



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y
COSTOS; PARA DIFERENTES ESPESORES DE PIEDRA LAJA CON
JUNTA SECA EMBEBIDA EN VIGUETAS DE CONCRETO, CON
REFERENCIA A UNA VIGUETA DE CONCRETO TRADICIONAL

Presentado por:

Br. Anthony Arenas Cutid
Br. Janet Mormontoy Prado

Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Civil:

Asesor:

Ing. Víctor Chacón Sánchez

CUSCO – PERU

2016



DEDICATORIA

A Dios que me dio la fortaleza para continuar cada vez que estuve a punto de caer, por ser un ser maravilloso que me dio fuerza y fe para creer en lo que me parecía imposible de terminar y así poder llegar a este momento tan ansiado en mi vida.

A mis padres, Luis Antonio y Vilma que ha sabido formarme y haberme acompañado durante mi trayecto estudiantil brindándome su apoyo, cariño, ayuda en los momentos difíciles y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dada todo lo que soy como persona, mis valores, principios, lo que me ha ayudado a salir adelante y convertirme en un profesional.

A mi familia en general, por el apoyo que me brindaron constantemente, a mi novia Krisbel que con sus palabras y cariño me impulso cada día.

ANTHONY ARENAS CUTID



DEDICATORIA

A Dios, por permitirme la vida, fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto maravillosas personas en mi camino, cuya presencia motivó y permitió la realización de este sueño.

A mis padres, Janet y Juan Carlos, por darme la vida, por la formación que me hizo ser la mujer que soy, por sus enseñanzas, consejos, valores y principios. Por motivarme a ser fuerte con la primera carrera profesional que me dieron y permitirme dedicarles esta segunda con todo mi corazón.

A mis hermanas, Carla y Vidamí, por ser mis compañeras de vida, por las enseñanzas que aprendimos juntas y por las que muchas veces, aprendí a través de ellas.

A mi novio, Richard, por ser el soporte incondicional que me da amor, confianza, fortaleza y comprensión cuando más lo necesito, por ser mi compañero y mejor amigo desde hace 7 años.

JANET MORMONTOY PRADO



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud e iluminarme en cada decisión, fortaleciéndome cada día y por haber puesto en mi camino personas, cuya presencia motivó y permitió la realización de este sueño.

A mis padres, Luis Antonio y Vilma, por la educación y formación que me hizo ser la persona que soy, la ayuda en todo momento difícil, sus enseñanzas. Por la motivación que me brindaron logro ser ingeniero. Este trabajo de tesis ha sido una bendición en todo sentido, y te lo agradezco padre, y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.

A toda mi familia, mis hermanos, que con su soporte moral y la motivación que me dieron. A mi novia Krisbel, su ayuda en impulsarme a terminar este proyecto.

Al Ing. Víctor Chacón, por su importante guía y asesoramiento en este trabajo de investigación; a Janet, mi compañera de tesis y ser una gran amiga, por formar este equipo conmigo y brindarme su amistad desde nuestro primer semestre.

A nuestros amigos, que nos brindaron su apoyo incondicional cuando lo necesitamos. En especial a Rodrigo y Jan por su ayuda cuando lo necesitamos.

ANTHONY ARENAS CUTID



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por recordarme que nunca es tarde para volver a empezar.

A mis padres y hermanas por apoyarme a superar los obstáculos que se fueron presentando, consolarme y ayudarme a buscar la solución en medio de los problemas.

A mi novio Richard, por acompañarme física y moralmente en el desarrollo de esta tesis.

A los señores: Efraín Salazar, Samuel Sevilla y Ricardo Vásquez, por haber sido más que jefes, no sólo me permitieron trabajar y estudiar al mismo tiempo, sino que apostaron por mí, sin su apoyo y motivación, este sueño no hubiese sido posible.

Al Ing. Víctor Chacón, por su importante guía y asesoramiento, al Ing. Yeyson Acuña, por sus conocimientos brindados y al Ing. Jorge Álvarez, por motivar el sentimiento de superarnos a nosotros mismos cada día.

A Anthony, mi compañero de tesis y gran amigo, por formar este equipo conmigo, brindarme su comprensión y amistad; a sus padres por el apoyo físico y moral brindado durante la ejecución de la presente investigación.

A nuestros amigos, Rodri y Jan por ayudarnos constantemente.

JANET MORMONTOY PRADO



RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en efectuar la evaluación comparativa de la resistencia a la flexión y costos; para diferentes espesores de piedra laja con junta seca embebida en viguetas de concreto con referencia a una vigueta de concreto tradicional. Tiene como objetivo fundamental, la innovación de esta técnica que determinó el espesor que aporta mayor resistencia a la flexión al utilizar diferentes espesores de piedra laja embebida en viguetas de concreto.

Se sometieron 72 viguetas de concreto; divididas en cuatro grupos de 18: viguetas patrón, viguetas con 1" de piedra laja, viguetas con 1 1/2" de piedra laja y viguetas con 2" de piedra laja; a ensayos de resistencia a la flexión y a evaluación de costos. Asimismo, para garantizar la calidad del concreto, se efectuaron ensayos de resistencia a la compresión la cantidad de 32 briquetas; haciendo un total de 104 especímenes sometidos.

Luego de efectuar la evaluación comparativa, análisis y procesamiento de los resultados obtenidos, se logró corroborar la Hipótesis General, determinándose que el espesor de piedra laja embebida de 2", es el que aporta mayor resistencia, asimismo incrementa el costo de manera considerable, demostrando así el objetivo general de la presente investigación.



ABSTRACT

This research work is to carry out the comparative evaluation of resistance to flexion and costs; for different thicknesses of Flagstone with embedded dry Board on joists concrete with reference to a concrete joist traditional. Has as objective fundamental, the determination of the thickness that contribution greater resistance to the flexion to the use different thickness of stone laja embedded in joists of concrete.

Has been submitted 72 beams of concrete; divided into four groups of 18: pattern joists, joists with 1 "of Flagstone, joists with 1 1/2" stone slab and joist with 2 "stone slab; tests of resistance to flexion and evaluation of costs. Also, to ensure the quality of the concrete, is carried out trials of resistance to the compression the amount of 32 briquettes; making a total of 104 submitted specimens.

After make the evaluation comparative, analysis and processing of them results obtained, is managed to corroborate the hypothesis General, determining is that the thickness of stone laja embedded of 2 ", is which brings greater resistance, also increases the cost of way considerable, showing thus the objective general of the present research.



INTRODUCCIÓN

La ciudad del Cusco es considerada el ombligo del mundo y un importante destino turístico local, nacional e internacional, en sus calles se aprecian diversos tipos de pavimentos, en el centro histórico mayormente, de tipo articulado y en las zonas adyacentes, los encontramos de tipo rígido, semirígido y flexible; los cuales a lo largo de su vida útil, por la falta de mantenimiento, por el alto tránsito vehicular y diversas causas tienden a fallar.

En la actualidad, se aprecia que se viene implementando el pavimento con acabado de piedra laja, sobre todo en el centro histórico, sin embargo en nuestro medio, no existen estudios comparativos de resistencia y costos entre estos tipos de pavimento.

El presente trabajo de investigación busca determinar el espesor que aporte mayor resistencia al utilizar la piedra laja embebida en viguetas de concreto, tras someter las mismas, a pruebas de resistencia a la flexión y compararlas con una vigueta patrón. Así se logrará evaluar comparativamente viguetas con piedra laja embebida simulando un pavimento articulado, frente a viguetas patrón que simulan un pavimento rígido tradicional.

Se planteó la hipótesis que al incrementar los espesores de piedra laja embebida en viguetas de concreto, se incrementa la resistencia a la flexión y costos, con referencia a una vigueta de concreto tradicional.

Realizando los diferentes ensayos y evaluando comparativamente, se pudo comprobar la hipótesis, determinándose que el espesor de piedra laja embebida de 2", es el que aporta mayor resistencia, asimismo incrementa el costo de manera considerable, demostrando así el objetivo general de la presente investigación.

**ÍNDICE GENERAL**

CONTENIDO	PÁG.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	01
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	01
1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	01
1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA	03
1.1.2.1. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL	03
1.1.2.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS	04
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	05
1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	05
1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL	05
1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD	05
1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA	05
1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	06
1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	07
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	07
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	07
1.5 HIPÓTESIS	
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL	08
1.5.2. SUB HIPÓTESIS	08
1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES	09
1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTES	09
1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES	10
1.6.3. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	11



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL	12
2.1.1 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL	12
2.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL	13
2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES	16
2.2.1 EL CONCRETO	16
2.2.1.1 DEFINICIÓN	16
2.2.1.2 IMPORTANCIA DEL CONCRETO	18
2.2.1.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO	19
2.2.1.3.1 ESTRUCTURA INTERNA DEL CONCRETO	20
2.2.1.3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO	21
2.2.1.3.2.1 TRABAJABILIDAD	22
2.2.1.3.2.2 CONSISTENCIA	24
2.2.1.3.2.3 SEGREGACIÓN	27
2.2.1.3.2.4 ASENTAMIENTO Y EXUDACIÓN	28
2.2.1.3.2.5 CONTRACCIÓN	30
2.2.1.3.3 PROPIEDADES CONCRETO ENDURECIDO	31
2.2.1.4 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO	33
2.2.1.5 NATURALEZA DEL CONCRETO	33
2.2.1.6 ECONOMÍA	34
2.2.1.7 COMPONENTES DEL CONCRETO	35
2.2.1.7.1 EL CEMENTO	36
2.2.1.7.1.1 DEFINICIÓN	36
2.2.1.7.1.2 EL CEMENTO PORTLAND	37
2.2.1.7.1.3 CLINKER PORTLAND	37
2.2.1.7.1.4 CEMENTO PORTLAND NORMAL	38
2.2.1.7.1.5 TIPOS DE CEMENTO Y SUS APLICACIONES	39
2.2.1.7.1.6 EL CEMENTO PUZOLÁNICO	43
2.2.1.7.2 EL AGUA	46
2.2.1.7.2.1 EL AGUA EN EL CONCRETO	46
2.2.1.7.2.2 EL AGUA EN LA MEZCLA	47
2.2.1.7.2.3 EL AGUA EN EL CURADO	48
2.2.1.7.3 LOS AGREGADOS	50
2.2.1.7.3.1 LOS AGREGADOS EN EL CONCRETO	50
2.2.1.7.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO	52
2.2.1.7.3.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE	



LOS AGREGADOS	59
2.2.1.7.3.4 CARACTERÍSTICAS RESISTENTES	68
2.2.1.8 DISEÑO DE MEZCLAS	69
2.2.1.8.1 INTRODUCCIÓN	69
2.2.1.8.2 NOTACIÓN	69
2.2.1.8.3 DEFINICIÓN	70
2.2.1.8.4 CONSIDERACIONES BÁSICAS	72
2.2.1.8.4.1 RECOMENDACIONES FUNDAMENTALES	72
2.2.1.8.4.2 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS	73
2.2.1.8.5 PASOS PARA EL PROPORCIONAMIENTO	74
2.2.1.8.5.1 ESTUDIO DETALLADO DE LOS PLANOS Y/O ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	74
2.2.1.8.5.2 ELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO (F'_{CR})	74
2.2.1.8.5.3 CÁLCULO DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR	75
2.2.1.8.5.4 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO	77
2.2.1.8.5.5 ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO (SLUMP)	79
2.2.1.8.5.6 SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA	80
2.2.1.8.5.7 SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE	81
2.2.1.8.5.8 SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA / CEMENTO POR RESISTENCIA	81
2.2.1.8.5.9 FACTOR CEMENTO	83
2.2.1.8.5.10 SELECCIÓN DEL AGREGADO	83
2.2.1.8.5.11 CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO	84
2.2.2 LAS ROCAS	88
2.2.2.1 EL CICLO DE LAS ROCAS	88
2.2.2.1.1 ROCA FUNDIDA	89
2.2.2.1.2 ASCENSIÓN	89
2.2.2.1.3 ENTERRAMIENTO HONDO	90
2.2.2.1.4 DESGASTE Y EROSIÓN	90
2.2.2.1.5 TRANSPORTE Y DEPÓSITO	90
2.2.2.1.6 METAMORFISMO	90
2.2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS	91
2.2.2.2.1 ROCAS ÍGNEAS	91
2.2.2.2.1.1 ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS	91
2.2.2.2.1.2 LA ANDESITA	92
2.2.2.2.1.3 ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS	92



2.2.2.2.2	ROCAS SEDIMENTARIAS	93
2.2.2.2.3	ROCAS METAMÓRFICAS	93
2.2.2.3	PIEDRA LAJA	94
2.2.2.4	DESGASTE	94
2.2.2.4.1	CONDICIONES DE INTEMPERISMO	94
2.2.2.4.2	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	95
2.2.2.4.3	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES A 37.5 MM (1 1/2") POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	96
2.2.2.4.3.1	OBJETO	96
2.2.2.4.3.2	APARATOS	96
2.2.2.4.3.3	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	98
2.2.2.4.3.4	PROCEDIMIENTO	98
2.2.2.4.3.5	RESULTADOS	99
2.2.2.4.4	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MAYORES A 19 mm (3/4") POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	99
2.2.2.4.4.1	OBJETO	99
2.2.2.4.4.2	APARATOS	99
2.2.2.4.4.3	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	100
2.2.2.4.4.4	PROCEDIMIENTO	101
2.2.3	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO	102
2.2.3.1	MOMENTO DE FLEXIÓN	102
2.2.3.2	MÓDULO DE ROTURA	102
2.2.3.3	OBJETO	103
2.2.3.4	REFERENCIAS NORMATIVAS	104
2.2.3.5	RESUMEN DEL MÉTODO	104
2.2.3.6	APARATOS	104
2.2.3.6.1	MÁQUINA DE ENSAYO	104
2.2.3.6.2	APARATOS DE CARGA	105
2.2.3.6.3	INDICACIÓN DE LA CARGA	106
2.2.3.7	ENSAYO	106



2.2.3.7.1	VIGAS	106
2.2.3.7.2	PROCEDIMIENTO	107
2.2.3.8	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	108
2.2.3.9	INFORME	109
2.2.3.10	PRECISIÓN	110
2.2.3.11	DESVIACIÓN	110
2.2.4	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN BRIQUETAS	110
2.2.4.1	OBJETO	110
2.2.4.2	REFERENCIAS NORMATIVAS	111
2.2.4.3	RESUMEN DEL MÉTODO	111
2.2.4.4	APARATOS Y MUESTRAS	112
2.2.4.4.1	MÁQUINA DE ENSAYO	112
2.2.4.4.2	MUESTRAS	113
2.2.4.5	MEDICIONES	113
2.2.4.6	ENSAYO	113
2.2.4.6.1	COLOCACIÓN DE LA PROBETA	113
2.2.4.6.2	VELOCIDAD DE LA CARGA	114
2.2.4.7	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	114
2.2.5	PAVIMENTO	115
2.2.5.1	TIPOS DE PAVIMENTOS	116
2.2.5.1.1	PAVIMENTO FLEXIBLE	116
2.2.5.1.2	PAVIMENTO SEMIRÍGIDO	116
2.2.5.1.3	PAVIMENTO RÍGIDO	117
2.2.5.1.4	PAVIMENTO ARTICULADO	118
2.2.5.2	DISEÑO DE PAVIMENTOS	118
2.2.5.3	DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	119
2.2.5.3.1	METODO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION	119
2.2.5.3.2	APLICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO	120
2.2.5.3.3	BASES PARA EL DISEÑO	123
2.2.5.3.4	FACTORES DE DISEÑO	124
2.2.5.4	FALLAS USUALES EN PAVIMENTOS	124
2.2.5.4.1	PAVIMENTO ARTICULADO	124
2.2.5.4.1.1	DEFORMACIONES EN LA SUPERFICIE DE ACABADO DEL PAVIMENTO	124
2.2.5.4.1.2	PÉRDIDA DEL SELLAMIENTO EN PAVIMENTOS ARTICULADOS	125



2.2.5.4.1.3	CRECIMIENTO DE MATERIAL VEGETAL EN PAVIMENTOS ARTICULADOS	126
2.2.5.4.1.4	FRACTURAMIENTO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS	126
2.2.5.4.2	PAVIMENTO RÍGIDO	128
2.2.5.4.2.1	GRIETAS	128
2.2.5.4.2.2	BACHES	133
2.2.6	COSTOS Y PRESUPUESTOS	134
2.2.6.1	COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS	134
2.2.6.2	PARÁMETROS A CONSIDERAR PARA LA ESTIMACIÓN DEL GRADO DE SIGNIFICADO EN COSTOS	135
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		136
3.1.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	136
3.1.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	136
3.1.2.	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	136
3.1.3.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	137
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	138
3.2.1.	DISEÑO METODOLÓGICO	138
3.2.2.	DISEÑO DE INGENIERÍA	139
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	140
3.3.1.	POBLACIÓN	140
3.3.1.1.	DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN	140
3.3.1.2.	CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN	140
3.3.2.	MUESTRA	141
3.3.2.1.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	141
3.3.2.2.	CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	142
3.3.2.3.	MÉTODO DE MUESTREO	142
3.3.2.4.	CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE MUESTRA	143
3.3.3.	CRITERIOS DE INCLUSIÓN	143
3.4.	INSTRUMENTOS	145
3.4.1.	INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS O INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	145
3.4.2.	INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA	154
3.5.	PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	155
3.5.1.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS	155
3.5.2.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS	159



3.5.3. PESO ESPECÍFICO DE AGREGADO FINO	162
3.5.4. PESO ESPECÍFICO DE AGREGADO GRUESO	170
3.5.5. PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO	174
3.5.6. CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS	181
3.5.7. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA PIEDRA LAJA	185
3.5.8. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE PIEDRA LAJA	190
3.5.9. DETERMINACIÓN DEL SLUMP	192
3.5.10. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO	194
3.5.11. ENSAYO DE FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO	197
3.5.12. EVALUACIÓN DE COSTOS PARA DIFERENTES ESPESORES DE PIEDRA LAJA CON JUNTA SECA EMBEBIDA EN VIGUETAS DE CONCRETO, CON REFERENCIA A UNA VIGUETA DE CONCRETO TRADICIONAL	203
3.6. PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS	207
3.6.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS	207
3.6.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS	210
3.6.3. PESO ESPECÍFICO DE AGREGADO FINO	213
3.6.4. PESO ESPECÍFICO DE AGREGADO GRUESO	215
3.6.5. PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO	217
3.6.6. CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO	222
3.6.7. CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO	224
3.6.8. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA DE LA PIEDRA LAJA	226
3.6.9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA PIEDRA LAJA	229
3.6.10. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE PIEDRA LAJA	231
3.6.11. DISEÑO DE MEZCLAS	233
3.6.12. DETERMINACIÓN DEL SLUMP	242
3.6.13. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO	244
3.6.14. ENSAYO DE FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO	247
3.6.15. EVALUACIÓN DE COSTOS PARA DIFERENTES	



ESPEORES DE PIEDRA LAJA CON JUNTA SECA EMBEBIDA EN VIGUETAS DE CONCRETO CON REFERENCIA A UNA VIGUETA DE CONCRETO TRADICIONAL	256
CAPITULO IV: RESULTADOS	259
CAPITULO V: DISCUSIÓN	267
GLOSARIO	269
CONCLUSIONES	278
RECOMENDACIONES	282
REFERENCIAS	283
ANEXOS	287

**ÍNDICE DE TABLAS**

<u>CONTENIDO</u>	<u>PÁG.</u>
TABLA N° 01 CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	11
TABLA N° 02 CLASES DE MEZCLA SEGÚN SU ASENTAMIENTO	26
TABLA N° 03 LÍMITES GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO	54
TABLA N° 04 PORCENTAJE DE PARTÍCULAS INCONVENIENTES EN EL AGREGADO FINO	55
TABLA N° 05 LÍMITES GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO	57
TABLA N° 06 PORCENTAJE DE PARTÍCULAS INCONVENIENTES EN EL AGREGADO GRUESO	58
TABLA N° 07 COEFICIENTES DE VARIACIÓN Y GRADOS DE CONTROL.	75
TABLA N° 08 FACTOR DE CORRECCIÓN PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA CUANDO SE DISPONE DE MENOS DE 30 ENSAYOS.	76
TABLA N° 09 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA CUANDO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA	78
TABLA N° 10 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA	79
TABLA N° 11 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO	80
TABLA N° 12 SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA	80
TABLA N° 13 SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	81
TABLA N° 14 SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR RESISTENCIA	82
TABLA N° 15 MÁXIMA RELACIÓN AGUA/CEMENTO PERMISIBLE PARA CONCRETOS SOMETIDOS A CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN	82
TABLA N° 16 PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO.	83



TABLA N° 17	GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO	98
TABLA N° 18	PESOS Y GRANULOMETRIAS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	100
TABLA N° 19	PARÁMETROS DE SIGNIFICADO EN COSTOS	135
TABLA N° 20	CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	142
TABLA N° 21	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO	145
TABLA N° 22	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO	146
TABLA N° 23	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO	147
TABLA N° 24	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO	147
TABLA N° 25	PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO	148
TABLA N° 26	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO	148
TABLA N° 27	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO	149
TABLA N° 28	DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA PIEDRA LAJA	149
TABLA N° 29	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN O DESGASTE DE LA PIEDRA LAJA	150
TABLA N° 30	DETERMINACIÓN DEL SLUMP	151
TABLA N° 31	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO	151
TABLA N° 32	ENSAYO DE FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO (VIGUETAS PATRÓN Y VIGUETAS EMBEBIDAS CON PIEDRA LAJA DE 1", 1 1/2" Y 2")	152
TABLA N° 33	EVALUACIÓN COMPARATIVA DE COSTOS PARA DIFERENTES ESPESORES DE PIEDRA LAJA CON JUNTA SECA EMBEBIDA EN VIGUETAS DE CONCRETO CON REFERENCIA A UNA VIGUETA DE CONCRETO TRADICIONAL - VIGUETAS PATRÓN	153



