

INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2018. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 µm (Nº 200) por lavado en agregados. NTP 400.018. 3 ed. Lima, Perú, 12 dic. 13 p.

INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2018. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. NTP 400.021. 3 ed. Lima, Perú, 18 jul. 12 p.

INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2018. CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. NTP 339.046.2008. 2 ed. Lima, Perú, 28 dic. 10 p.

INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2018. CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. NTP 339.183. 2 ed. Lima, Perú, 18 jul. 26 p.

INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2019, CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. NTP 339.088. 3 ed. Lima, Perú, 16 jul. 13 p.

- INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2019. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. NTP 400.019. 3 ed. Lima, Perú, 16 jul. 09 p.
- INACAL(Instituto Nacional de Calidad). 2019. CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados. NTP 339.047.2006. 3 ed. Lima, Perú, 16 jul. 12 p.
- León, M; Ramírez, F. 2010. Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. Revista ingeniería de construcción (25), p. 215-240.
- Mehta, K ; Monterio, P. 1993. Concrete: Structure, Properties and materials, 2ed, Inglewood, Estados Unidos, Pearson College Div. 548 p.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). 2016. Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras. MTC E 221 . 2 ed. Lima, Perú, 03 jun. p 384- 388 .
- Neville, A. 2013. Tecnología del concreto. 2 ed. Florida, México, Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 622 p.
- Pasquel, E. 2011. Tópicos de Tecnología del Concreto. 2 ed. Lima, Perú, Colegio de Ingeniero del Perú Consejo Nacional. 399 p.
- Quiroga, P. 2003. The Effect of the Aggregates Characteristics on the Performance of Portland Cement, Texas, Estados Unidos, University of Texas. 382 p.
- Rivera, G. 2013. Concreto simple. Cauca, Colombia, Universidad del Cauca. 256 p.
- Rivva, E. 2004. Naturaleza y Materiales del Concreto. Lima, Perú, ICG. 396 p.
- Rivva, E. 2007. Diseño de mezclas, 2 ed. Lima, Perú, Williams. 292 p.
- Shilstone, J. 1999. The Aggregate: The Most Important Value-Adding Component in Concrete, Revista Americana de Ingeniería Civil y Arquitectura vol 1 n°5. p. 103 – 106.

Capítulo VII. Anexos

6.1. Anexo I: 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-08-00002
Versión 01

Cemento Portland Tipo I

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

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

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

Resistencia a la Compresión :

Resistencia Compresión a 3 días	MPa (Kg/cm ²)	31.7 (323)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (Kg/cm ²)	38.6 (392)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (Kg/cm ²)	48.6 (474)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vloat :

Fraguado Inicial	min	132	Mínimo 45
Fraguado Final	min	288	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

6.2. Anexo II: Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados.

Tabla N° 42: Análisis granulométrico del agregado fino, cantera Bazán, ensayo 01.

Ensayo n° 01					
Malla		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
Nomenclatura	Abertura(mm)				
3/8"	9.5	0	0	0	100
N° 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.36	120.00	21.62	21.62	78.38
N° 16	1.19	125.00	22.52	44.14	55.86
N° 30	0.595	100.00	18.02	62.16	37.84
N° 50	0.297	110.00	19.82	81.98	18.02
N° 100	0.149	75.00	13.51	95.50	4.50
N°200	0.074	25.00	4.50	100.00	0.00
Total		555	100	M.F.	3.05

Tabla N° 43: Análisis granulométrico del agregado fino, cantera Bazán, ensayo 02.

Ensayo n° 02					
Malla		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
Nomenclatura	Abertura(mm)				
3/8"	9.5	0	0	0	100
N° 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.36	115.00	23.96	23.96	76.04
N° 16	1.19	95.00	19.79	43.75	56.25
N° 30	0.595	85.00	17.71	61.46	38.54
N° 50	0.297	95.00	19.79	81.25	18.75
N° 100	0.149	65.00	13.54	94.79	5.21
N°200	0.074	25.00	5.21	100.00	0.00
Total		480	100	M.F.	3.05

Tabla N° 44: Análisis granulométrico del agregado fino, cantera Bazán., ensayo 03.

Ensayo n° 03					
Malla		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
Nomenclatura	Abertura(mm)				
3/8"	9.5	0	0	0	100
N° 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.36	115.00	22.77	22.77	77.23
N° 16	1.19	110.00	21.78	44.55	55.45
N° 30	0.595	80.00	15.84	60.40	39.60
N° 50	0.297	100.00	19.80	80.20	19.80
N° 100	0.149	80.00	15.84	96.04	3.96
N°200	0.074	20.00	3.96	100.00	0.00
Total		505	100	M.F.	3.06

Tabla N° 45: Peso específico y absorción del agregado fino, cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Volumen de la fiola	g	V	-	500.00	500.00	500.00	-
Peso de la muestra secada al horno	g	W	-	494.20	494.30	494.30	-
Volumen de agua añadida al frasco (g)	g	Va	-	309.80	310.75	309.90	-
Peso específico de masa	g/m³	-	$W/(V-Va)$	2.60	2.61	2.60	2.60
Peso específico de masa SSS.	g/m³	-	$500/(V-Va)$	2.63	2.64	2.63	2.63
Peso específico de aparente	g/m³	-	$W/((V-Va)-(500-W))$	2.68	2.69	2.68	2.68
Absorción (%)	%	-	$(500-W)/W$	1.17	1.15	1.15	1.16

Tabla N° 46: Contenido de humedad agregado fino, cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso de Muestra húmeda	g	A	-	374.90	386.30	391.80	-
Peso de la muestra seca	g	B	-	372.90	384.30	389.70	-
Peso del agua	g	C	(A - B)	2.00	2.00	2.10	-
Contenido de humedad (%)	%	-	$(A/C) \cdot 100$	0.53%	0.52%	0.54%	0.53%

Tabla N° 47: Factor de agua (f).

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso del molde + vidrio	g	A	-	5710	5710	5710	-
Peso del molde + vidrio+agua	g	B	-	15440	15455	15440	-
Peso del agua	g	C	B-A	9730	9745	9730	-
Peso específico del agua	g/cm ³	D	C/E	0.996	0.998	0.996	-
Volumen del molde	cm ³	E	-	9764.93	9764.93	9764.93	-
Factor de agua f	(cm-3)	-	D/(C)	0.0001024	0.0001024	0.0001024	0.000102407

Tabla N° 48: Peso unitario suelto del agregado fino, cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso del recipiente	g	A	-	4190.00	4190.00	4190.00	-
Peso de muestra suelta + recipiente	g	B	-	19835.00	19850.00	19865.00	-
Peso de la muestra suelta	g	C	(A - B)	15645.00	15660.00	15675.00	-
Factor (f)		D	-	102.41	102.41	102.41	-
Peso unitario suelto	g/cm ³	E	$D*(10000/00/C)$	1.60	1.60	1.61	-
Peso unitario suelto	Kg/m³	-	(E*1000)	1602.00	1604.00	1605.00	1603.67

Tabla N° 49: Peso unitario compactado del agregado fino, cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso del recipiente	g	A	-	4190.00	4190.00	4190.00	-
Peso de muestra compactada + recipiente	g	B	-	21060.00	21115.00	21080.00	-
Peso de la muestra compactada	g	C	(A - B)	16870.00	16925.00	16890.00	-
Factor (f)		D	-	102.410	102.410	102.410	-
Peso Unitario Compactado	g/cm ³	E	$D*(10000/00/C)$	1.73	1.73	1.73	-
Peso Unitario Compactado	Kg/m³	-	(E*1000)	1728.00	1733.00	1730.00	1730.33

Tabla N° 50: Material que pasa la malla n° 200 del agregado fino, cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso de Muestra Original	g	A		516.60	482.80	454.20	-
Peso de la muestra Lavada	g	B		505.00	472.00	444.00	-
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	C	(A - B)	11.60	10.80	10.20	-
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%		$(A/C)*100$	2.24%	2.24%	2.25%	2.24%

Tabla N° 51: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Bazán, ensayo 01.