TABLA N° 34	EVALUACIÓN COMPARATIVA DE COSTOS PARA DIFERENTES ESPESORES DE PIEDRA LAJA CON JUNTA SECA EMBEBIDA EN VIGUETAS DE CONCRETO CON REFERENCIA A UNA VIGUETA DE CONCRETO TRADICIONAL - VIGUETAS CON PIEDRA LAJA EMBEBIDA (1", 1 1/2" Y 2")	153
TABLA N° 35	TOMA DE DATOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO	158
TABLA N° 36	TOMA DE DATOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO	161
TABLA N° 37	TOMA DE DATOS PESO ESPECÍFICO DE AGREGADO FINO	169
TABLA N° 38	TOMA DE DATOS PESO ESPECÍFICO DE AGREGADO GRUESO	173
TABLA N° 39	TOMA DE DATOS PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO	180
TABLA N° 40	CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA HÚMEDA PARA ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO	182
TABLA N° 41	TOMA DE DATOS CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO	184
TABLA N° 42	TOMA DE DATOS CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO	184
TABLA N° 43	TOMA DE DATOS DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA PIEDRA LAJA	190
TABLA N° 44	TOMA DE DATOS RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE LA PIEDRA LAJA	192
TABLA N° 45	TOMA DE DATOS DETERMINACIÓN DE SLUMP	194
TABLA N° 46	TOMA DE DATOS ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO	196
TABLA N° 47	TOMA DE DATOS: ENSAYO DE FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO (VIGUETAS PATRÓN)	199
TABLA N° 48	TOMA DE DATOS ENSAYO DE FLEXIÓN DE PRISMAS: RECTANGULARES DE CONCRETO (VIGUETAS EMBEBIDAS CON PIEDRA LAJA DE 1")	200
TABLA N° 49	TOMA DE DATOS ENSAYO DE FLEXIÓN DE PRISMAS: RECTANGULARES DE CONCRETO (VIGUETAS EMBEBIDAS CON PIEDRA LAJA DE 1 1/2")	201



TABLA N° 50	TOMA DE DATOS ENSAYO DE FLEXIÓN DE PRISMAS: RECTANGULARES DE CONCRETO (VIGUETAS EMBEBIDAS CON PIEDRA LAJA DE 2")	202
TABLA N° 51	TOMA DE DATOS: EVALUACIÓN DE COSTOS DE VIGUETAS PATRÓN	203
TABLA N° 52	TOMA DE DATOS: EVALUACIÓN DE COSTOS DE VIGUETAS CON 1" DE PIEDRA LAJA EMBEBIDA	204
TABLA N° 53	TOMA DE DATOS: EVALUACIÓN DE COSTOS DE VIGUETAS CON 1 1/2" DE PIEDRA LAJA EMBEBIDA	205
TABLA N° 54	TOMA DE DATOS: EVALUACIÓN DE COSTOS DE VIGUETAS CON 2" DE PIEDRA LAJA EMBEBIDA	206
TABLA N° 55	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO	209
TABLA N° 56	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO	212
TABLA N° 57	PESO ESPECÍFICO DE AGREGADO FINO	214
TABLA N° 58	PESO ESPECÍFICO DE AGREGADO GRUESO	217
TABLA N° 59	PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO	221
TABLA N° 60	CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO	223
TABLA N° 61	CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO	225
TABLA N° 62	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA PIEDRA LAJA	230
TABLA N° 63	PESOS RETENIDOS Y ELECCIÓN DEL METODO PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN	231
TABLA N° 64	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE LA PIEDRA LAJA	232
TABLA N° 65	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA REQUERIDA	234
TABLA N° 66	ASENTAMIENTO POR TIPO DE ESTRUCTURAS	234
TABLA N° 67	VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA	235
TABLA N° 68	CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	235



TABLA N° 69	RELACIÓN AGUA / CEMENTO	236
TABLA N° 70	PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO	237
TABLA N° 71	CÁLCULO DE SLUMP PROMEDIO POR DÍA DE VACIADO	242
TABLA N° 72	CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO A LOS 7 DÍAS DE CURADO	245
TABLA N° 73	CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO A LOS 28 DÍAS DE CURADO	246
TABLA N° 74	CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO VIGUETAS PATRÓN A LOS 7 DÍAS DE CURADO	248
TABLA N° 75	CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO VIGUETAS CON 1" DE PIEDRA LAJA A LOS 7 DÍAS DE CURADO	249
TABLA N° 76	CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO VIGUETAS CON 1 1/2" DE PIEDRA LAJA A LOS 7 DÍAS DE CURADO	250
TABLA N° 77	CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO VIGUETAS CON 2" DE PIEDRA LAJA A LOS 7 DÍAS DE CURADO	251
TABLA N° 78	CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO VIGUETAS PATRÓN A LOS 28 DÍAS DE CURADO	252
TABLA N° 79	CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO VIGUETAS CON 1" DE PIEDRA LAJA A LOS 28 DÍAS DE CURADO	253
TABLA N° 80	CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO VIGUETAS CON 1 1/2" DE PIEDRA LAJA A LOS 28 DÍAS DE CURADO	254
TABLA N° 81	CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO VIGUETAS CON 2" DE PIEDRA LAJA A LOS 28 DÍAS DE CURADO	255
TABLA N° 82	ANÁLISIS DE COSTOS VIGUETAS PATRÓN	257
TABLA N° 83	ANÁLISIS DE COSTOS VIGUETAS CON 1" DE PIEDRA LAJA	257



TABLA N° 84	ANÁLISIS DE COSTOS VIGUETAS CON 1 1/2" DE PIEDRA LAJA	258
TABLA N° 85	ANÁLISIS DE COSTOS VIGUETAS CON 2" DE PIEDRA LAJA	258
TABLA N° 86	DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA DE LA PIEDRA LAJA	260
TABLA N° 87	DETERMINACIÓN DEL SLUMP	261
TABLA N° 88	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO	262
TABLA N° 89	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO	263
TABLA N° 90	EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN A LA EDAD DE CURADO DE 28 DÍAS	264
TABLA N° 91	EVALUACIÓN DE COSTOS	265

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<u>CONTENIDO</u>	<u>PÁG.</u>
FIGURA N° 01 FALLA PAVIMENTO CALLE QOLLACALLE	1
FIGURA N° 02 FALLA PAVIMENTO CALLE SIETE VENTANAS Y CHIHUAMPATA	2
FIGURA N° 03 FALLA PAVIMENTO CALLE CHOQUECHACA Y CUESTA SAN BLAS	2
FIGURA N° 04 ESQUEMA TÍPICO DE LA ESTRUCTURA DEL CONCRETO ENDURECIDO	20
FIGURA N° 05 PROPORCIONES TÍPICAS DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO	36
FIGURA N° 06 PUZOLANA DE LA CANTERA DE RAQCHI - CUSCO	45
FIGURA N° 07 ESTADOS DE SATURACIÓN DEL AGREGADO	59
FIGURA N° 08 DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES DE SÓLIDOS, POROS Y VACÍOS PARA AGREGADO SECADO AL HORNO	61
FIGURA N° 09 CICLO DE LAS ROCAS	89
FIGURA N° 10 EJEMPLARES DE PIEDRA ANDESITA EVALUADOS	92
FIGURA N° 11 MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	97
FIGURA N° 12 ENSAYO A FLEXIÓN	108
FIGURA N° 13 SECCIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	116
FIGURA N° 14 SECCIÓN DE UN PAVIMENTO SEMI RÍGIDO	117
FIGURA N° 15 SECCIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO	117
FIGURA N° 16 SECCIÓN DE UN PAVIMENTO ARTICULADO	118
FIGURA N° 17 ABULTAMIENTO Y DEPRESIONES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS	125
FIGURA N° 18 JUNTAS ABIERTAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	125



FIGURA N° 19	CRECIMIENTO DE MATERIAL VEGETAL EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	126
FIGURA N° 20	FRACTURAMIENTO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS	127
FIGURA N° 21	GRIETAS DE ESQUINA EN LA CARPETA DE RODADURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	129
FIGURA N° 22	GRIETAS DIAGONALES EN LA CARPETA DE RODADURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	130
FIGURA N° 23	GRIETAS LONGITUDINALES EN LA CARPETA DE RODADURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	131
FIGURA N° 24	GRIETAS DE RESTRICCIÓN EN LA CARPETA DE RODADURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	132
FIGURA N° 25	GRIETAS TRANSVERSALES EN LA CARPETA DE RODADURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	133
FIGURA N° 26	BACHES EN LA CARPETA DE RODADURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	134
FIGURA N° 27	DISEÑO DE INGENIERÍA	139
FIGURA N° 28	CUARTEO Y PESAJE DE LA MUESTRA	155
FIGURA N° 29	INSUMOS PARA EL TAMIZADO	156
FIGURA N° 30	TAMIZADO MANUAL	156
FIGURA N° 31	MUESTRA TAMIZADA	157
FIGURA N° 32	MUESTREO Y PESAJE DE LA MUESTRA	159
FIGURA N° 33	TAMIZADO DE LA MUESTRA	160
FIGURA N° 34	MUESTRA TAMIZADA	160
FIGURA N° 35	PESAJE DEL PICNÓMETRO	162
FIGURA N° 36	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	163
FIGURA N° 37	SATURACIÓN DE LA MUESTRA	163



FIGURA N° 38	MUESTRA SATURADA	164
FIGURA N° 39	SECADO SUPERFICIAL DE LA MUESTRA	164
FIGURA N° 40	APISONADO EN EL CONO DE ABSORCIÓN – TOMA 1	165
FIGURA N° 41	APISONADO EN EL CONO DE ABSORCIÓN – TOMA 2	165
FIGURA N° 42	COMPROBACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIALMENTE SECO DE LA MUESTRA	166
FIGURA N° 43	PESAJE DE LA MUESTRA	166
FIGURA N° 44	ELIMINACIÓN DE VACÍOS EN EL PICNÓMETRO CON LA MUESTRA	167
FIGURA N° 45	PESAJE DE LA MUESTRA	168
FIGURA N° 46	PESAJE DE LA MUESTRA SECADA EN EL HORNO	168
FIGURA N° 47	CUARTEO Y SELECCIÓN DE LA MUESTRA	170
FIGURA N° 48	LAVADO DE LA MUESTRA	170
FIGURA N° 49	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	171
FIGURA N° 50	PESAJE DE LA MUESTRA	171
FIGURA N° 51	PESAJE DE LA MUESTRA EN LA CESTA METÁLICA	172
FIGURA N° 52	SECADO DE LA MUESTRA EN EL HORNO	172
FIGURA N° 53	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	174
FIGURA N° 54	DETERMINACIÓN DEL PESO DEL MOLDE	175
FIGURA N° 55	DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL MOLDE	175
FIGURA N° 56	RELLENO DEL MOLDE CON MATERIAL SIMPLEMENTE COLOCADO	176



FIGURA N° 57	RELLENO Y ENRASAMIENTO DEL MOLDE CON MATERIAL SIMPLEMENTE COLOCADO	176
FIGURA N° 58	PESAJE DEL MOLDE CON MATERIAL SIMPLEMENTE COLOCADO	177
FIGURA N° 59	RELLENO DEL MOLDE CON MATERIAL	178
FIGURA N° 60	RELLENO DEL MOLDE CON MATERIAL COLOCADO MEDIANTE EL APISONAMIENTO	178
FIGURA N° 61	RELLENO Y ENRASAMIENTO DEL MOLDE CON MATERIAL COMPACTADO	179
FIGURA N° 62	PESAJE DEL MOLDE CON MATERIAL COMPACTADO	179
FIGURA N° 63	PESAJE DE LAS CÁPSULAS	181
FIGURA N° 64	PESAJE INICIAL DE LA MUESTRA EN LAS CÁPSULAS	182
FIGURA N° 65	SECADO Y EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA DEL HORNO	183
FIGURA N° 66	PESAJE FINAL DE LA MUESTRA EN LAS CÁPSULAS	183
FIGURA N° 67	DETERMINACIÓN DEL TIPO DE PIEDRA Y DE LA CANTERA	185
FIGURA N° 68	DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA Y MACROSCÓPICA DE LA PIEDRA CON SUS DENOMINACIONES	186
FIGURA N° 69	MÁQUINA DE COMPRESIÓN PARA ENSAYO DE RESISTENCIA DE PIEDRA LAJA	187
FIGURA N° 70	COLOCACIÓN DE LAS MUESTRAS DE PIEDRA LAJA EN LA MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE	187
FIGURA N° 71	RESISTENCIA A LA CARGA DE LA MUESTRA TALLADA DE LA CANTERA PUQUIO – AYACUCHO	188
FIGURA N° 72	RESISTENCIA A LA CARGA DE LA MUESTRA TALLADA DE LA CANTERA SANTA BARBARA – AREQUIPA	188
FIGURA N° 73	RESISTENCIA A LA CARGA DE LA MUESTRA TALLADA DE LA CANTERA HUACOTO – CUSCO	189
FIGURA N° 74	MUESTRAS YA SOMETIDAS A COMPRESIÓN	189
FIGURA N° 75	TAMIZADO Y PESAJE INICIAL DE LA MUESTRA	191
FIGURA N° 76	COLOCACIÓN DE LA MUESTRA EN LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES	191
FIGURA N° 77	VERTIMIENTO DE CONCRETO	193



FIGURA N° 78	PROCESO DE DESMOLDE	193
FIGURA N° 79	TOMA DE MEDIDAS	195
FIGURA N° 80	COLOCACIÓN DE LA PROBETA EN LA MÁQUINA DE COMPRESIÓN	195
FIGURA N° 81	PROBETAS YA SOMETIDAS A COMPRESIÓN	195
FIGURA N° 82	TOMA DE MEDIDAS	197
FIGURA N° 83	COLOCACIÓN DEL PRISMA	198
FIGURA N° 84	PRISMAS YA SOMETIDAS A FLEXIÓN	198
FIGURA N° 85	CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO	209
FIGURA N° 86	CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO	212
FIGURA N° 87	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO	262
FIGURA N° 88	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO A LA EDAD DE CURADO DE 7 DÍAS	263
FIGURA N° 89	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PRISMAS RECTANGULARES DE CONCRETO A LA EDAD DE CURADO DE 28 DÍAS	264
FIGURA N° 90	EVALUACIÓN COMPARATIVA DE COSTOS	265

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La ciudad del Cusco es considerada el ombligo del mundo y un importante destino turístico local, nacional e internacional, en sus calles se aprecian diversos tipos de pavimentos, en el centro histórico mayormente, de tipo articulado y en las zonas adyacentes, los encontramos de tipo rígido, semirígido y flexible.

La problemática se centra en los pavimentos del Centro Histórico, en su mayoría articulados; pues a lo largo de su vida útil, por la falta de mantenimiento, alto tránsito vehicular y diversas causas tienden a fallar como apreciamos en las imágenes a continuación anexas:

FIGURA N° 01

FALLA PAVIMENTO CALLE QOLLACALLE



FUENTE: PROPIA

FIGURA N° 02

FALLA PAVIMENTO CALLE SIETE VENTANAS Y CHIHUAMPATA



FUENTE: PROPIA

FIGURA N° 03

FALLA PAVIMENTO CALLE CHOQUECHACA Y CUESTA SAN BLAS



FUENTE: PROPIA

Por otro lado, según (Municipalidad Provincial del Cusco, 1992), mediante su publicación titulada “Código Municipal para la Protección de la Ciudad Histórica



del Qosqo”, indica que se debe mantener el uso de la piedra como material de acabado en los pavimentos: adoquines, canto rodado u irregular en calzadas y escaleras; losas o losetas en aceras, huella o senderos de calzadas; y una combinación de ellos en plataformas. Con esto se logra unir y armonizar los diversos elementos de los ambientes urbanos. Asimismo, se prohíbe el uso de concreto o asfalto u otro material extraño en el acabado de los pavimentos, pues estos materiales contribuyen a la pérdida del carácter de la Zona Monumental. Los pavimentos de concreto o asfalto existentes, deben ser reemplazados por otros de piedra.

Al respecto, se aprecia que se viene implementando el pavimento con acabado de piedra laja en diversas arterias principales del centro histórico, cumpliendo lo dispuesto por el código en mención ya que los pavimentos contienen concreto pero sus acabados son de piedra, por tanto mantienen la armonía. Sin embargo, estas obras ejecutadas carecen de estudios hechos en nuestro medio, que evalúen comparativamente las resistencias y costos entre pavimentos con distintos espesores de piedra laja como acabado; contribuyendo a la problemática de esta investigación.

Lo expuesto, motiva que este trabajo de investigación busque evaluar comparativamente la resistencia a flexión y costos; para diferentes espesores de piedra laja embebida en viguetas de concreto, con la finalidad de determinar el espesor de piedra laja óptimo a utilizar, embebida en las viguetas estudiadas.

1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA

1.1.2.1. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL

¿Cuál será la evaluación comparativa de la resistencia a flexión y costos; para diferentes espesores de piedra laja con junta seca embebida en viguetas de concreto; con referencia a una vigueta de concreto tradicional?



1.1.2.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- **PROBLEMA ESPECÍFICO N° 01**

¿Cuál será la evaluación comparativa de la resistencia a la flexión para 1” de espesor de piedra laja con junta seca embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional?

- **PROBLEMA ESPECÍFICO N° 02**

¿Cuál será la evaluación comparativa de la resistencia a la flexión para 1 1/2” de espesor de piedra laja con junta seca embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional?

- **PROBLEMA ESPECÍFICO N° 03**

¿Cuál será la evaluación comparativa de la resistencia a la flexión para 2” de espesor de piedra laja con junta seca embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional?

- **PROBLEMA ESPECÍFICO N° 04**

¿Cuál será la evaluación comparativa de los costos para 1” de espesor de piedra laja con junta seca embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional?

- **PROBLEMA ESPECÍFICO N° 05**

¿Cuál será la evaluación comparativa de los costos para 1 1/2” de espesor de piedra laja con junta seca embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional?

- **PROBLEMA ESPECÍFICO N° 06**

¿Cuál será la evaluación comparativa de los costos para 2” de espesor de piedra laja con junta seca embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional?

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

El trabajo de investigación es técnico, debido a la aplicación de normas técnicas peruanas vigentes para determinar la resistencia a la compresión y flexión del concreto como la NTP 339.079:2012.- Método de Ensayo para determinar la Resistencia a la Flexión del Concreto en vigas simplemente apoyadas con carga en el centro del tramo, NTP 339.034:2008.- Método de Ensayo Normalizado para la determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto en muestras cilíndricas, ASTM C-131.-Ensayo de Resistencia a la Abrasión. Asimismo, se realizaron ensayos de calidad de agregados gruesos y finos, granulometría, contenido de humedad, peso unitario y específico, diseños de mezcla y otros ensayos de laboratorio correspondientes.

1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

El trabajo de investigación fue realizado para contribuir al conocimiento de un material innovador, que podría ser usado en nuestro medio, donde es característico su uso en los pavimentos del Centro Histórico de nuestra ciudad. En consecuencia, mejoraría la transitabilidad de vehículos y peatones, generando un impacto social positivo, al mejorar el flujo vehicular reduciendo los tiempos en desplazamiento.

Por otro lado, fue realizado con la finalidad de mantener la monumentalidad de nuestro Centro Histórico, todo ello sin sacrificar la calidad de los pavimentos en el mismo.

1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD

El trabajo de investigación es factible, debido a la existencia y accesibilidad de equipos e instrumentos en el laboratorio de la facultad, con dimensiones y proporciones adecuadas para la investigación. Además de la disponibilidad de insumos y materiales que fueron empleados en el desarrollo de la investigación.

1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA

El presente trabajo de investigación es innovador, ya que utiliza esta nueva técnica en pavimentos mediante el acabado con piedra laja, la cual recién se



viene implementando en nuestra localidad, no obstante en nuestro medio, se carece de estudios de evaluación en resistencias y costos de los mismos, es por ello que este trabajo busca innovar en este campo.

Es relevante porque permitirá comparar resistencias y costos, mantener la monumentalidad del centro histórico y por otro lado, dejará precedente en las investigaciones futuras relacionadas contribuyendo a su calidad.

1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- Se empleó el equipo que presenta el Laboratorio Suelos y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Andina Del Cusco, ya que presenta los equipos necesarios.
- Se empleó Cemento Portland Tipo IP, agregado grueso procedente de la Cantera de Vicho con tamaño máximo de 1" y tamaño máximo nominal de 3/4", así mismo el agregado fino procedente de la Cantera de Lamay, el cual fue tamizado por la Malla N° 4 con un módulo de fineza de 2.55, ambos agregados cumplen con la NTP 400.037.
- Se realizó el Diseño de Mezclas, por el Método del ACI para un concreto de resistencia a la compresión $F'c = 245 \text{ kg/cm}^2$, relación agua/cemento 0.41 y un Slump de 1 a 3"; para todas las viguetas y briquetas evaluadas.
- Se empleó piedra laja limpia de la Cantera de Santa Bárbara – Arequipa, con una resistencia a la compresión simple de 1587.56 kg/cm^2 .
- El tipo de piedra laja utilizada fue labrada, en forma rectangular, de dimensiones 0.20 m de largo y 0.18 m de ancho (para resistencia a la flexión). Los espesores de piedra laja corresponden a 1", 1.5" y 2" (pulgadas).
- El aparejo de la piedra laja consiste en una fila continua, con tipo de junta seca.
- La profundidad de embebido de la piedra laja corresponde al propio espesor respectivo de cada tipo de piedra (1", 1/2" y 2").
- En la parte posterior de las piedras, se realizaron incisiones cada 2 cm, con un disco de corte de concreto diamantado, tanto horizontal como verticalmente para garantizar la adherencia del embebido.



- Se evaluaron comparativamente, diferentes espesores de piedra laja embebida en viguetas de concreto $F'c = 245 \text{ kg/cm}^2$, en ensayos de resistencias a la flexión y en costos de los insumos; con referencia a una vigueta tradicional.
- A los 7 y 28 días de curado, se evaluó la resistencia a la flexión con una carga en el punto medio, para diferentes espesores de piedra laja embebida en 54 viguetas de concreto y 18 viguetas patrón (sólo concreto); mediante el equipo de ensayo a compresión Acutek del Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Andina del Cusco; acondicionándolo para ensayos a flexión de viguetas de sección $0.18 \text{ m} \times 0.18 \text{ m}$ con un largo de 0.60 m , para lo cual se elaboró una plancha metálica de la sección de la vigueta con un espesor de $\frac{1}{2}$ ", así como Tres (03) apoyos de carga de forma cilíndrica y del ancho de la viga, el cual es el indicado para las pruebas a realizar en la presente investigación.
- Tanto, las viguetas patrón como las embebidas tuvieron dimensiones de 0.60 m de largo, 0.18 m de altura y 0.18 de ancho, cumpliendo lo establecido por la normatividad.
- Con la finalidad de efectuar el control de calidad del concreto utilizado en la presente investigación, se evaluó a los 7 y 28 días de curado la resistencia a la compresión de 32 briquetas de concreto, mediante el equipo de ensayo a compresión Acutek del Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Andina del Cusco.
- Se evaluaron comparativamente los costos de los insumos (materiales, equipos y herramientas) utilizados en la fabricación de las viguetas patrón y embebidas, haciendo uso del software Microsoft Excel, obtenido por fuente propia.

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar comparativamente la resistencia a la flexión y costos; para diferentes espesores de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto; con referencia a una vigueta de concreto tradicional.



1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 01**

Analizar comparativamente la resistencia a la flexión para 1" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 02**

Analizar comparativamente la resistencia a la flexión para 1 1/2" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 03**

Analizar comparativamente la resistencia a la flexión para 2" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 04**

Analizar comparativamente los costos para 1" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 05**

Analizar comparativamente los costos para 1 1/2" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 06**

Analizar comparativamente los costos para 2" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto, con referencia a una vigueta de concreto tradicional.



1.5 HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Al incrementar los espesores de piedra laja embebida en viguetas de concreto, se incrementa la resistencia a la flexión y costos; con referencia a una vigueta de concreto tradicional.

1.5.2. SUB HIPÓTESIS

- **SUB HIPÓTESIS N° 01**

Al utilizar 1" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto se supera la resistencia a la flexión de la vigueta de concreto tradicional.

- **SUB HIPÓTESIS N° 02**

Al utilizar 1 1/2" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto se supera la resistencia a la flexión de la vigueta de concreto tradicional.

- **SUB HIPÓTESIS N° 03**

Al utilizar 2" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto se supera la resistencia a la flexión de la vigueta de concreto tradicional.

- **SUB HIPÓTESIS N° 04**

Al utilizar 1" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto, el incremento del costo no es significativo, con referencia a una vigueta de concreto tradicional.

- **SUB HIPÓTESIS N° 05**

Al utilizar 1 1/2" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto, el incremento del costo es moderado, con referencia a una vigueta de concreto tradicional.

- **SUB HIPÓTESIS N° 06**

Al utilizar 2" de espesor de piedra laja con junta seca, embebida en viguetas de concreto, el incremento del costo es significativo, con referencia a una vigueta de concreto tradicional.

1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTES

- Y1: Agregado grueso: Es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava. (IND: Granulometría, Peso Específico, Peso unitario, Cantidad de Humedad, % Absorción, Peso (en kg.)).
- Y2: Agregado fino: Se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas. (IND: Granulometría, Peso Específico, Peso unitario, Cantidad de Humedad, % Absorción, Peso (en kg.))
- Y3: Cemento Portland: Es un conglomerante, que une o da cohesión, se endurece con el agua y produce compuestos mecánicamente resistentes (IND: Peso en Kg).
- Y4: Agua: Agua tratada en una planta potabilizadora, no debe contener sustancias o microorganismos. (IND: Volumen en m3).
- Y5: Piedra laja: Es la variación de las dimensiones de piedra laja ya labrada, con dimensiones de 0.20 m. de largo y 0.18 m. de ancho (IND: Dimensiones de espesor (en pulgadas): 1", 1 ½ ", 2").

1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- X1: Resistencia a la flexión: Es la fuerza de flexión que se ejerce sobre un área resistente. (IND: Módulo de resistencia a la flexión, (en Kg/cm²)).
- X2: Costos: Es el presupuesto derivado del metrado de una partida determinada. (IND: Costo de partida de diferentes espesores de piedra laja embebidas en vigueta de concreto, Costo de partida de vigueta de concreto tradicional).

1.6.3. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA N° 01
CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				
VARIABLES DEPENDIENTES				
VARIABLE	DESCRIPCION DE VARIABLE	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
X1 = Resistencia a la flexión	Es la fuerza de flexión que se ejerce sobre un área resistente.	Resistencia a los 7 días	Módulo de resistencia a la flexión en Kg/cm ²	Guías de observación de Laboratorio Formatos de evaluación de resistencia a la compresión
		Resistencia a los 28 días		
X2 = Costos	Es el presupuesto derivado del metrado de una partida determinada.	No significativo	Costo de partida de diferentes espesores de piedra laja embebidas en vigueta de concreto.	Plantilla de Metrados de una Partida
		Moderado		
		Significativo	Costo de partida de vigueta de concreto tradicional	
VARIABLES INDEPENDIENTES				
Y1 = Agregado grueso	Es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.	Propiedades Físicas	Granulometría	Guías de observación de Laboratorio Formatos de evaluación de resistencia a la compresión Formatos de evaluación de resistencia a la compresión
			Peso Específico	
			Cantidad de Humedad	
		Propiedades Mecánicas	Absorción	
Peso (en kg.)				
Y2 = Agregado fino	Es aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.	Propiedades Físicas	Granulometría	Guías de observación de Laboratorio Formatos de evaluación de resistencia a la compresión Formatos de evaluación de resistencia a la compresión
			Peso Específico	
			Cantidad de Humedad	
		Propiedades Mecánicas	Absorción	
Peso (en kg.)				
Y3 = Cemento Portland	Es un conglomerante, que une o da cohesión, se endurece con el agua y produce compuestos mecánicamente resistentes.	Tipo IP	Peso (en Kg.)	Guías de observación de Laboratorio Formatos de evaluación de resistencia a la compresión Formatos de evaluación de resistencia a la compresión
Y4 = Agua	Es el agua tratada en una planta potabilizadora, no debe contener sustancias o microorganismos.	Potable	Volumen (en m ³)	Guías de observación de Laboratorio
Y5 = Piedra Laja	Es la variación de las dimensiones de piedra laja ya labrada.	Espesor de 1"	Dimensiones de espesor (pulg.): 1", 1 1/2", 2".	Guías de observación de Laboratorio Formatos de evaluación de resistencia a la compresión Formatos de evaluación de resistencia a la compresión
		Espesor de 1 1/2"		
		Espesor de 2"		

FUENTE: PROPIA

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL

2.1.1 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

2.1.1.1 AUTOR:

KELVIN PINTO PASTOR – LUIS JAVIER CHACON MARCES

TITULO:

“EVALUACIÓN EMPÍRICA DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS ADOQUINADOS PARA ALTOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DEL CUSCO”

LUGAR:

Cusco – Perú, Tesis de la Facultad de Ingeniería Civil, realizada en la Universidad Andina del Cusco, del año 2013

RESUMEN:

En la ciudad del Cusco se presentan diversos tipos de pavimentos, se entiende por pavimento la estructura superficial compuesta generalmente por varias capas de diferentes materiales que sirve de acabado a una vía, ya sea vehicular o peatonal, cuyo fin es el dar resistencia estructural para atender el paso de los vehículos o peatones y por medio de su capa superior controlar la erosión, por acción del agua o el viento, de los materiales que conforman la base de dicha vía, complementando o su estructura.

En el Centro Histórico de la ciudad del Cusco se presentan en su gran mayoría pavimentos adoquinados que son aquellos en los cuales la capa superior o acabado del pavimento está constituida por adoquines de piedras labradas que generalmente tienen una estructura compuesta por una sub base, base y teniendo como elemento cementante una capa de concreto. De espesor variable, no existiendo un diseño formal para este tipo de pavimento por lo cual, esta es la razón de estudio.

El tráfico actual ha determinado que los pavimentos con acabados de adoquines labrados en piedra colapsen rápidamente con el consiguiente elevado costo de mantenimiento; lo que se pretende estudiar es una alternativa



en la cual se use el concepto de diseño de un pavimento rígido con acabado de adoquines de piedra; para ello se demostrará empíricamente cuál es el equivalente de una losa tradicional con respecto a un adoquín de piedra adosado a una losa como superficie de sustento.

CONCLUSIONES

- El análisis comparativo de la resistencia a la flexión de pavimentos adoquinados embebidos y colocados sobre losas de concreto nos permite determinar que la estructura óptima a tener en cuenta es la de una losa de concreto con adoquines labrados en piedra embebidos en esta losa, conformando así el único elemento monolítico.
- La resistencia de los pavimentos adoquinados con los adoquines embebidos en la losa de concreto supera la resistencia del pavimento adoquinado con los adoquines simplemente colocados sobre una losa de concreto.
- Realizando la comparación económica de un pavimento rígido y un pavimento con adoquines simplemente colocados o totalmente embebidos sobre una losa de concreto, se puede determinar que el pavimento rígido es más económico que el pavimento adoquinado. La variación en presupuesto supera el 75% del presupuesto original que tiene el pavimento rígido debido a la adición de adoquines labrados en piedra como elemento para el acabado del pavimento.

2.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

Si bien es cierto que la piedra laja es similar al adoquín, a nivel internacional en América Latina, existen otras investigaciones las cuales podemos citar:

2.1.2.1 AUTOR:

MARCO ANTONIO RUANO PAZ

TITULO:

“INSTRUCTIVO PARA PAVIMENTACIÓN CON ADOQUINES DE CONCRETO EN ÁREAS RURALES”

LUGAR:

Guatemala, Tesis de la Facultad de Ingeniería Civil realizada en la Universidad San Carlos de Guatemala, de año 1996.

**RESUMEN:**

Hace algunos años las calles con superficie de terracería no causaban ninguna preocupación o molestia en las poblaciones rurales del país, pues el volumen de tránsito no era significativo, restringiéndose al paso de unas cuantas unidades al día.

Sin embargo, durante los últimos años, con el desarrollo acelerado de la economía nacional, el tránsito vehicular en poblaciones rurales ha crecido a alturas demasiadas, consecuencia de ello, se cuenta con calles en malas condiciones de circulación, baches, polvo y lodazales.

Los pavimentos utilizados fueron, tradicionalmente, los empedrados con piedra bola cementada, los recubrimientos asfálticos y los de concreto tradicional o de losas regulares dimensiones.

Los empedrados han tenido relativo éxito en poblaciones pequeñas y han sido empleados en forma limitada, merced a su alto costo y a la necesidad de equipo y de una mano de obra muy calificada o especializada.

El sistema Adoquinado presenta las siguientes ventajas:

- Fabricación y colocación simple con personal no especializado y de poca calificación
- Facilidad para efectuar reparaciones
- Fabricación en lugar de obra con lo que se economiza el transporte de adoquines elaborados
- Costo inicial menor, comparado con el asfalto o losas de concreto
- Facilidad de remoción y reinstalación para obras de agua potable y drenajes.
- Ofrece una vista agradable al estar ya colocado.

CONCLUSIONES

- El pavimento con adoquín cumple con todos los requisitos para brindar un servicio bueno al tránsito vehicular y a los peatones.



- Es necesario darle mantenimiento respectivo para asegurar el servicio en condiciones óptimas de superficie y alargar su vida útil.
- En lo que respecta a mano de obra, existe la facilidad y economía para hacerlo en cualquier comunidad, la mayoría de materiales de fácil obtención.

2.1.2.2 AUTOR:

HÉCTOR RENÉ HERNÁNDEZ ANDRADE – CARLOS RAÚL HERNÁNDEZ ANDRADE

TITULO:

“ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO – MECÁNICAS EN ADOQUINES DE CONCRETO FABRICADOS CON ARENA CALIZA Y ARENA DE RÍO”

LUGAR:

Guatemala, Tesis de la Facultad de Ingeniería Civil realizada en la Universidad San Carlos de Guatemala, de año 1996.

RESUMEN:

La presente investigación trata sobre las propiedades físicos – mecánicas de los adoquines de concreto. En este estudio se utilizaron arena caliza y arena de río como agregados finos, que con adición de escoria de piedra triturada, con lo cual se buscó obtener mejores resultados en costo y calidad.

A la vez se compararon las propiedades físicos – mecánicas de los adoquines fabricados con las dos clases de agregados.

Determinando que la arena caliza en comparación con la del río, es un agregado de gran beneficio físico mecánicas.

Los adoquines fabricados pueden usarse en la pavimentación de las calles de tráfico liviano y pesado. La arena caliza como agregado fino y la adición de escoria de piedra triturada, generan una mayor impermeabilidad (debido a su menor porcentaje de absorción) y un mayor esfuerzo de compresión



CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos, de la resistencia a compresión, los cilindros de arena caliza a temprana edad alcanzan una resistencia alta, conforme el tiempo el incremento de su resistencia presenta una pendiente suave. Los cilindros de arena de río a temprana edad alcanzan una resistencia baja, conforme el tiempo el incremento de su resistencia presenta una pendiente alta.
- Analizando el porcentaje de absorción, que es una de las características físicas importantes, se concluye que cuando se aumenta el porcentaje de escoria de piedra triturada influye en gran parte a disminuir el porcentaje de absorción de los adoquines fabricados con arena de río, mientras que en los adoquines fabricados con arena caliza influye en mínima parte el porcentaje de absorción.
- Como la arena caliza presenta una buena gradación en su granulometría y mejores características físicas en general, en comparación con la arena de río, se observa que influye en mejores resultados de resistencia a la compresión y porcentaje de absorción, en la elaboración de adoquines de concreto.

2.2 ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES

2.2.1 EL CONCRETO

2.2.1.1 DEFINICIÓN

El concreto es el material constituido por la mezcla de ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. De esta definición se desprende que se obtiene un producto híbrido, que conjuga en mayor o menor grado las características de los componentes, que bien proporcionados, aportan una o varias de sus propiedades individuales para constituir un material que manifiesta un comportamiento particular y original.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 11)

El concreto es 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 cemento y 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 este.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

El concreto es un material heterogéneo el cual está compuesto principalmente de la combinación de cemento, agua y agregado fino y grueso. El concreto contiene un pequeño volumen de aire atrapado, y puede contener también aire intencionalmente incorporado mediante el empleo de un aditivo.

Igualmente en la mezcla de concreto también se utilizan otros aditivos para propósitos tales como acelerar o retardar el fraguado y el endurecimiento inicial mejorar la trabajabilidad; reducir los requisitos de agua de la mezcla; incrementar la resistencia o modificar otras propiedades del concreto.

(Rivva López, Tecnología del Concreto, 1992)

El concreto es una mezcla, adecuadamente dosificada, de cemento, agua y agregados finos y gruesos. Adicionalmente también puede tener en su composición aditivos, adiciones y fibra. En casos muy especiales se puede incorporar intencionalmente aire para incrementar su durabilidad en bajas temperaturas.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

El concreto es una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua. Es un material temporalmente plástico que puede colocarse o moldearse y, más tarde, se convierte en una masa sólida por reacción química. El usuario del concreto desea la resistencia adecuada, facilidad de colocación y durabilidad, al mínimo costo. El proyectista de concreto puede variar las proporciones de los cinco componentes dentro de los límites amplios, para lograr esos objetivos. Las variantes principales son la



relación agua – cemento, la proporción cemento – agregado, tipo de cemento y productos incluidos en la mezcla.

(S. Merritt, 1982)

2.2.1.2 IMPORTANCIA DEL CONCRETO

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

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

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

El concreto hecho con cemento portland tiene un uso extenso como material de construcción debido a sus muchas características favorables. Una de las más importantes es una alta relación resistencia – costo en muchas aplicaciones. Otra es que el concreto mientras este plástico, puede colocarse con facilidad dentro de formas o cimbras a temperaturas normales para producir casi cualquier forma.

La cara expuesta puede trabajarse a una superficie dura, lisa o áspera, capaz de soportar el efecto del desgaste por el tráfico de camiones o aviones o puede tratarse para crear los efectos arquitectónicos deseados. Además, el concreto tiene una alta resistencia al fuego y a la penetración del agua.



Tiene una aplicación en una gran variedad de construcciones, como estructuras para edificios, pisos y entrepisos, techos y muros, puentes, pavimentos, pilotes, presas y tanques.

(S. Merritt, 1982)

Las operaciones en la producción del concreto variarán de acuerdo con el género de obra que lo requiere y con el tipo de concreto que se produzcan.

Las etapas principales para la producción de un buen concreto son:

- Dosificación
- Mezclado
- Transporte
- Colocación
- Consolidación
- Curado

(Abanto Castillo, 2009, pág. 12)

2.2.1.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO

Las características del concreto de cemento portland pueden variarse en un grado considerable, mediante el control de sus ingredientes. Por tanto para una estructura específica, resulta económico utilizar un concreto que tenga las características exactas necesarias, aunque esté débil en otras. Por ejemplo, el concreto para una estructura de un edificio debe poseer alta resistencia a la compresión, mientras que el concreto para una cortina de presa debe ser durable y hermético y la resistencia relativa puede ser pequeña.

(S. Merritt, 1982)

Para cada caso particular de empleo se requieren en el concreto determinadas propiedades. Es por ello que el conocimiento de todas y cada una de las propiedades del concreto, así como de la interrelación entre ellas, es de importancia para el ingeniero el cual debe decidir, para cada caso particular de empleo del concreto, la mayor o menor importancia de cada una de ellas.

Al analizar las propiedades del concreto, el ingeniero debe recordar las limitaciones de las mismas en función de las múltiples variables que pueden

actuar sobre el concreto modificándolo. En este análisis es importante que el ingeniero recuerde que el concreto, como cualquier otro material, puede sufrir adicionalmente modificaciones en el tiempo y que puede claudicar por fallas atribuibles a problemas de durabilidad, aun cuando su resistencia haya sido la adecuada

En el análisis de las propiedades del concreto es importante recordar que ellas están íntimamente asociadas con las características y proporciones relativas de los materiales integrantes; que la calidad, cantidad y densidad de la pasta es determinante en las propiedades del concreto; y que la relación agua-cemento lo es sobre las características de la pasta.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

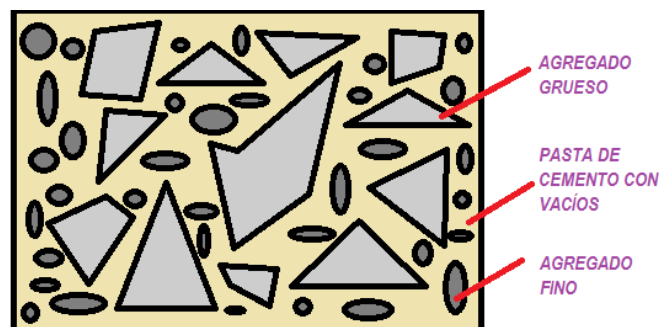
2.2.1.3.1 ESTRUCTURA INTERNA DEL CONCRETO

En la Figura N° 04, se puede apreciar el esquema típico de la estructura interna del concreto endurecido, que consiste en el aglomerante, estructura básica o matriz, constituida por la pasta de cemento y agua, que aglutina a los agregados gruesos, finos, aire y vacíos, estableciendo un comportamiento resistente debido en gran parte a la capacidad de la pasta para adherirse a los agregados y soportar esfuerzos de tracción y compresión, así como a un efecto puramente mecánico propiciado por el acomodo de las partículas inertes y sus características propias.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 129)

FIGURA N° 04

ESQUEMA TÍPICO DE LA ESTRUCTURA DEL CONCRETO ENDURECIDO



FUENTE: TÓPICOS DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



Una conclusión inmediata que se desprende del esquema, es que la estructura del concreto no es homogénea, y en consecuencia no es isotrópica, es decir no mantiene las mismas propiedades en diferentes direcciones.

Esto se debe principalmente a los diferentes materiales que intervienen, su variabilidad individual así como el proceso mismo de elaboración, en que durante la etapa en que la pasta es plástica, se posibilita el acomodo aleatorio de los diferentes componentes hasta su ubicación definitiva al endurecer.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 129)

2.2.1.3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

Las características del concreto pueden variarse en un grado considerable. Mediante el control de sus ingredientes. Por lo tanto para una estructura específica, resulta económico utilizar un concreto que tenga las características exactas necesaria, aunque este débil en otra.

(S. Merritt, 1982)

Las características del concreto han de ser en función del fin para el cual está definido. 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 López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

Las propiedades del concreto fresco son importantes porque afectan la calidad, la apariencia de la estructura terminada y su costo. Los materiales para el concreto deben elegirse no solo para obtener la resistencia necesaria sino también para producir concreto fresco que pueda trasportarse, colocarse, consolidarse y terminarse con facilidad.

(Abanto Castillo , 2000)



2.2.1.3.2.1 TRABAJABILIDAD

Se entiende por trabajabilidad a aquella propiedad del concreto al estado no endurecido la cual determina su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado y consolidado adecuadamente, con un mínimo trabajo y un máximo de homogeneidad; así como para ser acabado sin que se presente segregación.