Ensayo n° 01					
Malla		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
Nomenclatura	Abertura(mm)				
1"	25	0.00	0	0	100
3/4"	19	525.00	4.01	4.01	95.99
1/2"	12.5	6495.00	49.60	53.61	46.39
3/8"	9.5	4125.00	31.50	85.11	14.89
N° 4	4.76	1920.00	14.66	99.77	0.23
N° 8	2.38	0.00	0.00	99.77	0.23
N° 16	1.19	0.00	0.00	99.77	0.23
N° 30	0.595	0.00	0.00	99.77	0.23
N° 50	0.297	0.00	0.00	99.77	0.23
N° 100	0.149	0.00	0.00	99.77	0.23
Fondo	-	30.00	0.23	100.00	0.00
TOTAL		13095	100	M.F.	6.88

Tabla N° 52: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Bazán, ensayo 02.

Ensayo n° 02					
Malla		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
Nomenclatura	Abertura(mm)				
1"	25	0.00	0	0	100
3/4"	19	460.00	3.42	3.42	96.58
1/2"	12.5	6480.00	48.12	51.54	48.46
3/8"	9.5	4385.00	32.57	84.11	15.89
N° 4	4.76	2110.00	15.67	99.78	0.22
N° 8	2.38	0.00	0.00	99.78	0.22
N° 16	1.19	0.00	0.00	99.78	0.22
N° 30	0.595	0.00	0.00	99.78	0.22
N° 50	0.297	0.00	0.00	99.78	0.22
N° 100	0.149	0.00	0.00	99.78	0.22
Fondo	-	30.00	0.22	100.00	0.00
TOTAL		13465	100	M.F.	6.86

Tabla N° 53: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Bazán, ensayo 03.

Ensayo n° 03					
Malla		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
Nomenclatura	Abertura(mm)				
1"	25	0.00	0	0	100
3/4"	19	410.00	3.28	3.28	96.72
1/2"	12.5	6525.00	52.16	55.44	44.56
3/8"	9.5	3815.00	30.50	85.93	14.07
N° 4	4.76	1740.00	13.91	99.84	0.16
N° 8	2.38	0.00	0.00	99.84	0.16
N° 16	1.19	0.00	0.00	99.84	0.16
N° 30	0.595	0.00	0.00	99.84	0.16
N° 50	0.297	0.00	0.00	99.84	0.16
N° 100	0.149	0.00	0.00	99.84	0.16
Fondo	-	20.00	0.16	100.00	0.00
TOTAL		12510	100	M.F.	6.88

Tabla N° 54: Peso específico y absorción del agregado grueso, cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso de la muestra Seca al horno	g	A	-	4176.00	4305.00	4240.00	-
Peso de la muestra SSS	g	B	-	4220.00	4350.00	4285.00	-
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	C	-	2596.00	2678.00	2637.00	-
Peso Específico de Masa	g/m³	-	A/(B-C)	2.57	2.57	2.57	2.57
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/m³	-	B/(B-C)	2.60	2.60	2.60	2.60
Peso Específico de Aparente	g/m³	-	A/(A-C)	2.64	2.65	2.65	2.64
Absorción (%)	%	-	(A-B)/B	1.05	1.05	1.06	1.05

Tabla N° 55: Contenido de humedad agregado grueso, cantera Bazán.

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso de Muestra húmeda	g	A	-	615.00	700.00	575.00	-
Peso de la muestra seca	g	B	-	600.00	685.00	560.00	-
Peso del agua	g	C	(A - B)	4.30	5.00	4.10	-
Contenido de humedad (%)	%	-	(A/C)*100	0.70	0.71	0.71	0.71

Tabla N° 56: Peso unitario suelto del agregado grueso, cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso del recipiente	g	A	-	4190.00	4190.00	4190.00	-
Peso de muestra suelta + recipiente	g	B	-	17145.00	17150.00	17055.00	-
Peso de la muestra suelta	g	C	(A - B)	12955.00	12960.00	12865.00	-
Factor (f)		D	-	102.41	102.41	102.41	-
Peso unitario suelto	g/cm ³	E	D*(10000/00/C)	1.327	1.327	1.318	-
Peso unitario suelto	Kg/m³	-	(E*1000)	1327.00	1327.00	1318.00	1324.00

Tabla N° 57: Peso unitario compactado del agregado grueso, cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso del recipiente	g	A	-	4190.00	4190.00	4190.00	-
Peso de muestra compactada + recipiente	g	B	-	18645.00	18655.00	18575.00	-
Peso de la muestra compactada	g	C	(A - B)	14455.00	14465.00	14385.00	-
Factor (f)		D	-	102.41	102.41	102.41	-
Peso Unitario Compactado	g/c m3	E	D*(10000/00/C)	1.480	1.481	1.473	-
Peso Unitario Compactado	Kg/m3	-	(E*1000)	1480.00	1481.00	1473.00	1478.00

Tabla N° 58: Abrasión del agregado grueso, cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Muestra antes de ensayo	g	A	-	5000	5000	5000	
Muestra después de ensayo	g	B	-	3394	3390	3380	
Abrasión	%	-	(A-B)*100/A	32.12	32.2	32.4	32.24

Tabla N° 59: Material que pasa la malla n° 200 del agregado grueso, cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso de Muestra Original	g	A		13095.00	13465.00	12510.00	
Peso de la muestra Lavada	g	B		13002.00	13369.00	12421.00	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	C	(A - B)	93.00	96.00	90.00	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%		(A/C)*100	0.71	0.71	0.71	0.71

Tabla N° 60: Índice de lajas del agregado grueso, cantera Bazán.

Fracción Granulométrica			Ranura de Aplanamiento	Peso Inicial	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de Aplanamiento (Lli)							Lli * Ri	Índice de lajas ($\sum(Li* Ri) / \sum(Ri)$)
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	M 1 (g)	M 2 (g)	M 3 (g)	M 4 (g)	M 5 (g)	Promedio	Lli de fracción		
12.5	(1/2")	49.91	9.5	2000.00	369	367	354	358	353	353	18.01	898.88	29.73
9.5	(3/8")	31.55	6.6	1000.00	523	532	528	531	526	528	52.8	1665.84	
6.3	(1/4")	14.77	4.7	500.00	100	98	100	101	102	100.2	20.04	295.99	

Tabla N°61: Índice de agujas del agregado grueso, cantera Bazán.

Fracción Granulométrica			Separación de barras	Peso Inicial	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de longitudes (Lai)							Lai*Ri	Índice de agujas ($\sum(Lai* Ri) / \sum(Ri)$)
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	M 1 (g)	M 2 (g)	M 3 (g)	M 4 (g)	M 5 (g)	Promedio	Lai de fracción		
12.5	(1/2")	49.91	28.4	2000.00	311	307	313	325	326	316	15.8	789.58	34.40
9.5	(3/8")	31.55	19.8	1000.00	605	602	604	606	610	605	60.5	1910.04	
6.3	(1/4")	14.77	14.2	500.00	206	207	209	207	205	207	41.4	610.89	

Tabla N° 62: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Ortiz, ensayo 01.

Ensayo n° 01					
Malla		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
Nomenclatura	Abertura(mm)				
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	1025.00	7.82	7.82	92.18
1/2"	12.5	10270.00	78.37	86.19	13.81
3/8"	9.5	1735.00	13.24	99.43	0.57
N° 4	4.76	70.00	0.53	99.96	0.04
N° 8	2.38	0.00	0.00	99.96	0.04
N° 16	1.19	0.00	0.00	99.96	0.04
N° 30	0.595	0.00	0.00	99.96	0.04
N° 50	0.297	0.00	0.00	99.96	0.04
N° 100	0.149	0.00	0.00	99.96	0.04
Fondo	-	5.00	0.04	100.00	0.00
TOTAL		13105.00	100	M.F.	7.07

Tabla N° 63: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Ortiz, ensayo 02.

Ensayo n° 02					
Malla		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
Nomenclatura	Abertura(mm)				
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	830	6.34	6.34	93.66
1/2"	12.5	10690	81.60	87.94	12.06
3/8"	9.5	1495	11.41	99.35	0.65
N° 4	4.76	70	0.53	99.89	0.11
N° 8	2.38	0.00	0.00	99.89	0.11
N° 16	1.19	0.00	0.00	99.89	0.11
N° 30	0.595	0.00	0.00	99.89	0.11
N° 50	0.297	0.00	0.00	99.89	0.11
N° 100	0.149	0.00	0.00	99.89	0.11
Fondo	-	15.00	0.11	100.00	0.00
TOTAL		13100.00	100	M.F.	7.05

Tabla N° 64: Análisis granulométrico del agregado grueso, cantera Ortiz, ensayo 03.

Ensayo n° 03					
Malla		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
Nomenclatura	Abertura(mm)				
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	810	6.36	6.36	93.64
1/2"	12.5	10390	81.62	87.98	12.02
3/8"	9.5	1445	11.35	99.33	0.67
N° 4	4.76	70	0.55	99.88	0.12
N° 8	2.38	0.00	0.00	99.88	0.12
N° 16	1.19	0.00	0.00	99.88	0.12
N° 30	0.595	0.00	0.00	99.88	0.12
N° 50	0.297	0.00	0.00	99.88	0.12
N° 100	0.149	0.00	0.00	99.88	0.12
Fondo	-	15.00	0.12	100.00	0.00
TOTAL		12730.00	100	M.F.	7.05

Tabla N°65: Peso específico y absorción del agregado grueso, cantera Ortiz.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso de la muestra Seca al horno	g	A	-	3115	3293	3203	-
Peso de la muestra SSS	g	B	-	3150.00	3330.00	3240.00	-
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	C	-	1946.00	2058.00	2002.00	-
Peso Específico de Masa	g/m³	-	A/(B-C)	2.587	2.589	2.587	2.588
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/m³	-	B/(B-C)	2.616	2.618	2.617	2.617
Peso Específico de Aparente	g/m³	-	A/(A-C)	2.665	2.666	2.667	2.666
Absorción (%)	%	-	(A-B)/B	1.12	1.12	1.16	1.13

Tabla N°66: Contenido de humedad agregado grueso, cantera Ortiz.

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso de Muestra húmeda	g	A	-	1054.00	1061.00	1080.00	-
Peso de la muestra seca	g	B	-	1051.00	1059.00	1079.00	-
Peso del agua	g	C	(A - B)	2.50	2.50	2.70	-
Contenido de humedad (%)	%	-	(A/C)*100	0.24	0.24	0.25	0.24

Tabla N° 67: Peso unitario suelto del agregado grueso, cantera Ortiz.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso del recipiente	g	A	-	4190.00	4190.00	4190.00	-
Peso de muestra suelta + recipiente	g	B	-	17325.00	17340.00	17360.00	-
Peso de la muestra suelta	g	C	(A - B)	13135.00	13150.00	13170.00	-
Factor (f)		D	-	102.41	102.41	102.41	-
Peso unitario suelto	g/cm ³	E	D*(10000/00/C)	1.35	1.35	1.35	-
Peso unitario suelto	Kg/m³	-	(E*1000)	1345.00	1347.00	1349.00	1347.00

Tabla N° 68: Peso unitario compactado del agregado grueso, cantera Ortiz.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso del recipiente	g	A	-	4190.00	4190.00	4190.00	-
Peso de muestra compactada + recipiente	g	B	-	19010.00	19095.00	19155.00	-
Peso de la muestra compactada	g	C	(A - B)	14820.00	14905.00	14965.00	-
Factor (f)		D	-	102.41	102.41	102.41	-
Peso Unitario Compactado	g/c m3	E	D*(10000/00/C)	1.518	1.526	1.533	-
Peso Unitario Compactado	Kg/m3	-	(E*1000)	1518.00	1526.00	1533.00	1525.67

Tabla N° 69: Abrasión del agregado grueso, cantera Ortiz.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Muestra antes de ensayo	g	A	-	5000	5000	5000	
Muestra después de ensayo	g	B	-	3567	3596	3584	
Abrasión	%	-	(A-B)*100/A	28.66	28.08	28.32	28.35

Tabla N° 70: Material que pasa la malla n° 200 del agregado grueso, cantera Ortiz.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Promedio
Peso de Muestra Original	g	A		13105.00	13100.00	12730.00	
Peso de la muestra Lavada	g	B		13026.00	13020.00	12652.00	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	C	(A - B)	79.00	80.00	78.00	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%		(A/C)*100	0.60	0.61	0.61	0.61

Tabla N° 71: Índice de lajas del agregado grueso, cantera Ortiz.

Fracción Granulométrica			Ranura de Aplanamiento	Peso Inicial	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de Aplanamiento (Lli)							Lli * Ri	Índice de lajas ($\sum(Lli * Ri) / \sum(Ri)$)
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	M 1 (g)	M 2 (g)	M 3 (g)	M 4 (g)	M 5 (g)	Promedio	Lli de fracción		
12.5	(1/2")	80.52	9.5	2000.00	428	421	435	423	422	426	21.29	1714.27	25.21
9.5	(3/8")	12.01	6.6	1000.00	511	515	517	513	518	515	51.48	618.27	

Tabla N° 72: Índice de agujas del agregado grueso, cantera Ortiz.

Fracción Granulométrica			Separación de barras	Peso Inicial	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de longitudes (Lai)							Lai * Ri	Índice de agujas ($\sum(Lai * Ri) / \sum(Ri)$)
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	M 1 (g)	M 2 (g)	M 3 (g)	M 4 (g)	M 5 (g)	Promedio	Lai de fracción		
12.5	(1/2")	80.52	28.4	2000.00	854	859	856	859	861	858	42.89	3453.50	46.05
9.5	(3/8")	12.01	19.8	1000.00	675	673	669	675	668	672	67.21	807.17	

6.3.Anexo III: Tablas para cambiar índice de lajas.

Tabla N° 73: Variación 01, $I_l = 14.87\%$, cantera Bazán.