(Rivva López, Tecnología del Concreto, 1992)

En cuanto a la cohesión (que evita la segregación), la finura es la única característica del cemento que puede aportar a esta. Existen otros factores para evitar que las mezclas se segreguen durante su manejo y colocación. Entre tales factores puede mencionarse la composición granulométrica y el tamaño máximo del agregado, los aditivos incorporadores de aire y el diseño de la mezcla de concreto.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

La trabajabilidad es una propiedad importante para muchas aplicaciones del concreto. Aunque la trabajabilidad resulta muy difícil de evaluar, en esencia, es la facilidad con la cual puede mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de la homogeneidad. Una característica de la trabajabilidad que los ingenieros tratan a menudo de medir es la consistencia o fluidez. Para este fin se hacen prueba de revenimiento.

(S. Merritt, 1982)

Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones.

No existe prueba alguna hasta el momento que permita cuantificar esta propiedad generalmente se le aprecia en los ensayos de consistencia.

(Abanto Castillo, 2009)

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto



depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 131)

Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el Slump o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump pero trabajabilidades notablemente diferentes en las mismas condiciones de trabajo.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 131)

- **ESTABILIDAD**

Es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la aplicación de fuerza extrañas.

Se cuantifica por medio de la exudación y la segregación, evaluadas con métodos estándar que permiten comparar dichas características entre varios diseños, siendo obvio que se debe buscar obtener los valores mínimos.

Es interesante notar que ambos fenómenos no dependen expresamente del exceso de agua en la mezcla sino del contenido de finos y de las propiedades adherentes de la pasta.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 134)

El cambio de volumen es otra característica del concreto que se debe tener en cuenta. La expansión debida a las reacciones químicas entre los ingredientes del concreto pueden ocasionar pandeo y la contracción al secarse puede ocasionar grietas.



La expansión debida a la reacción álcali – agregados que no sean reactivos. Si se debe usar agregados reactivos, la expansión puede reducirse o eliminarse añadiendo a la mezcla materiales puzolánicos, como la ceniza ligera.

(S. Merritt, 1982)

- **COMPACTABILIDAD**

Es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco.

Existen varios métodos que establecen el denominado “Factor de Compactación”, que evalúa la cantidad de trabajo que se necesita para la compactación total, y que consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, dividido entre la densidad del concreto compactado.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 135)

- **MOVILIDAD**

Es la facilidad del concreto a ser desplazado mediante la aplicación del trabajo externo. Se evalúa en función de la viscosidad, cohesión y resistencia interna al corte.

La viscosidad viene dada por la fricción entre las capas de la pasta de cemento, la cohesión es la fuerza de la adherencia entre la pasta de cemento y los agregados y la resistencia interna al corte la provee la habilidad de las partículas de agregados a rotar y desplazarse dentro de la pasta.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 137)

2.2.1.3.2.2 CONSISTENCIA

La consistencia es una propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose por ello que cuanto más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación.



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

(Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

La pérdida de consistencia o aumento de rigidez, de la pasta de concreto es entendido como el cambio del estado plástico al estado endurecido que una mezcla de concreto experimenta desde que sale de la mezcladora hasta que termina colocada y compactada en la estructura.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

Para condiciones de trabajo dadas, la evolución de la pérdida de consistencia también puede resultar influida por factores intrínsecos de la mezcla de concreto, tales como la consistencia o fluidez inicial de este, la humedad de los agregados, el empleo de determinados aditivos (plastificantes o superplastificantes) y las características y contenido unitario del cemento. La eventual contribución de estos factores intrínsecos, en el sentido de incrementar la pérdida normal de la consistencia del concreto es como se indica a continuación:

- Las mezclas de consistencia más fluida tienden a asentarse con mayor rapidez, debido a la evaporación en exceso de agua que contienen.
- El empleo de agregados porosos en condición seca tiende a reducir pronto la consistencia inicial, por efecto de su alta capacidad para absorber agua de la mezcla.
- El uso de algunos aditivos reductores de agua y superplastificantes acelera la reducción de la consistencia, como consecuencia de su reacción con algunos cementos. En relación con este factor es conveniente verificar oportunamente la compatibilidad entre el cemento y el aditivo cuyo uso se ha previsto.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

Está definida como el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada.

El ensayo de consistencia llamado también revenimiento o “Slump test”, es utilizado para caracterizar el comportamiento del concreto fresco. El ensayo consiste en consolidar una muestra de concreto fresco en un molde troncocónico, midiendo el asiento de la mezcla luego del desmoldado.

El comportamiento del concreto en la prueba indica su “consistencia” ó sea su capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, manteniéndose homogéneo con un mínimo de vacíos.

(Abanto Castillo , 2000)

TABLA N° 02
CLASES DE MEZCLAS SEGÚN SU ASENTAMIENTO

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD	METODO DE COMPACTACION
Seca	0" a 2"	poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	> 5"	muy trabajable	Chuseado

FUENTE: (Abanto Castillo , 2000)

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el Slump o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump pero trabajabilidad notablemente diferentes en las mismas condiciones de trabajo.

(S. Merritt, 1982)

En la actualidad se acepta una correlación entre la Norma Alemana y los criterios norteamericanos, considerándose que:

- A las consistencias secas corresponden asentamientos de 1" – 2" (25 mm a 50 mm)



- A las consistencias plásticas corresponden asentamientos de 3" – 4" (75 mm a 100 mm)
- A las consistencias fluidas corresponden asentamientos de 6" – 7" (150 mm a 175 mm)

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

El revenimiento de una mezcla puede aumentarse añadiendo agua o incrementando el porcentaje de finos (cemento o agregado), incluyendo aire o incorporando un aditivo que reduzca los requerimientos de agua. No obstante estos cambios afectan las propiedades del concreto, a veces en forma adversa. Por lo general, el revenimiento especificado debe dar la consistencia deseada con la mínima cantidad de agua y cemento.

(Laura, 2006)

2.2.1.3.2.3 SEGREGACIÓN

Las diferencias de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas desciendan, pero en general, la densidad de la pasta de los agregados finos es solo un 20% menor que la de los gruesos, lo cual sumado a la viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz.

Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración de la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 137)

La segregación es una propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es mismo, la separación del agregado grueso del mortero. Es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciendo en el elemento llenado, bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejeras, etc.



Generalmente procesos de manipulación y colocación son las causas del fenómeno de segregación en las mezclas.

La segregación es una función de la consistencia de la mezcla, siendo el riesgo mayor cuando más húmeda es esta y menor cuando más seca lo es.

(Abanto Castillo, Tecnología del Concreto, 2000)

La segregación es definida como la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

Esta definición es entendible si se considera que el concreto es una mezcla de materiales de diferentes tamaños y gravedades específicas, por lo que se generan al interior de las mismas fuerzas las cuales tienden a separar los materiales componentes cuando la mezcla aún no ha endurecido. El resultado de la acción de estas fuerzas es definido como segregación

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

2.2.1.3.2.4 ASENTAMIENTO Y EXUDACIÓN

Es la propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto.

Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla n° 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de la mezcla.



La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudieran tener.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 139)

Cuando el concreto queda en reposo, después de colocado y compactado dentro del encofrado, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir.

A estos fenómenos simultáneos se les llama respectivamente asentamiento y exudación, y cuando se producen en exceso se consideran indeseables porque provocan estratificación en la masa del concreto, según la cual se forma en la superficie superior una capa menos resistente y menos durable por su mayor concentración de agua.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

Esta condición resulta inconveniente en el caso de pavimentos de concreto ya que la capa superior debe ser apta para resistir los efectos de la abrasión mecánica.

Para evitar el asentamiento y la exudación del concreto es recomendable utilizar agregados de buena forma y textura superficial y adecuada composición granulométrica, en especial con un contenido de finos en la arena que cumpla con las especificaciones sobre la materia.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

Se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos. Este fenómeno se presenta momentos después de que el concreto ha sido colocado en el encofrado, en la medida en que a mayor temperatura mayor es la velocidad de exudación. Como producto del ascenso de una parte del agua de mezclado, se puede obtener un concreto poroso y poco durable.

(S. Merritt, 1982)

2.2.1.3.2.5 CONTRACCIÓN

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia.

Es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 140)

Los factores asociados con el agregado los cuales pueden afectar la contracción por secado del concreto son los siguientes.

- La rigidez, compresibilidad, o módulo de elasticidad del agregado. Cuanto mayor es el módulo de elasticidad del agregado mayor será la restricción ofrecida a la contracción de la pasta y menor la contracción del concreto.
- La granulometría, perfil, tamaño y limpieza de las partículas de agregado, todos estos factores que tienen influencia sobre la cantidad de pasta y agua requeridas por el concreto y la cantidad de agregado empleado en éste.
- Propiedades del agregado, tales como textura y porosidad, las cuales afectan la adherencia entre la pasta y el agregado.
- Arcilla en la superficie o interior del agregado, por su contribución a la contracción del agregado por secado y al incremento en la demanda de agua de la mezcla.
- Altos valores de absorción del agregado los cuales pueden favorecer la contracción por secado del concreto.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

La contracción al secar puede reducirse, casi siempre, disminuyendo agua en la mezcla. Ahora bien, con menor cantidad de cemento o con un curado cuidadoso en húmedo, también se reduce la contracción. Por el contrario la adición de puzolanas, salvo que permita una reducción de agua, aumenta la contracción al secar.

(S. Merritt, 1982)



Los ensayos para el concreto fresco son los de Medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams, Método de ensayo, según la NTP. 339.035-1999.

(Laura, 2006)

2.2.1.3.3 PROPIEDADES CONCRETO ENDURECIDO

- **ELASTICIDAD**

En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 141)

El concreto no es un material completamente elástico y la relación esfuerzo – deformación para una carga en constante incremento adopta generalmente la forma de una curva. Generalmente se conoce como Modulo de Elasticidad a la reacción del esfuerzo a la deformación medida en el punto donde la línea se aparta de la recta y comienza a ser curva.

(Rivva López, Tecnología del Concreto, 1992)

Las investigaciones han permitido determinar que el módulo de elasticidad del concreto es una función del módulo de elasticidad de sus constituyentes y que, para una pasta dada, el módulo de elasticidad del agregado tiene un efecto menor sobre el módulo de elasticidad del concreto que aquel que puede ser estimado a partir de las proporciones volumétricas del agregado en el concreto.

(S. Merritt, 1982)

- **RESISTENCIA Y DURABILIDAD**

La resistencia del concreto no puede probarse en condición plástica, por lo que el procedimiento acostumbrado consiste en tomar muestras durante el mezclado las cuales después de curadas se someterán a pruebas de compresión. El concreto debe ser capaz de resistir a la



intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por la intemperie sufrido por el concreto pueden atribuirse ciclos de congelación y descongelación.

(Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación Agua/Cemento en peso.

La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de las pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 141)

El concreto debe ser capaz de endurecer y mantener sus propiedades en el tiempo aun en aquellas condiciones de exposición que normalmente podrían disminuir o hacerle perder su capacidad estructural. Por lo tanto se define como el concreto durable a aquel que pueda resistir, en grado satisfactorio, los efectos de las condiciones de servicio a las cuales él está sometido.

(Abanto Castillo , 2000)

El empleo de relaciones de agua – cemento bajas deberá prolongar la vida del concreto al reducir el volumen de poros capilares, incrementar la relación gel – espacio y reducir la permeabilidad y absorción; disminuyendo por todas las razones expuestas la posibilidad de penetración de agua o líquidos agresivos.

La incorporación de aire igualmente incrementa la durabilidad por reducción de la capilaridad y disminución del volumen y sección del

canal de agua, o poros capilares, del concreto endurecido por la disminución de la exudación y segregación del concreto fresco.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

- **EXTENSIBILIDAD**

Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 143)

- **IMPERMEABILIDAD**

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

(Abanto Castillo , 2000)

2.2.1.4 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

Entre las características que hacen del concreto un material de construcción universal, tenemos:

- La facilidad con que puede colocarse dentro de los encofrados de casi cualquier forma mientras aún tiene una consistencia plástica.
- Su elevada resistencia a la compresión lo que le hace adecuado para elementos sometidos fundamentalmente a compresión, como columnas y arcos.
- Su elevada resistencia al fuego y a la penetración del agua.

(Abanto Castillo, 2009, pág. 11)

2.2.1.5 NATURALEZA DEL CONCRETO

Como ya se indicó, el concreto convencional es una mezcla de los componentes esenciales (cemento, agua y agregados finos y gruesos) a los



cuales puede incorporarse aditivos, adiciones y fibra. Al mezclar estos componentes se introduce de manera simultánea un nuevo participante el “aire atrapado” el cual está presente así el concreto haya sido compactado

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

En el concreto recién mezclado todos los sólidos granulares están separados temporalmente por delgadas capas de agua. Esta separación de las partículas y el efecto lubricante de las capas de agua junto con las fuerzas actuantes entre ellas, hacen que la mezcla sea manejable.

El comportamiento mecánico del concreto y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento.
- La calidad de los agregados en el sentido más amplio (dureza, granulometría, perfil, textura superficial, módulo de finura, limpieza, etc.)
- La afinidad de la pasta con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

Tiene un uso extenso como material de construcción debido a sus muchas características favorables. Una de la más importante es la resistencia – costo en muchas aplicaciones. Otra es que el concreto, mientras este plástico, puede colocarse con facilidad dentro de formas o cimbras a temperaturas normales para producir cualquier forma.

(S. Merritt, 1982)

2.2.1.6 ECONOMÍA

El costo del concreto es la suma del costo de los materiales, de la mano de obra emplea y el equipamiento. Sin embargo excepto para algunos concretos especiales, el costo de la mano de obra y el equipamiento son muy independientes del tipo y calidad del concreto producido. Por lo tanto los costos de los materiales son los más importantes y los que se deben tomar en cuenta para comparar mezclas diferentes.

Debido a que el cemento es más costoso que los agregados, es claro que minimizar el contenido del cemento en el concreto es el factor más importante para reducir el costo del concreto. En general, esto puede ser hecho del siguiente modo:

- Utilizando el menor slump que permita una adecuada colocación.
- Utilizando el mayor tamaño máximo del agregado (respetando las limitaciones indicadas en el capítulo anterior)
- Utilizando una relación óptima del agregado grueso al agregado fino.
- Y cuando sea necesario utilizando un aditivo conveniente.

Es necesario además señalar que en adición al costo, hay otros beneficios relacionados con un bajo contenido de cemento. En general, las contradicciones serán reducidas y habrá menor calor de hidratación.

Por otra parte un muy bajo contenido de cemento, disminuirá la resistencia temprana del concreto y la uniformidad del concreto será una consideración crítica.

La economía de un diseño de mezcla en particular también debería tener en cuenta el grado de control de calidad que se espera en obra. Como discutiremos en capítulos posteriores, debido a la variabilidad inherente del concreto, la resistencia promedio del concreto producido debe ser más alta que la resistencia mínima especificada. Al menos en pequeñas obras, podría ser más barato “sobre diseñar” el concreto que implementar el extenso control de calidad que requeriría un concreto con una mejor relación costo - eficiencia.

(Laura, 2006)

2.2.1.7 COMPONENTES DEL CONCRETO

La tecnología del concreto moderna define para este material cuatro componentes: Cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y el aire como elemento pasivo.

Analizando la siguiente figura en que se esquematizan las proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto, concluiremos en que el cemento es el ingrediente activo que interviene en menor cantidad, pero sin

embargo es el que define las tendencias del comportamiento, por lo que es obvio que necesitamos profundizar en este aspecto que está muy ligado a las reacciones químicas que se suceden al entrar en contacto con el agua y los aditivos.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 13)

FIGURA N° 05
PROPORCIONES TÍPICAS DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

AIRE = 1% a 3%
CEMENTO = 7 % a 15%
AGUA = 15% a 22%
AGREGADOS = 60% a 75%

FUENTE: TÓPICOS DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO

2.2.1.7.1 EL CEMENTO

2.2.1.7.1.1 DEFINICIÓN

Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

En el sentido más amplio, la palabra cemento indica un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas.



Esta definición, no solo abarca los cementos propiamente dichos, sino una gran variedad de materiales de cementación tales como las cales, los asfaltos y los alquitranes.

En el medio de la construcción, y más específicamente en el de la fabricación de concreto para estructuras, es reconocido que al mencionar cemento portland, o cemento a base de portland, el cual tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, ya que con ella experimenta una reacción química. Este proceso se llama hidratación, por lo cual son también llamados cementos hidráulicos.

(Sánchez De Guzmán, 2001)

2.2.1.7.1.2 EL CEMENTO PORTLAND

El concreto del cemento portland es el material de construcción más importante en que se emplea un aglomerante. El conocimiento de los factores que influyen en los componentes del concreto, o sea, el cemento portland y los agregados son esenciales en la producción del concreto y su comportamiento.

(S. Merritt, 1982)

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.

(Frederik, 1988)

2.2.1.7.1.3 CLINKER PORTLAND

El Clinker es fabricado mediante un proceso que comienza por combinar una fuente de cal, tal como las calizas, una fuente de sílice y alúmina, como las arcillas, y una fuente de óxido de hierro, tal como el mineral de hierro. Una mezcla adecuadamente dosificada de los materiales crudos es finamente molida y luego calentada a una temperatura suficientemente alta, alrededor de los 1500 C, a fin que se produzcan las reacciones entre los componentes del cemento.



El producto obtenido del horno es conocido como Clinker de cemento portland. Después de enfriado, el Clinker es molido con una adición de cerca del 6% de sulfato de calcio (yeso) para formar el cemento portland.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

Los elementos portland se elaboran con la incorporación de una mezcla de materiales calcáreos (piedra caliza) y arcillosos. La materia prima se dosifica con todo cuidado para tener las cantidades correctas de cal, sílice, óxido de aluminio y óxido de hierro. Después de triturarlos para facilitar la calcinación, la materia prima se pasa a un largo horno giratorio, que se mantiene a una temperatura alrededor de 2700°F. La materia prima, durante su calcinación, sufre una reacción química y forma nodos duros, del tamaño de una nuez, de un nuevo material llamado Clinker.

(S. Merritt, 1982)

2.2.1.7.1.4 CEMENTO PORTLAND NORMAL

El cemento portland normal es el 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.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

El Clinker, después de descargarlo del horno y enfriarlo, se tritura para formar un polvo fino (no menos de 1600 cm² por gramo de superficie específica). Durante este proceso de trituración, se agrega un retardador (por lo general un pequeño porcentaje de yeso) para controlar la velocidad de fraguado en el momento en que se hidrate el cemento. El polvo fino resultante es el cemento portland.

(S. Merritt, 1982)

Material Pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como el en aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos.

(Reglamento Nacional de Edificaciones, 2015)

2.2.1.7.1.5 TIPOS DE CEMENTO Y SUS APLICACIONES

El cemento portland, en general al cambiar su composición química y sus propiedades físico – mecánicas, se pueden obtener características diferentes cuando se hidrata, dando lugar a diferentes tipos de cemento.

(Sánchez De Guzmán, 2001)

Los cementos Portland, por lo general, se fabrican en cinco tipos cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de la especificación ASTM de normas para el Cemento Portland (C150). Los tipos se distinguen según los requisitos tanto físicos como químicos. La mayoría de los cementos superan los requisitos de resistencia de la especificación en un margen muy satisfactorio.

(S. Merritt, 1982)

Los tipos de cemento portland que podemos calificar de standard, ya que su fabricación está normada por requisitos específicos son:

- **TIPO I**

De uso general, donde no se requieren propiedades especiales.

(American Society for Testing Materials, 1986)

Cemento para usos generales, es el que más se emplea para fines estructurales cuando no se requieran las propiedades especiales especificadas para los otros cuatro tipos de cemento.

(S. Merritt, 1982)

Se usa donde el cemento o concreto no está sujeto a ataques específicos, como los sulfatos del suelo o del agua, o a elevaciones perjudiciales de temperatura, debido al calor generado por la hidratación. Entre sus usos se incluyen pavimentos y aceras, edificios de concreto



reforzado, puentes, estructuras para ferrocarriles, tanques y depósitos, alcantarillas, tuberías para agua, etc.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

- **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.

(American Society for Testing Materials, 1986)

Cemento modificado para usos generales y se emplea cuando se prevé una exposición moderada al ataque por sulfatos o cuando se requiere un calor moderado de hidratación. Adquiere resistencia con más lentitud que el Tipo I; pero, a final de cuentas, alcanza la misma resistencia.

(S. Merritt, 1982)

De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación especialmente adecuados para ser empleados en estructuras en ambientes agresivos y/o vaciados masivos. En estructuras de drenaje en las que las concentraciones de sulfatos en las aguas subterráneas son algo más elevadas de lo normal, pero normalmente no muy graves

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

Recomendables en las estructuras de gran masa, como las grandes pilas, estribos gruesos y muros de contención gruesos. Con su empleo se disminuye al mínimo la elevación de temperatura, lo que es especialmente importante cuando el concreto se usa en climas cálidos.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

- **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.

(American Society for Testing Materials, 1986)



Cemento de alta resistencia inicial, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción. El concreto desarrollado hecho con el cemento Portland tipo II desarrolla una resistencia en tres días, igual a la desarrollada en 28 días por concretos hechos con cemento tipo I o tipo II. Dado que tiene un gran desprendimiento de calor, no se debe usar en grandes volúmenes.

(S. Merritt, 1982)

De desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Especiales para uso en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicios de las estructuras, desencofrar rápidamente o para uso en climas fríos al permitir disminuir el periodo de curado. Se estima que puede proporcionar el endurecimiento del concreto mejor y/o más económicamente (no se fabrica en el Perú)

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

- **TIPO IV**

De bajo calor de hidratación. Para concreto masivo.