Fracción Granulométrica			Ranura de Aplanamiento	Peso Inicial	Peso de partículas cúbicas a incorporar	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de Aplanamiento (Lli)	Lli de fracción	Lli * Ri	Índice de lajas ($\sum(Lli * Ri) / \sum(Ri)$)
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	g	g	Lli de fracción		$\sum(Ri)$
12.5	(1/2")	49.91	9.5	17741	8870	1598	9.01	449.69	
9.5	(3/8")	31.55	6.6	11215	5607	2961	26.4	832.92	14.87
6.3	(1/4")	14.77	4.7	5250	2625	526	10.02	148	

Tabla N° 74: Variación 01, $I_a = 17.20\%$, cantera Bazán.

Fracción Granulométrica			Ranura de Aplanamiento	Peso Inicial	Peso de partículas cúbicas a incorporar	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de longitudes (Lai)	Lai de fracción	Lli * Ri	Índice de agujas ($\sum(Lai * Ri) / \sum(Ri)$)
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	g	g	Lai de fracción		$\sum(Ri)$
12.5	(1/2")	49.91	28.4	17741	8870	1403	7.91	394.79	
9.5	(3/8")	31.55	19.8	11215	5607	3395	30.3	955.02	17.20
6.3	(1/4")	14.77	14.2	5250	2625	1090	20.7	305.44	

Tabla N° 75: Variación 02, I_l = 37.16%, cantera Bazán.

Fracción Granulométrica			Ranura de Aplanamiento	Peso Inicial	Peso de partículas lajosas a incorporar	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de Aplanamiento (Lli)		Lli * Ri	Índice de lajas ($\sum(Lli * Ri) / \sum(Ri)$)
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	g	g	Lli de fracción		
12.5	(1/2")	49.91	9.5	17741	1875	4733	26.68	1331.42	
9.5	(3/8")	31.55	6.6	11215	1185	6481	57.78	1823.24	37.16
6.3	(1/4")	14.77	4.7	5250	555	1496	28.49	420.82	

Tabla N° 76: Variación 02, I_a = 43%, cantera Bazán.

Fracción Granulométrica			Ranura de Aplanamiento	Peso Inicial	Peso de partículas en forma de agujas a incorporar	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de Aplanamiento (Lai)		Lli * Ri	Índice de agujas ($\sum(Lai * Ri) / \sum(Ri)$)
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	g	g	Lai de fracción		
12.5	(1/2")	49.91	28.4	16007	1733	4199	26.23	1309.18	
9.5	(3/8")	31.55	19.8	10119	1210	6737	66.58	2100.65	43.00
6.3	(1/4")	14.77	14.2	4737	566	2334	49.28	727.80	

Tabla N° 77: Variación 01, I₁ = 12.61%, cantera Ortiz.

Fracción Granulométrica			Ranura de Aplanamiento	Peso Inicial	Peso de partículas cúbicas a incorporar	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de Aplanamiento (Lli)		Lli * Ri	Índice de lajas $(\sum(Lli * Ri) / \sum(Ri))$
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	g	g	Lli de fracción		
12.5	(1/2")	80.52	9.5	16102	8051	3428	10.65	857.54	12.61
9.5	(3/8")	12.01	6.6	2402	1201	1240	25.74	309.14	

Tabla N° 78: Variación 01, I_a = 23.03%, cantera Ortiz.

Fracción Granulométrica			Ranura de Aplanamiento	Peso Inicial	Peso de partículas cúbicas a incorporar	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de longitudes (Lai)		Lli * Ri	Índice de agujas $(\sum(Lai * Ri) / \sum(Ri))$
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	g	g	Lai de fracción		
12.5	(1/2")	80.52	28.4	16102.39	16102.39	6906.31	21.45	1726.75	23.03
9.5	(3/8")	12.01	19.8	2401.76	2401.76	1614.17	33.604	403.58	

Tabla N° 79: Variación 02, $I_1 = 31.51 \%$, cantera Ortiz.

Fracción Granulométrica			Ranura de Aplanamiento	Peso Inicial	Peso de partículas lajosas a incorporar	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de Aplanamiento (Lli)		Lli * Ri	Índice de lajas $(\sum(Lli * Ri) / \sum(Ri))$
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	g	g	Lli de fracción		
12.5	(1/2")	80.52	9.5	29490	2715	8993	27.93	2248.54	31.51
9.5	(3/8")	12.01	6.6	4399	405	2669	55.57	667.40	

Tabla N° 80: Variación 02, $I_a = 57.5\%$, cantera Ortiz.

Fracción Granulométrica			Ranura de Aplanamiento	Peso Inicial	Peso de partículas en forma de aguja a incorporar	Peso Retenido en Abertura de Calibrador de Aplanamiento (Lli)		Lli * Ri	Índice de lajas $(\sum(Lli * Ri) / \sum(Ri))$
mm	pulg	% (Ri)	mm	g	g	g	Lli de fracción		
12.5	(1/2")	80.52	28.4	27561	4644	15104	54.80	4412.74	57.50
9.5	(3/8")	12.01	19.8	4111	693	3108	75.61	908.13	

6.4. Anexo IV: Tablas para el Diseño de Mezclas.

Tabla N° 81: Resistencia a la compresión promedio.

$f'c$ (kg / cm ²)	$f'cr$ (kg / cm ²)
Menor de 214.20	$f'c + 71.4$
214.20 a 357.00	$f'c + 86.7$
Mayor de 357.00	$1.1f'c + 51$

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E-060

Tabla N° 82: Requerimientos de agua en L/m³ y contenido de aire del concreto para los tamaños nominales máximos del agregado grueso y consistencia indicada

Asentamiento	Agua en kg/m ³ de concreto para los tamaños nominal máximo del agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Airea atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	--
Airea total	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: Rivva (2007)

Tabla N° 83: Relación agua/cemento del concreto por resistencia.

$f'cr$ a los 28 días	Relación agua / cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
450	0.38	----

Fuente: Rivva (2007)

Tabla N° 84: Estimación de volumen del agregado grueso por cada metro cúbico de hormigón.

Tamaño máximo Nominal del agregado	Volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen del concreto, para diferentes módulos de finura del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8 “	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 “	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 “	0.66	0.64	0.62	0.60
1 “	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2”	0.76	0.74	0.72	0.70
2 “	0.78	0.76	0.74	0.72
3”	0.81	0.79	0.77	0.75
6 “	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Rivva (2007)

Tabla N° 85: Selección del asentamiento.

Tipo de construcción	asentamiento	
	máximo	mínimo
zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
cimentaciones múltiples	3"	1"
vigas y muros armados	4"	1"
columnas de edificios	4"	1"
losas y pavimentos	3"	1"
concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Fuente: Rivva (2007)

6.5. Anexo V: Resultados de los ensayos al concreto endurecido.

Tabla N° 86: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, sin variación de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
Nomenclatura	C 01	C 02	C 03	C 04	C 05	C 06	-
Edad de ensayo (días)	7	7	7	7	7	7	-
Diámetro promedio (mm)	153	153	153	152	152	153	-
Alto promedio (mm)	304	303	303	303	303	303	-
Área (mm ²)	18385.39	18385.39	18385.39	18145.84	18145.84	18385.39	18305.54
Peso (N)	127.59	127.42	127.57	125.82	125.58	127.64	126.94
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2282.81	2287.30	2289.99	2288.39	2284.02	2291.24	2287.29
Carga máxima de rotura (KN)	370.00	375.00	370.00	380.00	370.00	380.00	374.17
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	19.73	20.00	19.73	20.53	19.99	20.26	20.04
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	20832.35	21034.44	20930.65	21328.81	20986.11	21229.07	21056.90
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 03	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 87: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, sin variación de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
Nomenclatura	C 07	C 08	C 09	C 10	C 11	C 12	-
Edad de ensayo (días)	14	14	14	14	14	14	-
Diámetro promedio (mm)	153	153	153	153	153	153	-
Alto promedio (mm)	302	303	303	303	303	303	-
Área (mm ²)	18385.39	18385.39	18385.39	18385.39	18385.39	18385.39	18385.39
Peso (N)	126.98	127.05	127.25	127.58	127.65	126.90	127.24
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2286.94	2280.65	2284.24	2290.17	2291.42	2277.96	2285.23
Carga máxima de rotura (KN)	445.00	450.00	450.00	450.00	455.00	460.00	451.67
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	23.73	24.00	24.26	24.00	24.26	24.53	24.13
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	22908.44	22941.78	23123.38	23085.49	23232.50	23154.23	23074.30
Tipo de falla	TIPO 03	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 02	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 88: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, sin variación de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
Nomenclatura	C 13	C 14	C 15	C 16	C 17	C 18	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Diámetro promedio (mm)	152	152	152	153	152	152	-
Alto promedio (mm)	305	304	304	302	305	305	-
Área (mm ²)	18145.84	18145.84	18145.84	18385.39	18145.84	18145.84	18185.76
Peso (N)	126.53	125.93	126.15	126.75	126.37	126.57	126.38
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2286.21	2282.86	2286.84	2282.80	2283.32	2286.94	2284.83
Carga máxima de rotura (KN)	525.00	530.00	525.00	530.00	535.00	540.00	530.83
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	28.4	28.6	28.4	28.3	28.9	29.2	28.6
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	25049.70	25097.80	25044.62	24932.87	25223.62	25401.39	25125.00
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 02	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 89: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	C 01	C 02	C 03	C 04	C 05	C 06	-
Edad de ensayo (días)	7	7	7	7	7	7	-
Diámetro promedio (mm)	153	153	153	154	153	153	-
Alto promedio (mm)	305	304	304	303	303	304	-
Área (mm ²)	18385.39	18385.39	18385.39	18626.50	18385.39	18385.39	18425.57
Peso (N)	128.19	128.01	127.92	128.67	127.61	127.97	128.06
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2286.03	2290.33	2288.72	2279.83	2290.71	2289.61	2287.54
Carga máxima de rotura (KN)	390.00	375.00	395.00	390.00	370.00	390.00	385
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	20.80	20.00	21.06	20.53	19.73	20.80	20.49
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	21433.182	21076.281	21608.207	21207.527	20940.491	21483.600	21291.55
Tipo de falla	TIPO 02	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 90: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	C 07	C 08	C 09	C 10	C 11	C 12	-
Edad de ensayo (días)	14	14	14	14	14	14	-
Diámetro promedio (mm)	153	152	152	152	151	152	-
Alto promedio (mm)	302	302	303	303	304	303	-
Área (mm ²)	18385.39	18145.84	18145.84	18145.84	17907.86	18145.84	18146.10
Peso (N)	126.64	125.56	126.27	125.69	125.08	125.08	125.72
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2280.82	2291.22	2296.57	2286.03	2297.58	2274.93	2287.86
Carga máxima de rotura (KN)	460.00	460.00	445.00	450.00	440.00	460.00	452.50
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	24.53	24.85	24.04	24.31	24.09	24.85	24.45
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	23197.85	23510.38	23204.95	23174.36	23242.27	23260.07	23264.98
Tipo de falla	TIPO 02	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 04	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 91: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	C 13	C 14	C 15	C 16	C 17	C 18	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Diámetro promedio (mm)	153	153	152	152	153	152	-
Alto promedio (mm)	302	302	305	305	303	303	-
Área (mm ²)	18385.39	18385.39	18145.84	18145.84	18385.39	18145.84	18265.61
Peso (N)	126.83	127.27	126.96	126.68	127.34	125.35	126.74
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2284.24	2292.17	2293.98	2288.92	2285.86	2279.84	2287.50
Carga máxima de rotura (KN)	540.00	540.00	545.00	540.00	550.00	530.00	540.83
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	28.8	28.8	29.4	29.2	29.3	28.6	29.0
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	25190.82	25322.02	25636.76	25434.51	25449.99	25048.10	25347.03
Tipo de falla	TIPO 02	TIPO 04	TIPO 02	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 02	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 92: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, variación 02 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
Nomenclatura	C 01	C 02	C 03	C 04	C 05	C 06	-
Edad de ensayo (días)	7	7	7	7	7	7	-
Diámetro promedio (mm)	153	153	153	153	153	152	-
Alto promedio (mm)	305	304	303	303	302	302	-
Área (mm ²)	18385.39	18385.39	18385.39	18385.39	18385.39	18145.84	18345.46
Peso (N)	128.03	127.43	127.54	127.35	126.96	125.47	127.13
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2283.17	2279.95	2289.45	2286.04	2286.58	2289.58	2285.80
Carga máxima de rotura (KN)	380.00	375.00	370.00	370.00	380.00	370.00	374.17
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	20.26	20.00	19.73	19.73	20.26	19.99	20.00
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	21117.02	20933.20	20923.26	20876.53	21164.34	21062.72	21012.84
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 93: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, variación 02 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
Nomenclatura	C 07	C 08	C 09	C 10	C 11	C 12	-
Edad de ensayo (días)	14	14	14	14	14	14	-
Diámetro promedio (mm)	152	151	151	151	152	152	-
Alto promedio (mm)	303	303	304	303	304	303	-
Área (mm ²)	18145.84	17907.86	17907.86	17907.86	18145.84	18145.84	18026.85
Peso (N)	126.13	124.38	124.48	123.92	126.27	124.51	124.95
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2294.03	2292.26	2286.56	2283.78	2289.02	2264.56	2285.04
Carga máxima de rotura (KN)	440.00	450.00	440.00	450.00	440.00	440.00	443.33
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	23.77	24.64	24.09	24.64	23.77	23.77	24.11
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	23035.85	23423.35	23075.24	23293.53	22960.45	22593.47	23063.65
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 02	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 94: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, variación 02 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	C 13	C 14	C 15	C 16	C 17	C 18	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Diámetro promedio (mm)	152	153	153	152	152	153	-
Alto promedio (mm)	305	305	304	302	304	303	-
Área (mm ²)	18145.84	18385.39	18385.39	18145.84	18145.84	18385.39	18265.61
Peso (N)	126.06	128.04	127.82	125.29	126.95	127.27	126.91
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2277.72	2283.35	2286.93	2286.30	2301.35	2284.60	2286.71
Carga máxima de rotura (KN)	535.00	525.00	530.00	530.00	540.00	530.00	531.67
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	28.9	28.0	28.3	28.6	29.2	28.3	28.5
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	25130.86	24823.97	25000.50	25154.54	25641.88	24962.38	25119.02
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 95: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, sin variación de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