(American Society for Testing Materials, 1986)

Cemento de bajo calor de hidratación. Se ha perfeccionado para usarse en concreto de volúmenes. Si se utiliza cemento portland tipo I en volúmenes grandes que no pueden perder calor por radiación, este desprende suficiente calor durante la hidratación aumentando la temperatura del concreto. Esto causa un aumento relativamente grande de las dimensiones mientras que el concreto está todavía en estado plástico; posteriormente, su enfriamiento diferencial después de endurecer ocasiona que se produzcan grietas por contracción. El bajo calor de hidratación se logra limitando los compuestos que más influyen en la formación de calor por hidratación. Dado que estos compuestos también producen la resistencia inicial de la mezcla de cemento, al limitarlos se tiene una mezcla que gana resistencia con lentitud.

(S. Merritt, 1982)



De bajo calor de hidratación este cemento debe emplearse donde el grado y la cantidad de calor generado se debe reducir al mínimo recomendable para concreto masivos. Su ganancia de resistencia es más lenta que la del cemento tipo I. Sus propiedades son necesarias para emplearse en estructuras de concreto de gran masa, como grandes presas de gravedad, en las que la elevación producida en la temperatura por el calor generado durante el endurecimiento es un factor crítico, (no se fabrica en el Perú).

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

- **TIPO V**

Alta resistencia a los sulfatos. Para ambientes muy agresivos.

Cuando a los tres primeros tipos de cemento se les adiciona el sufijo “A”, significa que son cementos a los que se les ha añadido incorporadores de aire en su composición, manteniendo las propiedades originales.

(American Society for Testing Materials, 1986)

Cemento resistente al sulfato y se especifica cuando hay exposición constante a sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y en estructuras expuestas al mar.

(S. Merritt, 1982)

Recomendables para ambientes muy agresivos por su alta resistencia a los sulfatos. Y se emplea únicamente en aquellos casos en que la concentración de sulfatos es mayor a 10.000 ppm, recomendándose su empleo conjuntamente con una adición puzolánica. Su resistencia aumenta más lentamente que el cemento tipo I o Normal.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

Es interesante destacar los cementos denominados “mezclados o adicionados” dado que algunos de ellos se usan en nuestro medio:



- **TIPO IS**
Cemento al que se ha añadido entre un 25% a 70% de escoria de altos hornos referidos al peso total.
- **TIPO ISM**
Cemento al que se ha añadido menos de 25% de escoria de altos hornos referidos al peso total.
- **TIPO IP**
Cemento al que se ha añadido puzolana en un porcentaje que oscila en un porcentaje que oscila entre el 15% y 40% del peso total.
- **TIPO IPM**
Cemento al que se ha añadido puzolana en un porcentaje hasta del 15% del peso total.

Todos estos cementos tienen variantes en que se les añade aire incorporado (sufijo “A”), se induce resistencia moderada a los sulfatos (sufijo “M”), o se modera el calor de hidratación (sufijo “H”).

(American Society for Testing Materials, 1986)

2.2.1.7.1.6 EL CEMENTO PUZOLÁNICO

Este cemento es el que se obtiene mediante la pulverización conjunta de Clinker portland y puzolana, o de una mezcla íntima y uniforme de cemento portland y puzolana finalmente pulverizada con adición de sulfato de calcio. El contenido de puzolana debe estar comprendido entre el 15% y el 50% en masa de la masa total.

(Sánchez De Guzmán, 2001)

Los cementos portland puzolánicos incluyen cuatro tipos (IP, IP-A, P y P-A), el segundo y el cuarto contienen un aditivo incorporador de aire. Estos cementos se emplean principalmente cuando se desean bajas temperaturas de hidratación, casos de estructuras hidráulicas grandes como presas y pilares de puentes.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)



Es aquel al cual se le ha añadido puzolana. Las puzolanas son materiales inertes silíceos y/o aluminosos, que individualmente tienen propiedades aglomerantes casi nulas, pero que finamente molidas y al reaccionar químicamente con hidróxidos de Calcio y agua adquieren propiedades cementantes. Las puzolanas se obtienen por lo general de arcillas calcinadas, tierras diatomáceas, tufos y cenizas volcánicas, y de residuos industriales como cenizas volátiles, ladrillo pulverizado, etc.

La introducción de los cementos puzolánicos y puzolánicos modificados en nuestro medio, ha traído beneficios desde el punto de vista que tienen ventajas referidas a durabilidad, además de ser ventajosos para el fabricante pues al reemplazar al cemento por puzolana abarata sus costos.

(Pasquel Carbajal, 1993)

- **LAS PUZOLANAS**

Las puzolanas naturales se incorporan al cemento principalmente debido a su capacidad de reaccionar en presencia del hidróxido de calcio y el agua, permitiendo un incremento en edades posteriores, disminución del contenido de cemento, modificación del color, incremento en la durabilidad en presencia de sulfatos o cloruros, e inhibición de la reacción álcali-agregados.

Las desventajas incluyen una menor resistencia inicial, un tiempo de curado más largo, incremento en los requerimientos de agua, y problemas derivados del manejo de un material adicional.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

Las puzolanas son definidas por la recomendación ACI 116R como “Un material silicio o silicio y aluminio, el cual en sí mismo posee pequeño o ningún valor cementante pero que cuando esta finamente dividido y en la presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura normal para formar compuestos que poseen propiedades cementantes”. Las puzolanas naturales son definidas como “Materiales naturales ya sean crudos o calcinados que tienen

propiedades puzolánicas e incluyen las cenizas volcánicas, la piedra pómez, el horsteno opalino y los esquistos, tufas, y algunas tierras diatomeas.

Las puzolanas naturales generalmente incrementan la cohesividad de la mezcla al producir una pasta más plástica que permite que el concreto consolide fácilmente y fluya libremente bajo vibración. El incremento en la cohesividad también ayuda a reducir la segregación.

Los cementos y las puzolanas contribuyen a la resistencia no solamente debido a la composición química sino también a sus características en término de acomodo de partículas.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014).

FIGURA N° 06 PUZOLANA DE LA CANTERA DE RAQCHI - CUSCO



FUENTE: PROPIA

- **TIPOS DE CEMENTOS PORTLAND PUZOLANICOS**

En el Perú se fabrican los tipos IP, APM, IS e ISM. La justificación de la fabricación de los «cementos adicionados» es la necesidad, por una parte, de diluir la presencia del Clinker en el conglomerante, cuyos

productos hidrolizados pueden ser atacados según las circunstancias por agentes agresivos diversos, y producir la destrucción del concreto.

Por otra parte, la conveniencia de reducir, con esta dilución, el calor desarrollado en la hidrólisis, que actúa desfavorablemente en la puesta en obra de grandes masas de concreto, elevando su temperatura como consecuencia del bajo grado de conductividad térmica del concreto (entre 0,002 y 0,004 cal/cm/°C) En el enfriamiento se producen contracciones importantes que pueden dar lugar a la formación de fisuras.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

- El cemento Tipo IP es un cemento al cual se ha añadido puzolana en un porcentaje que oscila entre el 15% y el 40% del peso total.
- El cemento Tipo IPM es un cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje menor del 15% del peso total
- El cemento Tipo IS es un cemento al cual se le ha añadido entre 25% y 75% de escoria de altos hornos referido al peso total.
- El cemento Tipo ISM es un cemento al cual se ha añadido menos del 25% de escoria de altos hornos referida al peso total.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

2.2.1.7.2 EL AGUA

2.2.1.7.2.1 EL AGUA EN EL CONCRETO

El agua es el 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 el concreto.

(Philip, 1990)



El agua es un elemento fundamental en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido.

(Abanto Castillo, 2009)

El agua presente en la mezcla de concreto reacciona químicamente con el material cementante para lograr:

- La formación de gel
- Permitir que el conjunto de la masa adquiriera las propiedades que:
 - ✓ En estado no endurecido faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma; y
 - ✓ En estado endurecido se convierta en un producto de las propiedades y características deseadas.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

Adicionalmente, el agua empleada no deberá contener sustancias que puedan producir efectos desfavorables sobre el fraguado, la resistencia, la durabilidad o apariencia del concreto, o sobre los elementos metálicos embebidos en este.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088 y ser, de preferencia, potable.

Está prohibido el empleo de aguas ácidas; calcáreas; minerales; carbonatadas; aguas provenientes de minas o relaves; aguas que contengan residuos minerales o industriales; aguas con contenido de sulfatos mayor de 1%; aguas que contengan algas, materia orgánica, humus, o descargas de desagües; aguas que contengan azúcares o sus derivados.

(Abanto Castillo, 2009)

2.2.1.7.2.2 EL AGUA EN LA MEZCLA

El agua del mezclado está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen



unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez , que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico.

(Sánchez De Guzmán, 2001)

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto
- 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 del 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.

Los efectos más perniciosos que puedan esperarse de aguas de mezcla con impurezas son: retardo en el endurecimiento, reducción de la resistencia, manchas en el concreto endurecido, eflorescencias, contribución a la corrosión del acero, cambios volumétricos, etc.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 59)

El agua de hidratación es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel. Es también llamada no evaporable porque en una porción de pasta hidratada se conserva 0% de humedad y 110°C de temperatura.

(Rivva López, Tecnología del Concreto, 1992)

2.2.1.7.2.3 EL AGUA EN EL 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.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 65)

Las condiciones de curado son vitales para el desarrollo de la resistencia del concreto. Dado que estas reacciones de hidratación del cemento solo ocurren en presencia de una cantidad adecuada de agua, se debe mantener la humedad en el concreto durante el periodo de curado. La temperatura del curado también afecta la resistencia del concreto. Se requieren periodo largos de curado húmedo a temperaturas muy bajas, para desarrollar una resistencia dada. Aunque el curado continuo a temperaturas elevadas produce un desarrollo más rápido de resistencia hasta los 28 días, con una edad mayor se invierte la tendencia; el concreto curado a temperaturas muy bajas desarrolla resistencias más grandes.

(S. Merritt, 1982)

Con respecto al curado el agua que es satisfactoria para el mezclado también lo es para el curad. Sin embargo la materia orgánica o ferrosa puede causar manchas, particularmente si el agua fluye lentamente sobre el concreto y se evapora rápidamente.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

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

Se define como tiempo de curado al período durante el cual el concreto es mantenido en condiciones de humedad y temperatura tal corno para lograr la hidratación del cemento en la magnitud que se desea para alcanzar la resistencia seleccionada.

(Sánchez De Guzmán, Tecnología del Concreto y del Mortero, 2001)



2.2.1.7.3 LOS AGREGADOS

2.2.1.7.3.1 LOS AGREGADOS EN EL CONCRETO

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la norma NTP 400.011-2008. Los agregados son la fase discontinua del concreto.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

Se definen los agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente. Ocupan alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total, luego la calidad de estos tienen una importancia primordial en el producto final.

La denominación de inertes es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductividad, durabilidad, etc.

Están constituidos usualmente por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o combinaciones de ellos y sus características físicas y químicas tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto.

La distribución volumétrica de las partículas tiene gran trascendencia en el concreto para obtener una estructura densa y eficiente así como una trabajabilidad adecuada. Está científicamente demostrado que debe haber un ensamble casi total de las partículas, de manera que las más pequeñas ocupen los espacios entre las mayores y el conjunto esté unido por la pasta de cemento.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 69)



Es importante que los agregados tengan buena resistencia, durabilidad y que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, que puedan debilitar el enlace con la pasta de cemento.

(Abanto Castillo, 2009, pág. 23)

El agregado debe estar constituido por partículas limpias y adecuadamente conformadas; que en su estructura deben entrar materiales resistentes y durables; que debe poseer una granulometría adecuada; que debe tener límites en su capacidad de absorción y de partículas inconvenientes; que debe ser resistente a la abrasión; que debe tener inalterabilidad de volumen, que debe ser capaz de resistir cambios físicos o químicos que podrían originar rajaduras, hinchazón o ablandamiento del concreto, etc.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

Los agregados finos y gruesos seleccionados deberán ser manejados como materiales independientes. Cada tamaño de agregado grueso o la combinación de tamaños deberá cumplir con los requisitos de granulometría de las normas NTP 400.037 o ASTM C 33.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

Un agregado es físicamente sano si retiene la estabilidad en su forma con cambios de temperatura o humedad y resiste la acción de la intemperie sin descomponerse. Para que un agregado pueda considerarse de resistencia adecuada, debe ser capaz de desarrollar toda la resistencia propia del aglomerante. Cuando la resistencia al desgaste es importante, el agregado debe ser duro y tenaz. Las partículas planas o alargadas perjudican la docilidad del concreto, debido a la cual es necesario utilizar mezclas con más arena y, en consecuencia, más cemento y agua.

(S. Merritt, 1982)

Los agregados seleccionados deberán ser procesados, transportados, manipulados, almacenados y dosificados de manera tal de garantizar que:

- La pérdida de finos sea mínima;
- Se mantendrá la uniformidad del agregado;



- No se producirá contaminación con sustancias extrañas;
- No se producirá rotura o segregación importante en ellos.

(Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

Como agregados para el concreto se pueden considerar todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia al grano), no perturban ni afectan las propiedades y características del concreto y garantizan su adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Portland.

(Sánchez De Guzmán, 2001)

Los agregados constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto. El termino agregado comprende las arenas, gravas naturales y la piedra triturada utilizadas para preparar morteros y concretos y también se aplica a los materiales especiales utilizados para producir concretos ligeros y pesados.

(S. Merritt, 1982)

2.2.1.7.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO

- **POR SU PROCEDENCIA**
 - **AGREGADOS NATURALES**

Son los formados por los procesos geológicos naturales que han ocurrido en el planeta durante miles de años, y que son extraídos, seleccionados y procesados para optimizar su empleo en la producción del concreto.

Estos agregados son los de uso más frecuente a nivel mundial y particularmente en nuestro país por su amplia disponibilidad tanto en calidad como en cantidad, lo que los hace ideales para producir concreto.

- **AGREGADOS ARTIFICIALES**

Proviene de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto.

Algunos agregados de este tipo, los constituyen la escoria de altos hornos, la arcilla horneada, el concreto reciclado, la microsílíce, etc. El potencial de uso de estos materiales es muy amplio.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 70)

- **POR SU GRADACIÓN**

La gradación es la distribución volumétrica de las partículas en el concreto. Se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y menores de 4.75 mm (Malla Standard ASTM # 4) Esta clasificación responde además a consideraciones de tipo práctico ya que las técnicas de procesamiento de los agregados (zarandeo, chancado) propenden a separarlos en esta forma con objeto de poder establecer un control más preciso en su procesamiento y empleo.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 70)

- **AGREGADOS FINOS**

El agregado fino consistirá en arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambas; definiéndosele como aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa la malla de 3/8" y cumple con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

El agregado fino estará compuesto de partículas limpia, de un perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente; libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

Los cambios en la granulometría de la arena de gran variación tienen poco efecto sobre las resistencias a la compresión de los morteros y concreto cuando se mantienen constantes en la proporción agua – cemento y el revenido. Ahora bien estos cambios en la granulometría de

la arena ocasionan que el contenido de cemento varía en relación inversa con el módulo de finura de la arena. Aunque este cambio en contenido de cemento es pequeño, la granulometría de la arena tiene marcada influencia en la docilidad y calidad de acabado del concreto

(S. Merritt, 1982)

Según la Definición De La Norma (NTP 400.037.- Especificaciones Normalizadas para agregado en Hormigon (Concreto), 2014)

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados en la norma NTP 400.037. Es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- ✓ La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas N° 4, N° 8, N° 16, N°30, N° 50 y N° 100 de la serie Tyler.
- ✓ El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.
- ✓ En general, es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites:

(Indecopi, 2014)

TABLA N° 03
LÍMITES GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO

MALLA	% QUE PASA
3/8"	100
N° 4	95 - 100
N° 8	80 - 100
N° 16	50 - 85
N° 30	25 - 60
N° 50	05 - 30
N° 100	0 - 10

FUENTE: (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

El porcentaje indicado en las malla N° 50 y N° 100 podrá ser reducido a 5% y 0% respectivamente, si el agregado es empleado en concretos con aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor de 225 kg/cm³, o en concretos sin aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor

de 300 Kg/m³ o si se emplea un aditivo mineral para suplir la deficiencia en el porcentaje que pasa estas mallas.

(Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes límites:

TABLA N° 04
PORCENTAJE DE PARTICULAS INCONVENIENTES EN EL
AGREGADO FINO

Lentes de arcilla y partículas desmenuzables	3%
Material más fino que la Malla N° 200	
a) Concreto sujetos a abrasión	3%
b) Otros concretos	5%
Carbón	
a) Cuando la apariencia superficial del concreto es importante	0,5%
b) Otros concretos	1%

FUENTE: (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

Para que el concreto tenga una adecuada trabajabilidad, las partículas de agregado grueso deben estar espaciadas de manera tal que puedan moverse con relativa facilidad, durante los procesos de mezclado y colocación. En este sentido, el agregado fino actúa como lubricante del agregado grueso, ayudándolo a distribuir toda su masa.

(Abanto Castillo, Tecnología del Concreto, 2000)

- **AGREGADOS GRUESOS**

Se define como el agregado grueso al material retenido en el Tamiz NTP 4.75 mm (N° 4) y que cumple con los límites establecidos en la norma 400.037 o ASTM C 33.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

El agregado grueso podrá consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos podrá ser natural o artificial.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

Las gravas, comúnmente llamados “canto rodado”, es el conjunto de fragmentos pequeños de piedra, provenientes de la desintegración, natural de las rocas, por acción del hielo y otros agentes atmosféricos, encontrándoseles corrientemente en canteras y lechos de ríos depositados en forma natural.

(Sánchez De Guzmán, 2001)

La piedra partida o chancada, es el agregado grueso obtenido por la trituración artificial de las rocas o gravas. Como agregado grueso se puede usar cualquier clase de piedra partida siempre que sea limpia, dura y resistente.

Su función principal es de dar volumen y aportar su propia resistencia. Los ensayos indican que la piedra chancada o partida da concretos ligeramente más resistentes que los hechos con piedra redonda.

(Sánchez De Guzmán, 2001)

El agregado grueso por lo general, se escoge hasta el tamaño máximo que resulte practico para un trabajo; siendo el límite superior normal de 6 pulgadas. Cuanto mayor sea el tamaño máximo del agregado grueso, menos agua y cemento se requerirán para producir concreto de una calidad dada.

(S. Merritt, 1982)

Según la Definición De La Norma (Indecopi, 2014)

El agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites especificados en la Norma NTP 400.037 o en la Norma ASTM C 33. Es recomendable tener en consideración lo siguiente:

- ✓ La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- ✓ La granulometría seleccionada deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

- ✓ La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla 1 1/2" y no más del 6% del agregado que pasa la malla 1/4".

(Indecopi, 2014)

Los límites especificados en la norma son:

TABLA N° 05
LÍMITES GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO

Huso	Tamaño Máximo Nominal	Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso													
		Porcentaje que pasa por las Tamices Normalizados													
		100 mm 4 pulg.	90 mm 3 1/2 pulg.	75 mm 3 pulg.	63 mm 2 1/2 pulg.	50 mm 2 pulg.	37,5 mm 1 1/2 pulg.	25,0 mm 1 pulg.	19,0 mm 3/4 pulg.	12,5 mm 1/2 pulg.	9,5 mm 3/8 pulg.	4,75 mm N° 4	2,36 mm N° 8	1,18 mm N° 16	300 mm N° 50
1	90 mm a 37,5 mm	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 15	---	---	---	---	---	---
2	63 mm a 37,5 mm	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	50 mm a 25,0 mm	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 15	---	---	---	---	---
357	50 mm a 4,75 mm	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	37,5 mm a 19,0 mm	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	---	0 a 5	---	---	---	---
467	37,5 mm a 4,75 mm	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	25,0 mm a 9,5 mm	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	25,0 mm a 9,5 mm	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	25,0 mm a 4,75 mm	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	19,0 mm a 9,5 mm	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	19,0 mm a 4,75 mm	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	12,5 mm a 4,75 mm	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	9,5 mm a 2,36 mm	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	9,5 mm a 1,18 mm	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	25 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4,75 mm a 1,18 mm	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

FUENTE: (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

El agregado grueso estará conformado por fragmentos cuyo perfil será preferentemente angular o semiangular, limpios, duros, compactos, resistentes, de textura preferentemente rugosa, y libres de material escamoso, materia orgánica, partículas blandas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, sales u otras sustancias dañinas.

(Rivva López, Tecnología del Concreto, 1992)

El módulo de fineza del agregado grueso, es menos usado que el de la arena, para el cálculo se usa el mismo criterio que de la arena, o sea se suman los porcentajes acumulativos retenidos en las mallas de la serie estándar y se divide la suma por 100.

(Abanto Castillo, Tecnología del Concreto, 2000)

La resistencia a la compresión del agregado grueso no deberá ser menor de 600 kg/cm², ni el doble del $F'c$ de diseño, hasta valores de $F'c$ menores de 800 Kg/cm². Para valores mayores la resistencia a la compresión del agregado grueso no será menor de 1.25 veces el de la resistencia en compresión del concreto.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado grueso no deberá exceder de los siguientes valores:

TABLA N° 06
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS INCONVENIENTES EN EL
AGREGADO GRUESO

Arcilla	0,25%
Partículas deleznales	5,00%
Material más fino que la malla N° 200	1,00%
Carbón y lignito:	
a) Cuando el acabado superficial del concreto es de importancia	0,50%
b) Otros concretos	1,00%

FUENTE: (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

El agregado grueso empleado para pavimentos, en estructuras sometidas a procesos de erosión, abrasión o cavitación, no deberá tener una pérdida mayor del 50% en el ensayo de abrasión realizado de acuerdo a las Normas 400.019 o 400.020, o a la Norma ASTM C-131 (2014)

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

- **POR SU DENSIDAD**

Entendiendo densidad como la Gravedad específica, es decir el peso entre el volumen de los sólidos referido a la densidad del agua, se acostumbra clasificarlos en normales con $G_e=2.5$ a 2.75 , ligeros con $G_e<2.5$ y pesados con $G_e>2.75$. Cada uno de ellos marca comportamientos diversos en relación al concreto, habiéndose establecido técnicas y métodos de diseño y uso para cada caso.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 72)

2.2.1.7.3.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS AGREGADOS

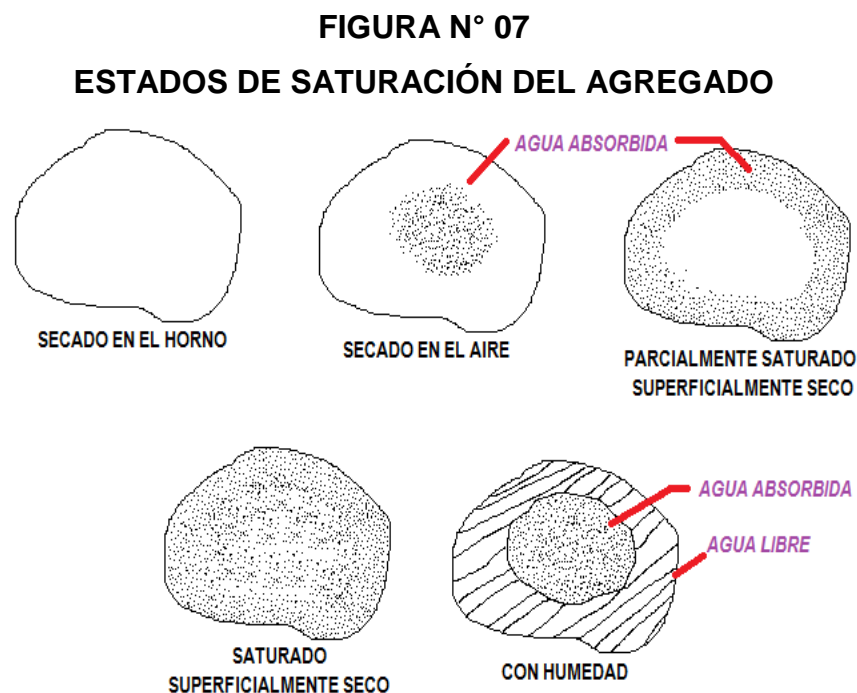
En general son primordiales en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulometría o gradación. Asociadas a estas características se encuentran una serie de ensayos o pruebas estándar que miden estas propiedades para compararlas con valores de referencia establecidos o para emplearlas en el diseño de mezclas. Es importante para evaluar estos requerimientos el tener claros los conceptos relativos a las siguientes características físicas de los agregados y sus expresiones numéricas:

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 72)

- **CONDICIONES DE SATURACIÓN**

En la Figura N° 07, se han esquematizado las condiciones de saturación de una partícula ideal de agregado, partiendo de la condición seca hasta cuando tiene humedad superficial, pudiéndose asimilar visualmente los conceptos de saturación en sus diferentes etapas, que servirán a lo largo de la investigación.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 72)



FUENTE: TÓPICOS DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO



Los agregados en obra pueden encontrarse en cuanto a humedad se refiere en cuatro condiciones: 1° Totalmente secos, 2° Semi secos (algo de humedad pero menos que la necesaria para saturarse), 3° Saturados pero superficialmente secos (condición ideal en que los agregados ni añaden ni quitan agua a la mezcla), 4° húmedos o mojados (conteniendo entre sus partículas más agua que la necesaria para saturarse).

En los cálculos para el proporcionamiento del concreto, se considera al agregado en condiciones de saturado y superficialmente seco, es decir con todos sus poros abiertos llenos de agua y libre de humedad superficial, condición ideal que pocas veces se da en la práctica.

(Abanto Castillo, 2009, pág. 38)

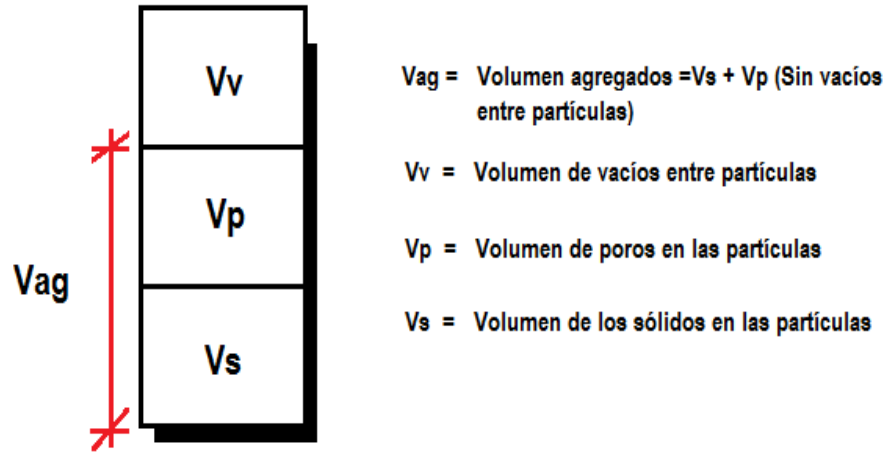
- **PESO ESPECÍFICO**

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 74)

La (American Society for Testing Materials, 2009); en sus normas ASTM C-127 y ASTM C-128, establecen el procedimiento estandarizado para su determinación en laboratorio, distinguiéndose tres maneras de expresarlo en función de las condiciones de saturación. En la Figura N° 08, se muestra gráficamente la distribución de volúmenes de sólidos, poros y vacíos para agregado secado al horno, estableciéndose las expresiones para la determinación en laboratorio y cálculo del peso específico. Hay que tomar en cuenta que las expresiones de la norma son adimensionales, luego hay que multiplicarlas por la densidad del agua en las unidades que se deseen para obtener el parámetro a usar en los cálculos. Su valor para agregados normales oscila entre 2500 y 2750 kg/m³.

FIGURA N° 08
DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES DE SÓLIDOS, POROS Y VACÍOS
PARA AGREGADO SECADO AL HORNO



FUENTE: TÓPICOS DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO

- **Peso específico de masa seca (BULK SPECIFIC GRAVITY)**

$$G_b = \frac{A}{B - C} = \frac{A}{A + V_p * D_a - A + V_s * D_a} = \frac{A}{(V_p + V_s) * D_a} = \frac{A}{V_{ag} * D_a}$$

- **Peso específico saturado superficialmente seco (S.S.S. SPECIFIC GRAVITY)**

$$G_{sss} = \frac{B}{B - C} = \frac{B}{V_{ag} * D_a}$$

- **Peso específico aparente (APPARENT SPECIFIC GRAVITY)**

$$G_a = \frac{A}{A - C} = \frac{A}{A - (A - V_s * D_a)} = \frac{A}{V_s * D_a}$$

FUENTE: TÓPICOS DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO

- **PESO UNITARIO**

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas; está



influenciado por la manera en que se acomodan éstas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 74)

La (American Society for Testing Materials, 1987), en su norma ASTM C-29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en el molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en tres capas. El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezcla para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen. En este último caso hay que tener en cuenta que estas conversiones asumen que el material en estado natural tiene el peso unitario obtenido en la prueba estándar, lo cual no es cierto por las características de compactación indicadas. Algunas personas aplican el mismo ensayo pero sin compactar el agregado para determinar el peso unitario suelto, sin embargo este valor tampoco es necesariamente el de material en cancha, por lo que se introducen también errores al hacer conversiones de diseños en peso a volumen.

La mejor recomendación para reducir el error aludido, es hacer por lo menos cinco determinaciones de peso unitario suelto en porciones de muestras de agregados que representen varios niveles de las pilas de almacenaje para reflejar las probables variaciones por segregación.

El valor del peso unitario para agregados normales oscila entre 1500 y 1700 kg/m³.

- **PORCENTAJE DE VACÍOS**

Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. Depende también del acomodo entre partículas, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 76)

La (American Society for Testing Materials, 1987), en su norma ASTM C-29, indicada anteriormente establece la fórmula para calcularlo, empleando los valores de peso unitario estándar.

$$\% \text{ de Vacíos} = 100 * \left[\frac{(S * W) - M}{S * W} \right]$$

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

M = Peso unitario compactado seco

- **ABSORCIÓN**

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados, pues siempre queda aire atrapado.

Tiene importancias pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

La (American Society for Testing Materials, 2009), en su norma ASTM C-127 y ASTM C-128, ya mencionadas anteriormente, establecen la metodología para su determinación expresada en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso S.S.S} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 76)

- **POROSIDAD**

Es el volumen de espacios dentro las partículas de agregados. Tiene una gran influencia en todas las demás propiedades de los agregados, pues es representativa de la estructura interna de las partículas.

No hay un método estándar en ASTM para evaluarla, sin embargo existen varias formas de determinación, por lo general complejas y cuya validez es relativa. Una manera indirecta de magnitud de la porosidad normalmente un 10% menor que la real, ya que como hemos indicado en el párrafo indicado, nunca llegan a saturarse completamente todos los poros de las partículas.

Los valores usuales en agregados normales pueden oscilar entre 0 y 15%, aunque por lo general el rango común es de 1 al 5% en agregados ligeros, se pueden tener porosidades del orden del 15% al 50%.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 76)

- **HUMEDAD**

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas para que se cumplan las hipótesis asumidas.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 76)

La (American Society for Testing Materials, 1984), en su norma ASTM C-566, la humedad se expresa de la siguiente manera:

$$\% \text{ Humedad} = \left[\frac{\text{Peso original de la muestra} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \right] * 100$$

- **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

La granulometría está definida como la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra de agregado en fracciones de igual tamaño. La medida de la cuantía de cada una de estas fracciones es lo que se conoce como granulometría

(Sánchez De Guzmán, 2001)



Como sería sumamente difícil medir el volumen de los diferentes tamaños de partículas, se usa una manera indirecta, cual es tamizarlas por una serie de mallas de aberturas conocidas y pesar los materiales retenidos refiriéndolos con % con respecto al peso total.

A esto es lo que se denomina análisis granulométrico o granulometría, que es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

(Pasquel Carbajal, 1993)

La (NTP 400.037.- Especificaciones para agregados, 2014), establece los límites de la distribución volumétrica de las partículas, su cumplimiento tiene gran trascendencia en el concreto para obtener una estructura densa y eficiente así como una trabajabilidad adecuada.

Otro concepto importante es el del Tamaño máximo, que en términos generales significa el menor tamiz por el que pasa todo el agregado tamizado. Se define operativamente como Tamaño Máximo Nominal, el correspondiente al menor tamiz que produce el primer retenido.

(Pasquel Carbajal, 1993)

- **MÓDULO DE FINEZA**

En la búsqueda de caracterizaciones numéricas que representaran la distribución volumétrica de las partículas de agregados, se definió hace muchos años el Módulo de Fineza.

Es un concepto sumamente importante definido como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard hasta el Tamiz N° 100, a esta cantidad se le divide entre 100. El sustento matemático del Módulo de Fineza reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica.

Debe tenerse muy en claro que es un criterio que se aplica tanto a la piedra como a la arena, pues es general y sirve para caracterizar cada agregado independientemente o la mezcla de agregados en conjunto.

(Pasquel Carbajal, 1993)

La base experimental que apoya al concepto de Módulo de Fineza es que granulometrías que tengan igual M.F. independientemente de la gradación individual, requieren la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad y resistencia, lo que lo convierte en un parámetro ideal para el diseño y control de mezclas.

(Popovics, 1979)

Según la (ASTM C33.- Standard Specification for Concrete Aggregates, 2013), la arena debe tener un módulo de fineza no menor de 2.3 ni mayor de 3.1.

Se estima que las arenas comprendidas entre los módulos 2.3 y 2.8 producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación; y que las que se encuentran entre 2.8 y 3.1, son las más favorables para concreto de alta resistencia.

(Abanto Castillo, 2009, pág. 29)

- **TAMAÑO MÁXIMO**

El tamaño máximo del agregado grueso es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa la muestra de un agregado grueso.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

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

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos de agua en la mezcla,



incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 1 ½". En tamaños mayores, solo es aplicable a concretos con bajo contenido de cemento.

(S. Merritt, 1982)

El tamaño máximo del agregado grueso es otro factor que se deriva del análisis granulométrico y está definido como la abertura del menor tamiz de la serie que permite el paso del 100% del material.

En la práctica, lo que indica el tamaño máximo de un agregado es el tamaño de la partícula más grande que hay dentro de la masa de los agregados, el cual debe ser compatible con las dimensiones y especificaciones de la estructura.

(Sánchez De Guzmán, 2001)

- **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL**

Se entiende por tamaño máximo nominal al que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:

- ✓ Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados; o
- ✓ Un tercio del peralte de las losas; o
- ✓ Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones, o ductos de preesfuerzo.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

Estas limitaciones se pueden omitir si se demuestra que la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales que el concreto se pueden colocar sin la formación de vacíos o "cangrejeras".

(Abanto Castillo, Tecnología del Concreto, 2000)

En elementos de espesor reducido, o ante la presencia de gran cantidad de armadura, se podrá disminuir el tamaño del agregado grueso siempre que se mantenga una adecuada trabajabilidad, se cumpla con el asentamiento requerido y se obtenga la resistencia especificada.

(Sánchez De Guzmán, 2001)

2.2.1.7.3.4 CARACTERÍSTICAS RESISTENTES

Están constituidas por aquellas propiedades que le confieren la capacidad de soportar esfuerzos o tensiones producidos por agentes externos.

Las principales son:

- **RESISTENCIA**

Capacidad de asimilar la aplicación de fuerzas de compresión, corte, tracción y flexión. Normalmente se mide por medio de la resistencia a la compresión, para lo cual se necesita ensayar testigos cilíndricos o cúbicos de tamaño adecuado al equipo de ensayo, que se perforan o cortan de una muestra lo suficientemente grande.

La resistencia en compresión está inversamente relacionada con la porosidad, la absorción y directamente con el peso específico.

Agregados normales con Peso específico entre 2.5 a 2.7, tienen resistencias en compresión del orden 750 a 1200 kg/cm².

La resistencia del agregado condiciona en gran medida la resistencia del concreto, por lo que es fundamental el evaluarla directa o indirectamente cuando se desee optimizar la calidad de los concretos.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 78)

- **TENACIDAD**

Se denomina así en general a la resistencia al impacto. Está más relacionada con la sollicitación en flexión que en compresión, así como con la angulosidad y aspereza de la superficie.

Tiene trascendencia en las propiedades del concreto ante impactos, que son importantes en términos prácticos, al momento de evaluar las

dificultades en el procesamiento por chancado del material. Su estimación es más cualitativa que cuantitativa.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 78)

- **DUREZA**

Es la resistencia al desgaste por la acción de unas partículas sobre otras o por agentes externos.

En los agregados para concreto se cuantifica por medio de la resistencia a la abrasión en la Máquina de Los Ángeles, que consta de un cilindro metálico donde se introduce el agregado conjuntamente con 12 esferas de acero de 46.8 mm de diámetro y entre 390 y 445 gr. De peso cada una, con un peso total de 5000 +/- 25 gr; haciéndose girar el conjunto un cierto número de revoluciones (100 o 500) que provocan el roce entre partículas, y de las esferas sobre la muestra provocando el desprendimiento superficial de material el cual se mide y expresa en porcentaje.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 79)

2.2.1.8 DISEÑO DE MEZCLAS

2.2.1.8.1 INTRODUCCIÓN

Habiendo detallado anteriormente, los conceptos sobre granulometría y la forma de caracterizarla numéricamente para optimizar las gradaciones, se deduce que la manera de introducir modificaciones granulométricas en los agregados es mezclándolos.

(Pasquel Carbajal, 1993)

2.2.1.8.2 NOTACIÓN

$F'c$ = Resistencia en compresión especificada del concreto, utilizada por el ingeniero calculista e indicada en los planos y especificaciones de obra. Se expresa en Kg/cm².



F'_{cr} = Resistencia en compresión promedio requerida, utilizada para la selección de las proporciones de los materiales que intervienen en la unidad cúbica del concreto.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

2.2.1.8.3 DEFINICIÓN

El diseño de mezclas de concreto, es conceptualmente la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, para lograr un material resultante que satisfaga de la manera más eficiente, los requerimientos particulares del proyecto constructivo.

(Pasquel Carbajal, 1993, pág. 171)

La dosificación de mezclas de concreto, más comúnmente llamado diseño de mezclas es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí:

- Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
- Determinación de sus cantidades relativas “proporcionamiento” para producir un, tan económico como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

(Laura, 2006)

En la selección de las proporciones de la mezcla de concreto, el diseñador debe recordar que la composición de la misma está determinada por:

- Las propiedades que debe tener el concreto endurecido, las cuales son determinadas por el ingeniero estructural y se encuentran indicadas en los planos y/o especificaciones de obra.
- Las propiedades del concreto al estado no endurecido, las cuales generalmente son establecidas por el ingeniero constructor en función al tipo y características de la obra y de las técnicas a ser empleadas en la colocación del concreto.
- El costo de la unidad cúbica de concreto.

(Rivva López, Tecnología del Concreto, 1992)



La mezcla del concreto se especifica con el peso de agua, arena, agregado grueso y aditivos que se utilizaran por el saco de cemento. Además se deben especificar el tipo de cemento, módulo de finura de los agregados y el tamaño máximo de los agregados. En ocasiones, la mezcla se especifica con la proporción por peso, entre el cemento, arena y agregado grueso más el contenido mínimo de cemento de concreto.

(S. Merritt, 1982)

La selección de las proporciones del concreto, implica un balance entre economía razonable y requerimiento de ciertas características, las cuales están regidas por el uso futuro del concreto y las condiciones esperadas a ser encontradas en el momento de la colocación de la mezcla. Estas son a menudo, pero no siempre expresadas en las especificaciones de trabajo.

(Abanto Castillo, Tecnología del Concreto, 2000)

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales.

(Laura, 2006)

Los componentes de una mezcla se deben seleccionar para producir un concreto de las características deseadas para las condiciones de servicio y con trabajabilidad adecuada al mínimo costo. Para economía, la cantidad de cemento se debe mantener al mínimo. En general, este objetivo se facilita con la selección del agregado del tamaño máximo consecuente con los requisitos de la obra y buena graduación, para tener pequeño volumen de huecos. Cuanto menor sea este volumen, menos pasta de cemento se necesitará para llenar huecos.

(S. Merritt, 1982)

Aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del



concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en logra una resistencia a compresión para una edad especificada así como una trabajabilidad apropiada.

Además es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias (excepto la resistencia al congelamiento y deshielo u otros problemas de durabilidad tales como resistencia al ataque químico). Sin embargo antes de pasar a ver los métodos de diseño en uso común en este momento, será de mucha utilidad revisar en más detalle, las consideraciones básicas de diseño.

(Laura, 2006)

2.2.1.8.4 CONSIDERACIONES BÁSICAS

2.2.1.8.4.1 RECOMENDACIONES FUNDAMENTALES

El concreto debe cumplir con la calidad especificada y con todas las características y propiedades indicadas en los planos y especificaciones de obra.

El proyectista debe considerar que el proceso de selección de las proporciones de las mezclas no es un procedimiento empírico, sino que responde a reglas, procedimientos matemáticos, empleos de tablas y gráficos y a la experiencia del diseñador.

Se considera recomendable que no más de un resultado de ensayo de cada diez este por debajo del valor de la resistencia especificada. Ello a fin de garantizar que se desarrollará en la estructura una resistencia del concreto adecuada.

(Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

Las proporciones seleccionadas deberán permitir que la mezcla sea fácilmente trabajable en los encofrados y especialmente en sus esquinas y ángulos, así como alrededor del acero de refuerzo y elementos embebidos, utilizando los procedimientos de colocación y consolidación disponibles en obra; sin que se presente segregación del agregado grueso, o exudación excesiva en la superficie del concreto, y sin pérdida de uniformidad de la mezcla.



Se debe lograr un concreto que, al estado endurecido, tenga las propiedades requeridas por los planos y/o las especificaciones de obra y que la mezcla sea económica.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014)

2.2.1.8.4.2 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS CEMENTO

- Tipo y marca del cemento seleccionado.
- Peso específico del cemento
- Peso específico del material puzolánico (cemento adicionado) si se trata de un cemento combinado.

(Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

AGUA

En el caso del agua si se emplea aguas no potables.

- Análisis químico del agua
- Efecto del agua sobre el tiempo de fraguado, calor de hidratación, y resistencias mecánicas del concreto.

(Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

AGREGADOS

- Perfil y textura superficial. de los agregados (fino y grueso)
- Análisis granulométrico de los agregados (fino y grueso)
- Peso específico de masa de los agregados (fino y grueso)
- Peso específico aparente de los agregados (fino y grueso)
- Peso unitario suelto y compactado de los agregados (fino y grueso)
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso)
- Perdida por abrasión, si el agregado va ser empleado en concreto para pavimentos.
- Presencia de materia orgánica.

(Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)



2.2.1.8.5 PASOS PARA EL PROPORCIONAMIENTO

Los componentes de una mezcla se deben seleccionar para producir un concreto de las características deseadas para las condiciones de servicio y con trabajabilidad adecuada a un mínimo costo. Para la economía la cantidad de cemento se debe mantener al mínimo.

(S. Merritt, 1982)

La selección de las proporciones del concreto, implica un balance entre economía razonable y requerimiento de ciertas características, las cuales están regidas por el uso futuro del concreto y las condiciones esperadas a ser encontradas en el momento de la colocación de la mezcla. Estas son a menudo, pero no siempre expresadas en las especificaciones de trabajo.