	C 01	C 02	C 03	C 04	C 05	C 06	
Nomenclatura	C 01	C 02	C 03	C 04	C 05	C 06	-
Edad de ensayo (días)	07	07	07	07	07	07	-
Diámetro promedio (mm)	153	152	153	153	152	152	-
Alto promedio (mm)	304	304	304	304	303	304	-
Área (mm ²)	18385.39	18145.84	18385.39	18385.39	18145.84	18145.84	18265.61
Peso (N)	127.99	126.51	127.87	304.00	303.00	126.55	185.99
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2289.97	2293.37	2287.82	2295.34	2288.94	2294.10	2291.59
Carga máxima de rotura (KN)	380.00	385.00	380.00	375.00	380.00	390.00	381.67
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	20.3	20.8	20.3	20.0	20.5	21.1	20.5
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	21211.35	21538.80	21181.53	21145.47	21336.44	21688.49	21350.35
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 03	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 96: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, sin variación de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
	C 07	C 08	C 09	C 10	C 11	C 12	
Nomenclatura	C 07	C 08	C 09	C 10	C 11	C 12	-
Edad de ensayo (días)	14	14	14	14	14	14	-
Diámetro promedio (mm)	152	152	153	153	153	153	-
Alto promedio (mm)	303	303	304	303	305	302	-
Área (mm ²)	18145.84	18145.84	18385.39	18385.39	18385.39	18385.39	18305.54
Peso (N)	125.84	125.73	127.93	127.85	128.52	127.45	127.22
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2288.75	2286.75	2288.90	2295.01	2291.91	2295.41	2291.12
Carga máxima de rotura (KN)	435.00	450.00	445.00	440.00	450.00	440.00	443.33
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	23.5	24.3	23.7	23.5	24.0	23.5	23.7
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	22825.64	23185.42	22937.77	22900.05	23111.89	22905.96	22977.79
Tipo de falla	TIPO 03	TIPO 02	TIPO 05	TIPO 03	TIPO 06	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 97: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, sin variación de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	C 13	C 14	C 15	C 16	C 17	C 18	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Diámetro promedio (mm)	153	153	154	153	153	153	-
Alto promedio (mm)	303	303	303	304	303	303	-
Área (mm ²)	18385.39	18385.39	18626.50	18385.39	18385.39	18385.39	18425.57
Peso (N)	128.26	127.96	128.85	127.85	127.92	128.17	128.17
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2302.37	2296.99	2283.02	2287.46	2296.27	2300.76	2294.48
Carga máxima de rotura (KN)	545.00	530.00	540.00	540.00	550.00	525.00	538.33
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	29.1	28.3	28.4	28.8	29.3	28.0	28.6
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	25609.08	25165.65	25007.21	25244.13	25624.06	25108.35	25293.08
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 02	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 98: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
Nomenclatura	C 01	C 02	C 03	C 04	C 05	C 06	-
Edad de ensayo (días)	07	07	07	07	07	07	-
Diámetro promedio (mm)	153	152	153	153	152	153	-
Alto promedio (mm)	303	304	303	302	303	303	-
Área (mm ²)	18385.39	18145.84	18385.39	18385.39	18145.84	18385.39	18305.54
Peso (N)	127.66	126.54	127.32	127.91	126.88	127.41	127.29
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2291.60	2293.91	2285.50	2303.69	2307.67	2287.12	2294.92
Carga máxima de rotura (KN)	400.00	390.00	380.00	385.00	390.00	380.00	387.5
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	21.3	21.1	20.3	20.5	21.1	20.3	20.8
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	21785.68	21685.92	21149.28	21542.67	21881.26	21171.71	21536.09
Tipo de falla	TIPO 03	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 99: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
Nomenclatura	C 07	C 08	C 09	C 10	C 11	C 12	-
Edad de ensayo (días)	14	14	14	14	14	14	-
Diámetro promedio (mm)	152	153	153	152	152	152	-
Alto promedio (mm)	303	302	302	305	304	305	-
Área (mm ²)	18145.84	18385.39	18385.39	18145.84	18145.84	18145.84	18225.69
Peso (N)	125.86	127.16	126.81	127.08	126.95	127.40	126.88
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2289.12	2290.19	2283.88	2296.15	2301.35	2301.93	2293.77
Carga máxima de rotura (KN)	460.00	455.00	450.00	450.00	460.00	450.00	454.17
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	24.9	24.3	24.0	24.3	24.9	24.3	24.4
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	23477.98	23213.68	22990.53	23328.49	23666.38	23416.66	23348.95
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 03	TIPO 02	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 100: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, variación 01 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Especímen						Promedio
Nomenclatura	C 13	C 14	C 15	C 16	C 17	C 18	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Diámetro promedio (mm)	153	153	153	153	152	152	-
Alto promedio (mm)	304	303	304	304	303	303	-
Área (mm ²)	18385.39	18385.39	18385.39	18385.39	18145.84	18145.84	18305.54
Peso (N)	127.98	128.29	127.95	128.65	126.27	126.45	127.60
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2289.79	2302.91	2289.25	2301.78	2296.57	2299.85	2296.69
Carga máxima de rotura (KN)	540.00	545.00	550.00	540.00	550.00	540.00	544.1666667
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	28.8	29.1	29.3	28.8	29.7	29.2	29.1
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	25282.65	25618.07	25506.70	25481.45	25797.76	25616.83	25550.58
Tipo de falla	TIPO 02	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 101: Especímenes ensayados a compresión, siete días de edad, variación 02 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
Nomenclatura	C 01	C 02	C 03	C 04	C 05	C 06	-
Edad de ensayo (días)	07	07	07	07	07	07	-
Diámetro promedio (mm)	153	152	153	153	153	153	-
Alto promedio (mm)	303	303	303	304	303	304	-
Área (mm ²)	18385.39	18145.84	18385.39	18385.39	18385.39	18385.39	18345.46
Peso (N)	127.95	127.46	126.92	127.92	127.06	127.66	127.50
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2296.81	2318.22	2278.32	2288.72	2280.83	2284.07	2291.16
Carga máxima de rotura (KN)	360.00	375.00	390.00	380.00	375.00	380.00	376.67
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	19.2	20.3	20.3	20.3	20.0	20.3	20.0
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	20738.18	21603.63	21049.70	21193.95	20945.36	21129.37	21110.03
Tipo de falla	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 04	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 102: Especímenes ensayados a compresión, catorce días de edad, variación 02 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
Nomenclatura	C 07	C 08	C 09	C 10	C 11	C 12	-
Edad de ensayo (días)	14	14	14	14	14	14	-
Diámetro promedio (mm)	153	151	153	152	152	153	-
Alto promedio (mm)	304	305	303	304	303	303	-
Área (mm ²)	18385.39	17907.86	18385.39	18145.84	18145.84	18385.39	18225.95
Peso (N)	128.01	125.45	127.67	126.35	126.51	127.08	126.85
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2290.33	2296.82	2291.78	2290.47	2300.94	2281.19	2291.92
Carga máxima de rotura (KN)	450.00	440.00	435.00	440.00	440.00	445.00	441.67
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	24.0	24.1	23.2	23.8	23.8	23.7	23.8
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	23087.91	23230.76	22721.49	22982.28	23140.03	22822.06	22997.42
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 06	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 06	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 103: Especímenes ensayados a compresión, veintiocho días de edad, variación 02 de índices de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Especimen						Promedio
	C 13	C 14	C 15	C 16	C 17	C 18	
Nomenclatura	C 13	C 14	C 15	C 16	C 17	C 18	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Diámetro promedio (mm)	153	152	153	152	152	152	-
Alto promedio (mm)	304	302	304	304	303.00	304	-
Área (mm ²)	18385.39	18145.84	18385.39	18145.84	18145.84	18145.84	18225.69
Peso (N)	128.42	125.23	127.49	126.29	126.68	127.17	126.88
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m ³)	2297.66	2285.20	2281.02	2289.38	2304.03	2305.33	2293.77
Carga máxima de rotura (KN)	540.00	525.00	530.00	530.00	535.00	530.00	531.67
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	28.8	28.4	28.3	28.6	28.9	28.6	28.6
Módulo de elasticidad (ACI-318S)	25413.14	25017.62	24903.74	25205.50	25567.56	25469.41	25262.83
Tipo de falla	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	TIPO 05	-
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	-