(Abanto Castillo , 2000)

Para la selección de las proporciones del concreto se seguirá el Método del Comité 211 del ACI (Instituto Americano del Concreto):

2.2.1.8.5.1 ESTUDIO DETALLADO DE LOS PLANOS Y/O ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Antes de diseñar una mezcla de concreto debemos tener en mente, primero, el revisar los planos y las especificaciones técnicas de obra, donde podremos encontrar todos los requisitos que fijó el ingeniero proyectista para que la obra pueda cumplir ciertos requisitos durante su vida útil.

(Laura, 2006)

2.2.1.8.5.2 ELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO (F'_{CR})

FACTORES EN LA VARIACIÓN DE LA CALIDAD DE CONCRETO

El grado de control en la calidad y uniformidad del concreto, el cual ha de definir la resistencia promedio con la cual se han de seleccionar las proporciones de la mezcla, está sujeto a las variaciones debidas a:

- Variaciones en la calidad de los materiales
- Variaciones en el proceso de puesta en obra
- Variaciones en el control de calidad

TABLA N° 07
COEFICIENTES DE VARIACIÓN Y GRADOS DE CONTROL.

Obtenible únicamente en ensayos de laboratorio	5%
Excelente en Obra	10% a 12%
Bueno	15%
Regular	18%
Inferior	20%
Malo	25%

FUENTE: (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

2.2.1.8.5.3 CÁLCULO DE LA DESVIACIÓN ESTANDAR

MÉTODO 1

Si la compañía constructora tiene un registro de sus resultados de ensayo de obras realizadas durante los últimos doce meses, el cual está basado en por lo menos 30 resultados de ensayos consecutivos de resistencia a compresión, o en 2 grupos de resultados de ensayos que totalizan por lo menos 30 y se han efectuado en dicho periodo, deberá calcularse la desviación estándar de estos resultados.

El registro de los resultados de ensayos de resistencia en compresión, a partir del cual se calculará la desviación estándar deberá:

- Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones de trabajo similares a aquellos que se espera en la obra que se va a iniciar. Las diferencias existentes en materiales y proporciones del registro del conjunto de ensayos no deberán ser más rigurosas a aquellas que se ha especificado para la obra propuesta.
- Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia en compresión de diseño especificada del orden de la del trabajo a ser iniciado; aceptándose un rango de variación de 35 kg/cm², para resistencias en compresión hasta de 280 kg/cm², y de 70kg/cm² para resistencias mayores en relación a las resistencias de diseño especificada para la obra propuesta.

- Si se posee un registro de 30 ensayos consecutivos la desviación estándar se calculará aplicando la siguiente fórmula:

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

Donde:

s = Desviación estándar, en kg/cm²

X_i = Resistencia de la probeta de concreto, en kg/cm²

\bar{X} = Resistencia promedio de n probetas, en kg/cm²

n = Número de ensayos consecutivos de resistencia

MÉTODO 2

Consistir de por lo menos 30 resultados de ensayos consecutivos, o de 2 grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos.

Donde:

\bar{s} = Desviación estándar promedio en kg/cm².

s_1, s_2 = Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente en kg/cm².

n_1, n_2 = Número de ensayos en cada grupos, respectivamente.

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{(n_1-1)(s_1)^2 + (n_2-1)(s_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)}}$$

MÉTODO 3

Si solo se posee un registro de 15 a 29 ensayos consecutivos, la desviación estándar calculada es amplificada por los factores de corrección dados por la tabla obteniéndose un valor equivalente a aquel de registro de 30 ensayos.

TABLA N° 08

FACTOR DE CORRECCIÓN PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA CUANDO SE DISPONE DE MENOS DE 30 ENSAYOS.

MUESTRAS	FACTOR DE CORRECCION
menos de 15	$f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 35.$
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

FUENTE: (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

2.2.1.8.5.4 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

MÉTODO 1

La resistencia a la compresión promedio requerida, la cual ha de emplearse como base para la selección de las proporciones de la mezcla de concreto, deberá ser el mayor de los valores obtenidos a partir de la solución de las ecuaciones:

- Esta ecuación da una probabilidad de 1 en 100 de que el promedio de tres resultados de ensayos esté por debajo de la resistencia de diseño especificada.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$$

s = Desviación estándar, en kg/cm^2

- Esta ecuación da una probabilidad similar de que los resultados individuales de ensayos estén 35 Kg/cm^2 por debajo de la resistencia de diseño especificada.

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 35.$$

s = Desviación estándar, en kg/cm^2

MÉTODO 2

Igualmente, la resistencia promedio puede obtenerse directamente a partir de los valores de la tabla, entrando en la misma con el valor de la desviación estándar y de la resistencia de diseño especificada. Esta tabla ha sido calculada a partir de las ecuaciones anteriores.

TABLA N° 09

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA CUANDO
HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN
ESTÁNDAR DE LA MUESTRA**

TABLA No 2

f' c (K/CM2)	DS (K/CM2)								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
140	155	160	170	175	180	185	200	210	220
175	190	195	205	210	215	220	235	245	255
210	225	230	240	245	250	255	270	280	290
245	260	265	275	280	285	290	305	315	325
280	295	300	310	315	320	325	340	350	360
350	365	370	380	385	390	395	410	420	430

FUENTE: (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

MÉTODO 3

El comité ACI 211 contempló una modificación, la cual está presente en la (Norma E060 - Concreto Armado, 2015) , Capítulo 5: CALIDAD DEL CONCRETO, MEZCLADO Y COLOCACIÓN del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Cuando una instalación productora de concreto no tenga registro de ensayos de resistencia en obra debe determinarse con la siguiente tabla. Y debe cumplir con la documentación que justifique que la dosificación propuesta para el concreto producirá una resistencia promedio igual o mayor que la resistencia promedio a la compresión requerida, F_c' , debe consistir en un registro de ensayos de resistencia en obra, en varios registros de ensayos de resistencia o en mezclas de prueba.

(Norma E060 - Concreto Armado, 2015)

Cuando no se cuente con un registro de resultados de ensayos que posibilite el cálculo de desviación estándar de acuerdo a lo indicado, la resistencia promedio requerida deberá ser determinada empleando los valores de la tabla.

TABLA N° 10
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA CUANDO NO
HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN
ESTÁNDAR DE LA MUESTRA

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7,0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8,5$
$f'c > 35$	$f'cr = 1,1 f'c + 5,0$

FUENTE: (Norma E060 - Concreto Armado, 2015)

2.2.1.8.5.5 ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO (SLUMP)

Según (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014):

La consistencia es aquella propiedad del concreto que define el grado de humedad de la mezcla.

El asentamiento a emplearse en obra deberá ser aquel indicado en las especificaciones.

Si las especificaciones de obra no indican el asentamiento que debe tener el concreto, se seguirá alguno de los criterios siguientes:

- El concreto se dosificará para una consistencia plástica, con un asentamiento entre tres a cuatro pulgadas (75 mm a 100 mm) si la consolidación es por vibración; y de cinco pulgadas o menos (125 mm o menos) si la compactación es por varillado.
- Se seleccionará el valor más conveniente empleando la siguiente tabla según el ACI. Los rangos indicados en esta tabla corresponden a concretos consolidados por vibración. Deberá emplearse mezclas de mayor consistencia compatible con una adecuada colocación.

TABLA N° 11
SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

TIPO DE ESTRUCTURA	ASENTAMIENTOS EN PULGADAS	
	Máximo *	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzada.	3	1
Cimentaciones simples, cajas y sub-estructuras de muro.	3	1
Vigas y muros armados.	4	1
Columnas de edificios.	4	1
Losas y pavimentos.	3	1
Concreto ciclópeo.	2	1

FUENTE: (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

El asentamiento puede incrementarse más de 1" si se emplea un método de consolidación diferente a la vibración.

2.2.1.8.5.6 SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Según (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014):

La selección del volumen unitario de agua se refiere a la determinación de la cantidad de agua que se debe incorporar a la mezcladora, por unidad cúbica de concreto, para obtener una consistencia determinada cuando el agregado está en estado seco.

La tabla ha sido preparada en base a las recomendaciones del comité 211 del ACI. Ella permite seleccionar el volumen unitario de agua, para agregados al estado seco, en concretos preparados con y sin aire incorporado; teniendo como factores a ser considerados la consistencia que se desea para la mezcla y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

TABLA N° 12
SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

FUENTE: (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

2.2.1.8.5.7 SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

Las burbujas de aire pueden estar presentes en la pasta como resultado de las operaciones propias del proceso de puesta en obra, en cuyo caso se le conoce como aire atrapado o aire natural; o pueden encontrarse en la mezcla debido a que han sido intencionalmente incorporadas a ella, en cuyo caso se les conoce como aire incorporado.

TABLA N° 13

SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

FUENTE: (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

Obtenido los valores de cantidad de agua y de aire atrapado para un metro cúbico de concreto procederemos a calcular el volumen que ocupan dentro de la unidad de volumen de concreto:

$$\text{Volumen de agua}(m^3) = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (lts /m}^3\text{)}}{\text{Peso específico de agua (1000Kg /m}^3\text{)}}$$

FUENTE. (Laura, 2006)

2.2.1.8.5.8 SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA / CEMENTO POR RESISTENCIA

La relación agua/cemento de diseño, que es el valor a ser seleccionado de la siguiente tabla, se refiere a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco, es decir; no toma ni aporta agua.

La relación agua/cemento efectiva se refiere a la cantidad de agua de la mezcla cuando se tienen consideración la condición real de humedad del agregado.

Existen dos criterios (por resistencia, y por durabilidad) para la selección de la relación a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores, con lo cual se

garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones. Es importante que la relación a/c seleccionada con base en la resistencia satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

POR RESISTENCIA

Para concretos preparados con cemento Portland tipo 1 o cemento comunes.

TABLA N° 14

SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR RESISTENCIA

f_{cr} (28 días)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos 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 López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

POR DURABILIDAD

La Norma Técnica de Edificación, prescribe que si se desea un concreto de baja permeabilidad, o el concreto ha de estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda. Se deberá cumplir con los requisitos indicados en la Tabla.

TABLA N° 15

MÁXIMA RELACIÓN AGUA/CEMENTO PERMISIBLE PARA CONCRETOS SOMETIDOS A CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA.
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.45
b) Otros elementos.	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45

(*) La resistencia f_c no deberá ser menor de 245 kg/cm² por razones de durabilidad.

FUENTE: (Laura, 2006)

2.2.1.8.5.9 FACTOR CEMENTO

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c. Sin embargo es posible que las especificaciones del proyecto establezcan una cantidad de cemento mínima.

$$\text{Contenido de Cemento (Kg /m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (lts /m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c (para } f'_{cr}\text{)}}$$

$$\text{Volumen de cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de Cemento (Kg)}}{\text{Peso específico (Kg /m}^3\text{)}}$$

FUENTE: (Laura, 2006)

2.2.1.8.5.10 SELECCIÓN DEL AGREGADO

La selección de las proporciones de los agregados fino y grueso en la unidad cúbica de concreto tiene por finalidad obtener una mezcla en la que, con un mínimo contenido de pasta (cemento + agua), se puedan obtener las propiedades deseadas en el concreto.

Se determina el contenido de agregado grueso mediante la Tabla, elaborada por el comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de finura del agregado fino.

TABLA N° 16
PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE
CONCRETO.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de finura del fino (b/b ₀)			
	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"	0,75	0,73	0,71	0,69
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,82	0,80	0,78	0,76
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

FUENTE: (Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

Obtenido b / b_0 , procedemos a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico de concreto, de la siguiente manera:

$$\text{Peso seco del A. grueso } \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{b}{b_0} \times (\text{Peso unitario compactado del A. grueso})$$

FUENTE: (Laura, 2006)

Entonces los volúmenes de los agregados grueso y fino serán:

$$\text{Vol. agregado grueso } (m^3) = \frac{\text{Peso seco del A. grueso}}{\text{Peso específico del A. grueso}}$$

$$\text{Vol. agregado fino } (m^3) = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. agregado grueso})$$

El volumen absoluto de agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos. El peso del agregado fino será igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso específico.

$$\text{Vol. agregado grueso } (m^3) = \frac{\text{Peso seco del A. grueso}}{\text{Peso específico del A. grueso}}$$

$$\text{Vol. agregado fino } (m^3) = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. agregado grueso})$$

Por consiguiente el peso seco del agregado fino y agregado grueso será:

$$\text{Peso agregado fino } (kg/m^3) = (\text{Vol. agregado fino})(\text{Peso específico del agregado fino})$$

$$\text{Peso agregado grueso } (kg/m^3) = (\text{Vol. agregado grueso})(\text{Peso específico del agregado grueso})$$

2.2.1.8.5.11 CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Las proporciones de los materiales que integran la unidad cúbica de concreto deben ser corregidos en función de las condiciones de humedad de los agregados finos y grueso, a fin de obtener los valores a ser utilizados en obra.

Las cantidades de agregado que deben ser pesadas para preparar el concreto deberán considerar la humedad de aquel. Generalmente en obra los agregados están en condición de humedad y su peso seco deberá incrementarse en el porcentaje de agua que ellos contienen la absorbida como la superficial.

El agua de mezclado incorporada a la mezcladora deberá ser algebraicamente reducida en un volumen igual a la humedad superficial o humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal al contenido de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción.

Los conceptos de absorción, contenido de humedad y humedad superficial deben ser igualmente definidos:

- a) La capacidad de absorción de un agregado está dada por la cantidad de agua que él necesita para pasar del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Normalmente se expresa en porcentaje.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{100(SSS - S)}{S}$$

SSS = Peso del agregado al estado saturado superficialmente seco

S = Peso del agregado al estado seco

- b) El contenido de humedad de un agregado es la cantidad total de agua que él tiene y se determina por la diferencia entre su peso y su peso seco.

$$\text{Contenido de humedad (\% Humedad)} = \frac{100(H - S)}{S}$$

H = Peso del agregado

El contenido de agua añadida para formar la pasta será afectada por el contenido de humedad de los agregados. Si ellos están secos al aire absorberán agua y disminuirán la relación a / c y la trabajabilidad. Por otro lado si ellos tienen humedad libre en su superficie (agregados mojados) aportarán algo de agua a la pasta aumentando la relación a / c, la trabajabilidad y disminuyendo la resistencia a compresión. Por lo tanto estos efectos deben ser tomados estimados y la mezcla debe ser ajustada tomándolos en cuenta. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Agregado Grueso} & \begin{cases} \text{Humedad} = \%Wg \\ \% \text{ absorción} = \%ag \end{cases} \\ \text{Agregado Fino} & \begin{cases} \text{Humedad} = \%Wf \\ \% \text{ absorción} = \%af \end{cases} \end{aligned}$$

FUENTE: (Laura, 2006)

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.

$$\text{Peso A. grueso húmedo (kg)} = (\text{Peso A. grueso seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%Wg}{100}\right)$$

$$\text{Peso A. fino húmedo (kg)} = (\text{Peso A. fino seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%Wf}{100}\right)$$

FUENTE: (Laura, 2006)

• AGUA EFECTIVA

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 que será igual al porcentaje de humedad menos el porcentaje de absorción ($\%Wg - \%ag$).

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{Peso A. grueso seco}) \cdot \left(\frac{\%Wg - \%ag}{100}\right) = X$$

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{Peso A. fino seco}) \cdot \left(\frac{\%Wf - \%af}{100}\right) = Y$$

$$\text{Agua efectiva (Lts)} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

FUENTE: (Laura, 2006)

• CÁLCULO DE LAS PROPORCIONES EN PESO

$$\begin{aligned} \text{Cemento} & : \text{Agregado fino} : \text{Agregado grueso} / \text{Agua} \\ \frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}} & : \frac{\text{Peso A. fino húmedo}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. grueso húmedo}}{\text{Peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso cemento}} \end{aligned}$$

FUENTE: (Laura, 2006)

• CÁLCULO DE LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN

- DATOS NECESARIOS:

- Peso unitario suelto del cemento (1500 kg/m³).



- Pesos unitarios sueltos de los agregados finos y gruesos.

- VOLÚMENES EN ESTADO SUELTO:

- Cemento : $Vol. cemento (m3) =$

$$\frac{Peso cemento (kg)}{P.U. cemento (1500 kg/m3)}$$

- Agregado fino : $Vol. A. fino (m3) =$

$$\frac{Peso A.fino (kg)}{P.U. A.fino húmedo (kg/m3)}$$

- Agregado grueso : $Vol. A. grueso (m3) =$

$$\frac{Peso A.grueso (kg)}{P.U. A.grueso húmedo (kg/m3)}$$

FUENTE: (Laura, 2006)

- En el caso del agua, éste se calculará en litros por bolsa de cemento (Lts/Blts), de la siguiente manera:

$$Agua (Lts/Blts) = \frac{Cantidad de agua por m3 de C^{\circ}}{\frac{Peso cemento por m3 de C^{\circ}}{Peso cemento por bolsa (42.5)}}$$

FUENTE: (Laura, 2006)

- PROPORCIONES EN VOLUMEN

Cemento : Agregado fino : Agregado grueso / Agua (Lts/Blts)

$$\frac{Vol. cemento}{Vol. cemento} : \frac{Vol. A. fino}{Vol. cemento} : \frac{Vol. A. grueso}{Vol. cemento} / Agua(Lts/Blts)$$

C : F : G / A

FUENTE: (Laura, 2006)

• CÁLCULO DE CANTIDADES POR TANDA:

- DATOS NECESARIOS

- Capacidad de la mezcladora.
- Proporciones en volumen.

- CANTIDAD DE BOLSAS DE CEMENTO REQUERIDO

$$Cant. de bls requerida = \frac{(Capacidad mezcladora (pie3))(0.0283 m3)(Peso cemento (kg))}{Peso cemento por bolsa (42.5 kg)}$$

FUENTE: (Laura, 2006)

- EFICIENCIA DE LA MEZCLADORA

Debido a que la mezcladora debe ser abastecida por un número entero de bolsas de cemento, la cantidad de bolsas de cemento por tanda será igual a un número entero menor a la cantidad de bolsas requeridas por la mezcladora.

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Cantidad de bolsas de cemento por tanda}}{\text{Cantidad de bolsas requerido}} \times 100$$

FUENTE: (Laura, 2006)

- VOLUMEN DE CONCRETO POR TANDA

$$\text{Vol. de C}^\circ \text{ por tanda} = (\text{Capacidad mezcladora (pie}^3\text{)})(0.0283 \text{ m}^3)\left(\frac{\text{Eficiencia (\%)}}{100}\right)$$

FUENTE: (Laura, 2006)

- CANTIDAD DE MATERIALES POR TANDA

Teniendo las proporciones en volumen (C:F:G:A), calculamos la cantidad de materiales por tanda:

- Cemento : 1x2 = 2 bolsas.
- Agregado fino : Fx2 = Cantidad de A. fino en m³.
- Agregado grueso : Gx2 = Cantidad de A. grueso en m³.
- Agua : Ax2 = Cantidad de agua de Lts.

FUENTE: (Laura, 2006)

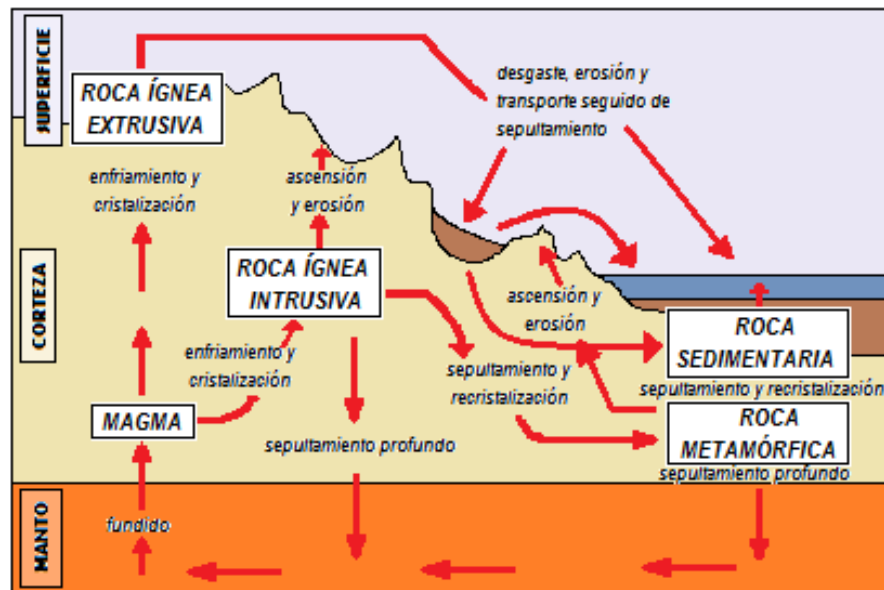
2.2.2 LAS ROCAS

2.2.2.1 EL CICLO DE LAS ROCAS

Las rocas pueden ser ígneas, sedimentarias o metamórficas. Las ígneas se forman cuando el magma se eleva y se enfría. Cuando el magma emerge por la erupción de un volcán, las rocas resultantes son “ígneas extrusivas”, mientras que si se solidifican bajo la superficie, serán “ígneas intrusivas”. El desgaste y la erosión llevan a la formación de rocas sedimentarias que pueden volverse metamórficas si la temperatura y/o la presión cambian.

(Bonewitz, 2009, pág. 28)

FIGURA N° 09
CICLO DE LAS ROCAS



FUENTE: ROCAS Y MINERALES: LA GUÍA VISUAL DEFINITIVA

2.2.2.1.1 ROCA FUNDIDA

Podemos considerar que el ciclo de las rocas empieza cuando el magma se eleva desde la corteza o desde el manto superior. El magma se solidifica para formar rocas ígneas intrusivas o extrusivas.

Si la roca intrusiva se solidifica en las profundidades de la corteza, necesitará de la erosión y de fuerzas que la eleven para subir a la superficie. Si la intrusión sucede cerca de la superficie, la erosión de la roca que tenga por encima puede exponerla sin necesidad de ascender.