Tabla N° 104: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, sin variación de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F 01	F 02	F 03	F 04	F 05	F 06	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Ancho promedio (mm)	150	151	152	150	152	152	-
Alto promedio (mm)	153	154	153	152	154	154	-
Largo promedio (mm)	498	504	499	500	495	499	-
Peso (N)	268.00	273.00	268.00	273.00	268.00	273.00	270.50
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m3)	2344.89	2329.35	2309.40	2394.74	2312.94	2337.21	2338.09
Longitud del tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	-
Carga máxima de rotura (N)	25500.00	26100.00	25500.00	26100.00	24800.00	25000.00	25500.00
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	4.90	4.90	4.85	5.10	4.65	4.70	4.85
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	-

Tabla N° 105: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, variación 01 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F 01	F 02	F 03	F 04	F 05	F 06	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Ancho promedio (mm)	148	148	150	154	158	152	-
Alto promedio (mm)	154	154	153	155	155	152	-
Largo promedio (mm)	500	510	495	496	500	510	-
Peso (N)	274.00	277.00	265.00	274.00	289.00	278.00	276.17
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m3)	2404.35	2383.02	2332.70	2314.28	2360.15	2359.32	2358.97
Longitud del tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	-
Carga máxima de rotura (N)	25700.00	28000.00	26000.00	25800.00	26300.00	26400.00	26366.67
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	4.95	5.40	5.00	4.70	4.70	5.05	4.95
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	-

Tabla N° 106: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, variación 02 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F 01	F 02	F 03	F 04	F 05	F 06	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Ancho promedio (mm)	153	149	152	153	152	153	-
Alto promedio (mm)	154	154	152	154	153	154	-
Largo promedio (mm)	500	497	500	500	503	500	-
Peso (N)	271.00	263.00	271.00	278.00	269.00	272.00	270.67
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m3)	2300.31	2306.18	2345.91	2359.73	2299.58	2308.80	2320.09
Longitud del tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	-
Carga máxima de rotura (N)	25380.00	25800.00	25350.00	25900.00	25600.00	25700.00	25621.67
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	4.70	4.95	4.85	4.80	4.85	4.80	4.85
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	-

Tabla N° 107: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, sin variación de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F 01	F 02	F 03	F 04	F 05	F 06	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Ancho promedio (mm)	152	152	153	152	153	154	-
Alto promedio (mm)	155	150	153	153	154	154	-
Largo promedio (mm)	500	501	499	500	500	500	-
Peso (N)	274.00	269.00	268.00	269.00	279.00	275.00	272.33
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m3)	2325.98	2354.94	2294.31	2313.38	2368.22	2319.11	2329.32
Longitud del tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	-
Carga máxima de rotura (N)	29400.00	26800.00	27900.00	28500.00	29000.00	29400.00	28500.00
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	5.45	5.30	5.25	5.40	5.40	5.45	5.40
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	-

Tabla N° 108: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, variación 01 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F 01	F 02	F 03	F 04	F 05	F 06	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Ancho promedio (mm)	153	152	152	153	156	150	-
Alto promedio (mm)	154	153	153	154	155	153	-
Largo promedio (mm)	504	503	499	500	505	501	-
Peso (N)	280.00	271.00	269.00	277.00	289.00	261.00	274.50
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m3)	2357.85	2316.68	2318.02	2351.24	2366.74	2269.97	2330.08
Longitud del tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	-
Carga máxima de rotura (N)	29200.00	28800.00	29100.00	28900.00	28850.00	29100.00	28991.67
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	5.45	5.45	5.50	5.40	5.20	5.60	5.45
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	-

Tabla N° 109: Especímenes ensayados a flexión, veintiocho días de edad, variación 02 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Dato del espécimen	Espécimen						Promedio
Nomenclatura	F 01	F 02	F 03	F 04	F 05	F 06	-
Edad de ensayo (días)	28	28	28	28	28	28	-
Ancho promedio (mm)	153	153	152	154	152	153	-
Alto promedio (mm)	153	153	153	155	153	155	-
Largo promedio (mm)	500	499	499	497	505	500	-
Peso (N)	267.00	278.00	269.00	278.00	273.00	276.00	273.50
Densidad de masa en estado endurecido (kg/m3)	2281.17	2379.91	2318.02	2343.34	2324.54	2327.64	2329.10
Longitud del tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	-
Carga máxima de rotura (N)	28700.00	29000.00	28820.00	28800.00	28650.00	29600.00	28928.33
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	5.40	5.45	5.45	5.25	5.45	5.45	5.40
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	-

Tabla N° 110: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, sin variación de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Ensayo n° 04	Ensayo n° 05	Ensayo n° 06	Promedio
Masa seca al horno	g	A	-	2206	2225	2233	2236	2244	2218	
Masa SSS	g	B	-	2400	2418	2427	2429	2438	2412	
Masa SSS después de la ebullición	g	C	-	2403	2423	2432	2432	2441	2417	
Masa sumergida después de la ebullición	g	D	-	1232	1244	1258	1253	1264	1252	
Absorción después de inmersión	%		$[(B-A)/A] * 100$	8.79	8.67	8.69	8.63	8.65	8.75	8.70
Absorción, después de inmersión y ebullición	%		$[(C-A)/A] * 100$	8.93	8.90	8.91	8.77	8.78	8.97	8.88
Densidad global (bruta), seca	g/cm ³		$[A/(C-D)] * \rho$	1.88	1.89	1.90	1.90	1.91	1.90	1.90
Densidad global bruta después de inmersión y ebullición	g/cm ³		$[C/(C-D)] * \rho$	2.05	2.06	2.07	2.06	2.07	2.07	2.07
Densidad aparente	g/cm ³		$[A(A-D)] * \rho$	2.26	2.27	2.29	2.27	2.29	2.30	2.28
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	%		$[(C-A)/(C-D)] * 100$	16.82	16.79	16.95	16.62	16.74	17.08	16.84

Tabla N° 111: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, variación 01 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Ensayo n° 04	Ensayo n° 05	Ensayo n° 06	Promedio
Masa seca al horno	g	A	-	2331	2223	2348	2336	2230	2227	
Masa SSS	g	B	-	2533	2416	2552	2539	2424	2421	
Masa SSS después de la ebullición	g	C	-	2538	2420	2558	2544	2429	2427	
Masa sumergida después de la ebullición	g	D	-	1308	1247	1314	1308	1246	1244	
Absorción después de inmersión	%		$[(B-A)/A] * 100$	8.67	8.68	8.69	8.69	8.70	8.71	8.69
Absorción, después de inmersión y ebullición	%		$[(C-A)/A] * 100$	8.88	8.86	8.94	8.90	8.92	8.98	8.92
Densidad global (bruta), seca	g/cm ³		$[A/(C-D)] * \rho$	1.90	1.90	1.89	1.89	1.89	1.88	1.89
Densidad global bruta después de inmersión y ebullición	g/cm ³		$[C/(C-D)] * \rho$	2.06	2.06	2.06	2.06	2.05	2.05	2.06
Densidad aparente	g/cm ³		$[A(A-D)] * \rho$	2.28	2.28	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	%		$[(C-A)/(C-D)] * 100$	16.83	16.79	16.88	16.83	16.82	16.91	16.84

Tabla N° 112: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, variación 02 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Bazán.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Ensayo n° 04	Ensayo n° 05	Ensayo n° 06	Promedio
Masa seca al horno	g	A	-	2266	2348	2356	2336	2298	2337	
Masa SSS	g	B	-	2464	2552	2561	2539	2500	2543	
Masa SSS después de la ebullición	g	C	-	2468	2553	2565	2543	2504	2548	
Masa sumergida después de la ebullición	g	D	-	1271	1326	1324	1313	1284	1301	
Absorción después de inmersión	%		$[(B-A)/A] * 100$	8.74	8.69	8.70	8.69	8.79	8.81	8.74
Absorción, después de inmersión y ebullición	%		$[(C-A)/A] * 100$	8.91	8.73	8.87	8.86	8.96	9.03	8.90
Densidad global (bruta), seca	g/cm ³		$[A/(C-D)] * \rho$	1.89	1.91	1.90	1.90	1.88	1.87	1.89
Densidad global bruta después de inmersión y ebullición	g/cm ³		$[C/(C-D)] * \rho$	2.06	2.08	2.07	2.07	2.05	2.04	2.06
Densidad aparente	g/cm ³		$[A(A-D)] * \rho$	2.28	2.30	2.28	2.28	2.27	2.26	2.28
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	%		$[(C-A)/(C-D)] * 100$	16.88	16.71	16.84	16.83	16.89	16.92	16.84

Tabla N° 113: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, sin variación de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Ensayo n° 04	Ensayo n° 05	Ensayo n° 06	Promedio
Masa seca al horno	g	A	-	2342	2352	2359	2342	2340	2326	
Masa SSS	g	B	-	2544	2556	2564	2542	2540	2525	
Masa SSS después de la ebullición	g	C	-	2547	2561	2567	2547	2545	2529	
Masa sumergida después de la ebullición	g	D	-	1324	1314	1327	1321	1321	1317	
Absorción después de inmersión	%		$[(B-A)/A] * 100$	8.63	8.67	8.69	8.54	8.55	8.56	8.61
Absorción, después de inmersión y ebullición	%		$[(C-A)/A] * 100$	8.75	8.89	8.82	8.75	8.76	8.73	8.78
Densidad global (bruta), seca	g/cm ³		$[A/(C-D)] * \rho$	1.91	1.89	1.90	1.91	1.91	1.92	1.91
Densidad global bruta después de inmersión y ebullición	g/cm ³		$[C/(C-D)] * \rho$	2.08	2.05	2.07	2.08	2.08	2.09	2.07
Densidad aparente	g/cm ³		$[A(A-D)] * \rho$	2.30	2.27	2.29	2.29	2.30	2.31	2.29
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	%		$[(C-A)/(C-D)] * 100$	16.76	16.76	16.77	16.72	16.75	16.75	16.75

Tabla N° 114: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, variación 01 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Ensayo n° 04	Ensayo n° 05	Ensayo n° 06	Promedio
Masa seca al horno	g	A	-	2369	2386	2279	2377	2286	2307	
Masa SSS	g	B	-	2574	2594	2476	2583	2483	2505	
Masa SSS después de la ebullición	g	C	-	2579	2597	2480	2588	2486	2508	
Masa sumergida después de la ebullición	g	D	-	1326	1339	1280	1329	1291	1307	
Absorción después de inmersión	%		$[(B-A)/A] * 100$	8.65	8.72	8.64	8.67	8.62	8.58	8.65
Absorción, después de inmersión y ebullición	%		$[(C-A)/A] * 100$	8.86	8.84	8.82	8.88	8.75	8.71	8.81
Densidad global (bruta), seca	g/cm ³		$[A/(C-D)] * \rho$	1.89	1.90	1.90	1.89	1.91	1.92	1.90
Densidad global bruta después de inmersión y ebullición	g/cm ³		$[C/(C-D)] * \rho$	2.06	2.06	2.07	2.06	2.08	2.09	2.07
Densidad aparente	g/cm ³		$[A(A-D)] * \rho$	2.27	2.28	2.28	2.27	2.30	2.31	2.28
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	%		$[(C-A)/(C-D)] * 100$	16.76	16.77	16.75	16.76	16.74	16.74	16.75

Tabla N° 115: Porosidad de especímenes, veintiocho días de edad, variación 02 de índice de lajas e índice de agujas de la cantera Ortiz.

Descripción	Und	Símbolo	Fórmula	Ensayo n° 01	Ensayo n° 02	Ensayo n° 03	Ensayo n° 04	Ensayo n° 05	Ensayo n° 06	Promedio
Masa seca al horno	g	A	-	2357	2370	2345	2311	2347	2302	
Masa SSS	g	B	-	2561	2575	2548	2511	2550	2501	
Masa SSS después de la ebullición	g	C	-	2566	2579	2551	2515	2555	2506	
Masa sumergida después de la ebullición	g	D	-	1325	1325	1324	1296	1312	1287	
Absorción después de inmersión	%		$[(B-A)/A] * 100$	8.66	8.65	8.66	8.65	8.65	8.64	8.65
Absorción, después de inmersión y ebullición	%		$[(C-A)/A] * 100$	8.87	8.82	8.78	8.83	8.86	8.86	8.84
Densidad global (bruta), seca	g/cm3		$[A/(C-D)] * \rho$	1.90	1.89	1.91	1.90	1.89	1.89	1.90
Densidad global bruta después de inmersión y ebullición	g/cm3		$[C/(C-D)] * \rho$	2.07	2.06	2.08	2.06	2.06	2.06	2.06
Densidad aparente	g/cm3		$[A(A-D)] * \rho$	2.28	2.27	2.30	2.28	2.27	2.27	2.28
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	%		$[(C-A)/(C-D)] * 100$	16.84	16.67	16.79	16.74	16.73	16.74	16.75

6.6. Anexo VI: Constancia de Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.

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


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

CONSTANCIA

Que el Sr. **CALUA ZAMBRANO ROLANDO**. Ex alumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca; **que ha realizado trabajos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz” de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, para la Tesis Titulada: “INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE LAJAS Y AGUJAS DE LOS AGREGADOS USADOS LOCALMENTE PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO DE $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ ”. Dichos ensayos se realizaron del 13 de junio al 06 de septiembre del 2019, en dicha institución.**

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

Cajamarca, 16 de septiembre de 2019.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
.....
Ing. Mauro Centurión Vargas
JEFE DEL LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

6.7. Anexo VII: Panel fotográfico.

FIGURA N° 15: Muestreo de agregado.



FIGURA N° 16: Tamizado de agregado grueso.



FIGURA N° 17: Secado de muestra en estufa.



FIGURA N° 18: Material que pasa la malla N° 200.



FIGURA N° 19: Procesamiento de Índice de lajas.



FIGURA N° 20: Procesamiento de Índice de agujas.



FIGURA N° 21: Ensayo de Slump.



FIGURA N° 22: Elaboración de especímenes.



FIGURA N° 23: Curado de especímenes.



FIGURA N° 24: Ensayo a compresión.



FIGURA N° 25: Ensayo a flexión.



FIGURA N° 26: Procedimiento de ensayo de porosidad de concreto.



FIGURA N° 27: Cementos Pacasmayo



FIGURA N° 28: Cementos Inka



FIGURA N° 29: Cementos Andino



FIGURA N° 30: Cementos Yura



6.8. Anexo VIII: Planos de ubicación.