Las rocas volcánicas extrusivas empiezan a desgastarse y a erosionarse inmediatamente tanto sobre tierra firme como dentro del mar.

(Bonewitz, 2009, pág. 28)

2.2.2.1.2 ASCENSIÓN

Es un movimiento ascendiente desde la litósfera terrestre. Puede ser lenta y suave en forma de elevación amplia y lenta, o repentina y espectacular.



Cuando se da la ascensión, las rocas ígneas sedimentarias o metamórficas que estaban sepultadas, salen a la superficie y se exponen al desgaste y la erosión.

(Bonewitz, 2009, pág. 29)

2.2.2.1.3 ENTERRAMIENTO HONDO

Los sedimentos creados por erosión y desgaste se depositan en capas que con el tiempo, se compactan y forman rocas sedimentarias.

(Bonewitz, 2009, pág. 29)

2.2.2.1.4 DESGASTE Y EROSIÓN

El desgaste aparece cuando las rocas se exponen a la atmósfera, al agua y a los organismos vivos de la superficie terrestre. La erosión implica el desplazamiento de los detritos de la roca lejos de donde se ha producido el desgaste. Sin ella, los detritos se acumularían donde se hubieran formado. El viento, el agua, los glaciares y la gravedad son los principales agentes de erosión y; todos juntos modifican el paisaje sin cesar.

(Bonewitz, 2009, pág. 29)

2.2.2.1.5 TRANSPORTE Y DEPÓSITO

Cuando la roca ya se ha erosionado o disuelto, los productos resultantes suelen ser transportados y depositados en otro lugar, donde se convertirán en roca nueva (se litificarán).

(Bonewitz, 2009, pág. 29)

2.2.2.1.6 METAMORFISMO

Las rocas ígneas o sedimentarias enterradas a gran profundidad pueden verse afectadas por fuerzas tectónicas que modificarán su estructura. Unas veces se “cuecen” a temperaturas elevadas y a presiones extremas. Como respuesta, las rocas empiezan a transformarse sin llegar a fundirse, creando rocas metamórficas y nuevos minerales estables bajo las nuevas condiciones.



Si el calor y la presión aumentan lo suficiente, las rocas se funden y el ciclo vuelve a empezar desde el principio, aunque no todas las partículas de roca están destinadas a completarlo.

(Bonewitz, 2009, pág. 29)

2.2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS

2.2.2.2.1 ROCAS ÍGNEAS

El Magma (roca fundida) que forma las rocas ígneas, puede solidificarse en el subsuelo, creando rocas intrusivas o plutónicas, como el granito o puede fluir hacia la superficie terrestre o al suelo oceánico, formando rocas extrusivas, como el basalto.

La textura de las rocas ígneas puede variar mucho, en función de la velocidad a que se enfría el magma. El enfriamiento rápido crea cristales diminutos y congela el líquido convirtiéndolo en vidrio, mientras que un enfriamiento más lento forma rocas de granos gruesos.

(Bonewitz, 2009, pág. 30)

Las rocas volcánicas, duras y resistentes, se han utilizado durante miles de años como pavimento. Puede que algunas de las piedras se hayan utilizado y reutilizado durante siglos.

Hay lugares donde permanecen las superficies adoquinadas de las vías romanas, surcadas por innumerables ruedas de todo tipo. Aunque son muy laboriosas de extraer y de tallar, la superficie resultante tiene una resistencia inigualable.

(Bonewitz, 2009, pág. 47)

2.2.2.2.1.1 ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS

También se denominan rocas volcánicas. Las principales son el basalto, la obsidiana, la riolita, la traquita y la andesita, que se forman a partir de lava (magma que fluye a la superficie, ya sea en tierra firme o bajo el agua).

(Bonewitz, 2009, pág. 32)

2.2.2.2.1.2 LA ANDESITA

La andesita es de grano fino o porfídica y contiene sobre todo, minerales plagioclásicos (andesita y oligoclasa) y uno o más de los oscuros minerales ferromagnesianos como el piroxeno o la biotita. A diferencia de las riolitas, las andesitas no contienen cuarzo. La andesita debe su nombre a los andes de Sudamérica.

La andesita amigdaloides se forma cuando los huecos que dejan las burbujas de gas del magma durante el proceso de solidificación vuelven a llenarse más adelante, normalmente con zeolitas.

La andesita porfídica se forma cuando se desarrollan fenocristales de feldespatos y de piroxeno de gran tamaño sobre una matriz de grano fino.

La andesita emerge a la superficie durante las erupciones volcánicas y suele encontrarse entremezclada con ceniza y toba volcánica.

(Bonewitz, 2009, pág. 46)

FIGURA N° 10

EJEMPLARES DE PIEDRA ANDESITA EVALUADOS



FUENTE: PROPIA

2.2.2.2.1.3 ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS

Las rocas plutónicas intrusivas, se solidifican en las profundidades de la corteza terrestre y se caracterizan por tener cristales de gran tamaño. El



granito, la diorita, la periodolita, la sienita y el gabro son rocas ígneas plutónicas.

(Bonewitz, 2009, pág. 33)

2.2.2.2 ROCAS SEDIMENTARIAS

Suelen formarse a partir de los depósitos que el agua, el viento o el hielo dejan sobre la superficie de la tierra. Estos depósitos se distribuyen casi siempre en capas o estratos.

(Bonewitz, 2009, pág. 31)

Las rocas sedimentarias representan entre el 80 y 90 por ciento de las rocas expuestas en la superficie terrestre. Sin embargo no son más que un componente accesorio de la corteza que se compone principalmente de rocas ígneas y metamórficas.

(Bonewitz, 2009, pág. 52)

2.2.2.3 ROCAS METAMÓRFICAS

Las rocas metamórficas se forman cuando rocas ya existentes se ven sujetas a temperaturas o presiones extremas (o ambas a la vez), que alteran su composición mineral, su textura y su estructura interna. Por ejemplo, la cuarcita es arenisca metamorfoseada, y la pizarra es lutita o esquisto metamorfoseados.

Este tipo de cambios suelen ocurrir en las profundidades de la corteza y pueden ser consecuencia de las deformaciones provocadas por la tectónica de placas. Sin embargo las rocas metamórficas también pueden formarse en la superficie terrestre, por el impacto de meteoritos o por la proximidad de intrusiones ígneas, que crean zonas de temperaturas elevadas a su alrededor.

El esquisto y el gneis son rocas metamórficas y sus componentes tienden a segregarse en bandas separadas, por lo que tienen un aspecto estratificado.

(Bonewitz, 2009, pág. 31)

2.2.2.3 PIEDRA LAJA

Por lo general es un tipo de roca de origen sedimentario con planos de foliación muy definido, lo que facilita la elaboración de planchas o baldosas. Para extraer esta piedra, sólo se necesita sacarla con un cincel y una maceta, obteniéndose en espesores de 1 cm hasta 3 cm aproximadamente. Su forma es irregular pero puede ser cortada en formas geométricas o rectangulares con cortadora de disco diamantado o con pulidora de disco de una manera artesanal.

(Pérez Gómez, 2006)

Esta roca se puede encontrar en la naturaleza en terrenos inclinados o completamente verticales, por acción de plegamientos de zonas que originalmente estaban formándose de manera horizontal, como ocurre con el material sedimentario que se forma por decantación de sólidos en lechos de mares, lagos y ríos. El material es pegado con mortero o con pasta de cemento Portland, pero por su forma irregular, esta forma de pegado resulta más costosa. En algunas ciudades, su utilización es muy frecuente, sobre todo a nivel residencial.

La ventaja para su extracción puede convertirse en una desventaja constructiva, ya que estas rocas tienden a deslaminarse por capas en un proceso parecido a la meteorización.

Igualmente tiende a desprenderse por sí sola de su pega y es necesario estudiar la forma de colocación y la manera en que se resuelve la junta para que la chapa permanezca firmemente unida.

(Pérez Gómez, 2006)

2.2.2.4 DESGASTE

2.2.2.4.1 CONDICIONES DE INTEMPERISMO

El ingeniero proyectista deberá designar la clase de agregado grueso a ser empleado en obra, basándose sobre la severidad del intemperismo, la abrasión y otros factores de exposición.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014, pág. 76)



Para construcciones ubicadas sobre los 1500 m.s.n.m., deberá considerarse la posibilidad de condiciones de intemperismo severas. En zonas áridas, la severidad del intemperismo, puede ser menor que la indicada. Si existen dudas en la elección de los valores de severidad del intemperismo, deberá elegirse la condición más desfavorable.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000, pág. 184)

2.2.2.4.2 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

La resistencia a la abrasión en el concreto, así como su resistencia al impacto localizado, es una propiedad la cual depende en grado importante, tanto de la calidad de la pasta, como del agregado que está cerca de la superficie, recibiendo impactos localizados y los esfuerzos abrasivos.

En aquellos casos, que la capa de desgaste no es grande, deberá presentarse una exposición del agregado grueso, y solamente la presencia de un agregado fino duro y fuerte en una pasta de buena calidad puede ser necesaria para proporcionar a la superficie, la necesaria tenacidad. Ejemplos de ello, pueden ser los pisos industriales, en los que la exposición del agregado no es conveniente, determinadas estructuras hidráulicas en las que la cavitación es un factor a ser considerado, y los pavimentos.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014, pág. 93)

El principal factor que influye en la resistencia del concreto a la acción de la abrasión es su resistencia estructural. Es por tanto, lógico pensar que si la incorporación de aire disminuye la resistencia del concreto a la compresión, también disminuirá su resistencia a la abrasión.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000, pág. 347)

La exposición del agregado grueso, puede ser inaceptable, tales como en caminos, alguna exposición del agregado grueso, puede ser aceptable en la medida que el material grueso no es fácilmente desgastable por el tráfico, especialmente por las cadenas de las llantas que pueden causar desgaste abrasivo de los pavimentos de concreto en climas muy fríos. La dureza del agregado es necesaria para resistir ralladuras, desgaste, y tipos de pulido por

fricción en servicio dado que es la más importante característica individual que controla el desgaste del agregado.

(Rivva López, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000, pág. 223)

Se requiere de un agregado duro, para resistir en servicio rotura, desgaste y pulido. De acuerdo a Stiffler, quien ha conducido ensayos en los que los minerales estuvieron sometidos a desgaste empleando abrasivos, “la dureza es la más importante característica individual que controla el desgaste de los agregados”.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014, pág. 93)

2.2.2.4.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES A 37.5 MM (1 ½”) POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Es conocido que hay una buena correlación entre el desgaste en el ensayo de Los Ángeles y el desgaste del concreto o durabilidad en servicio. Este ensayo puede ser una ayuda para identificar material obviamente inferior, el cual tiende a degradar durante la producción o servicio.

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014, pág. 93)

2.2.2.4.3.1 OBJETO

Se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta 37.5 mm (1 1/2 “), por medio de la Máquina de los Ángeles.

Este método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva.

2.2.2.4.3.2 APARATOS

- Balanzas, que midan el peso con aproximación de 1g.
- Horno, que pueda mantener una temperatura uniforme de 110+5°C (230+9°F).
- Tamices

- Máquina de Los Ángeles, consiste en un cilindro hueco, de acero, con una longitud interior de $508 \pm 5\text{mm}$ ($20 \pm 0.2''$) y un diámetro, también interior de $711 \pm 5\text{mm}$ ($28 \pm 0.2''$).

Dicho cilindro lleva sus extremos cerrados y en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar en posición horizontal alrededor de este eje. El cilindro estará previsto de una abertura, para introducir la muestra que se desea a ensayar, un entrepaño, para conseguir la rotación de la mezcla y de la carga abrasiva. La abertura podrá cerrarse por medio de una tapa, con empaquetadura que impida la salida del polvo, fijada por medio de pernos.

FIGURA N° 11
MÁQUINA DE LOS ÁNGELES



FUENTE: PROPIA

- Carga abrasiva, consistirá en esferas de fundición o de acero, de un diámetro entre 46.038 mm ($1 \frac{13}{16}''$) y 47.63 mm ($1 \frac{7}{8}''$) y un peso comprendido entre 390 y 445 g . La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D.

2.2.2.4.3.3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra consistirá en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 110 °C (221 a 230°F), separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una de las granulometrías indicadas.

Cuando se tritura la muestra e en el laboratorio, se hará constar esto en el informe, debido a la influencia que tiene la forma de las partículas en el resultado del ensayo.

TABLA N° 17

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO

MÉTODO		A	B	C	D
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A UTILIZAR (gr.)			
QUE PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250			
1"	3/4"	1250			
3/4"	1/2"	1250	2500		
1/2"	3/8"	1250	2500		
3/8"	1/4"			2500	
1/4"	N° 4			2500	
N° 4	N° 8				5000
PESO TOTAL		5000	2500	5000	5000
N° DE ESFERAS		12	11	8	6
N° DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACIÓN		15	15	15	15

FUENTE: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2000)

2.2.2.4.3.4 PROCEDIMIENTO

- La muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de Los Ángeles y se hace girar el cilindro a una velocidad entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas



prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el Tamiz N° 12. La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiza de 1.70 mm (N° 12). El material más grueso que el Tamiz N° 12, se lava, se seca en el horno a una temperatura comprendida entre 105 a 110°C y se pesa.

2.2.2.4.3.5 RESULTADOS

El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresando como tanto por ciento del peso original.

(Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2000)

Según la (NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS, 2010); el desgaste de la muestra sometida no deberá ser mayor 50%.

2.2.2.4.4 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MAYORES A 19 MM (3/4") POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Según (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2000):

2.2.2.4.4.1 OBJETO

Esta norma tiene por objeto, establecer el método de ensayo para determinar, la resistencia al desgaste de agregados gruesos, de tamaños mayores de 19 mm (3/4"), mediante la máquina de Los Ángeles.

2.2.2.4.4.2 APARATOS

- Balanzas, que midan el peso con aproximación de 1g.
- Horno, que pueda mantener una temperatura uniforme de 110+5°C (230+9°F).
- Tamices
- Máquina de Los Ángeles, la cual debe cumplir con los requisitos establecidos.

- Carga abrasiva, formada por 12 esferas de fundición o de acero, con un diámetro entre 46.038 mm (1 13/16") y 46.625 mm, y con un peso entre 390 y 445 g cada una. El peso total deberá ser 5000+- 25g.

2.2.2.4.4.3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- La muestra destinada al ensayo se obtendrá separando mediante el tamizado de distintas fracciones del agregado.
- Se lavarán separadamente las fracciones y luego se introducirán en un horno, a una temperatura de 105 y 106 °C (221 y 230 °F), hasta que su peso sea constante.
- Se elegirá en la Tabla N° 17, la gradación más parecida al agregado que se va a usar en la obra. Se tomarán los pesos de las fracciones indicadas en dicha tabla de acuerdo con la granulometría elegida, hasta completar aproximadamente 10000 g. de muestra y se mezclarán.
- Cuando se triture la muestra en el laboratorio, se hará constar esto en el informe, debido a la influencia que tiene la forma de las partículas en el resultado del ensayo.

TABLA N° 18
PESOS Y GRANULOMETRÍAS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA
ABRASIÓN

MÉTODO		E	F	G
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A UTILIZAR (gr.)		
QUE PASA	RETENIDO			
3"	2 1/2"	2500		
2 1/2"	2"	2500		
2"	1 1/2"	5000	5000	
1 1/2"	1"		5000	5000
1"	3/4"			5000
PESO TOTAL		10000	10000	10000
N° DE ESFERAS		12	12	12
N° DE REVOLUCIONES		1000	1000	1000
TIEMPO DE ROTACIÓN		30	30	30

FUENTE: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2000)

2.2.2.4.4.4 PROCEDIMIENTO

- Se pesan aproximadamente 10000 g. de muestra seca, preparada como se indica en la Tabla N° 17, con una precisión de 5g. y se colocan junto con la carga abrasiva dentro del cilindro, haciéndolo girar con una velocidad de entre 30 y 33 rpm (188 y 208 rad/min), hasta completar 1000 vueltas. La velocidad angular debe ser constante.
- Se descarga el material de la máquina y se hace una separación preliminar de la muestra sobre un tamiz más grueso que el de 1.7 mm (N° 12). Se tamiza la porción más fina conforme a lo establecido en la Norma MTC E 207. El material más grueso, se lava y se seca a temperatura de 105 a 110 °C (221 a 230°F) hasta peso constante, con aproximación a 5g.
- Si el agregado está libre de costras o de polvo, puede eliminarse la exigencia de lavado, antes y después de lavado. La eliminación de lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida medida en más de 0.2 % del peso de la muestra original.
- Se puede obtener una valiosa información sobre la uniformidad de la muestra que se está ensayando, determinando la pérdida después de 200 revoluciones. Al efectuar esta determinación, no se debe lavar el material retenido en el tamiz de 1.70 mm (N° 12). La relación de pérdida después de 200 revoluciones a pérdida después de 1000 revoluciones, no deberá exceder en más de 0.20 para materiales de dureza uniforme. Cuando se realiza esta determinación, se procurará evitar toda pérdida de muestra; la muestra total, incluido el polvo producido por el desgaste, se vuelve a introducir hasta completar las 1000 revoluciones requeridas para terminar el ensayo.
- La diferencia entre el peso inicial de la muestra seca y el peso del material seco retenido en el tamiz de 1.70 mm (N° 12), expresada como porcentaje del peso inicial, será el desgaste de la muestra.

(Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2000)

2.2.3 MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO

Con frecuencia se menciona como otra medida de la rigidez, en especial con los plásticos, se le llama módulo de flexión o módulo de elasticidad en flexión. Como indica el nombre, se carga un espécimen del material como una viga a flexión, y se toman y grafican datos de carga en función de deflexión.

(Mott, 2006).

La resistencia a la flexión del concreto es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto en una sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C293 (cargada en el punto medio).

(American Society for Testing Materials, 2008)

2.2.3.1 MOMENTO DE FLEXIÓN

El momento de flexión en cualquier sección de una viga es igual al momento de flexión en cualquier sección a la izquierda, más la fuerza cortante en esa sección multiplicada por la distancia entre las secciones, menos los momentos de las cargas intermedias. Si la sección con momento y corte conocidos está a la derecha, se invierten signos.

(S. Merritt, 1982)

2.2.3.2 MÓDULO DE ROTURA

Es el valor obtenido mediante el procedimiento indirecto para determinar la resistencia a la tensión del concreto por el ensayo a la flexión de una viga.

(Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2008)



Los requisitos mínimos según tipo de pavimento para vías locales y colectoras, indica que el módulo de rotura mínimo, tendrá una resistencia mínima de 34 kg/cm², y para vías arteriales y expresas un módulo de rotura mínimo de 45 kg/cm².

(NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS, 2010)

De acuerdo a la (Indecopi, 2012), en la NTP. 339.079, se tiene las siguientes consideraciones:

2.2.3.3 OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece el procedimiento para determinar la resistencia a la flexión de vigas simplemente apoyadas, moldeadas con concreto o de vigas cortadas extraídas de concreto endurecidos y ensayadas con carga en el centro del tramo. Los valores indicados en el SI deben ser considerados como estándares.

Esta norma no propone dar directivas de seguridad relativas a su utilización. Si alguna atañe, es de responsabilidad del usuario establecer las prácticas apropiadas para la salud y seguridad y determinar la aplicabilidad de las regulaciones antes de su uso.

(Indecopi, 2012)

Los diseñadores de pavimentos utilizan una teoría basada en la resistencia a la flexión, por lo tanto, puede ser requerido el diseño de la mezcla en el laboratorio, basado en los ensayos de resistencia a la flexión, o puede ser seleccionado un contenido de material cementante, basado en una experiencia pasada para obtener el Módulo de Rotura de diseño. Se utiliza también el Módulo de Rotura para el control de campo y de aceptación de los pavimentos. Se utiliza muy poco el ensayo a flexión para el concreto estructural.

(American Society for Testing Materials, 2008)

2.2.3.4 REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto constituyen requisitos de esta Norma técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas, seguidamente.

NTP 339.044:1979	CONCRETO. Método de ensayo para la preparación y curado en obra de probetas para ensayo a flexión.
NTP 339.045:1979	CONCRETO. Método de ensayo para la preparación y curado en laboratorio de probetas para ensayo a flexión.
NTP 339.059:2000	CONCRETO. Método para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas cortadas de concreto
NTP 339.079:2012	CONCRETO Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga en el centro del tramo.
ASTM C 293:1994	Standard Test Method for Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)

2.2.3.5 RESUMEN DEL MÉTODO

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga en el centro del tramo de la viga hasta que ocurra la falla.

2.2.3.6 APARATOS

2.2.3.6.1 MÁQUINA DE ENSAYO

Se debe utilizar un dispositivo capaz de aplicar una carga en el punto medio del claro, de tal modo que las fuerzas sean perpendiculares a las caras horizontales de la viga y se distribuyan y apliquen uniformemente en todo lo ancho.

(Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2008)



La máquina de ensayo es de cualquiera de los tipos de uso corriente, de suficiente capacidad y capaz de mantener una velocidad de carga continua y uniforme.

La máquina a emplearse será calibrada por lo menos cada doce meses cuando es instalada en el laboratorio cuando haya sido reparada de partes que tengan efecto sobre el sistema de indicación de la carga o cuando se tenga razón para dudar de la exactitud de los resultados.

El porcentaje de error para las cargas, dentro del rango de su utilización, no excederá de $\pm 1\%$.

La máquina de ensayo deberá tener espacio suficiente para colocar la viga de ensayo con comodidad, así como los dispositivos de calibración.

(Indecopi, 2012)

2.2.3.6.2 APARATOS DE CARGA

El aparato será capaz de mantener constante la distancia entre apoyos y la distancia entre placas de carga, con aproximación de 2.0 mm.

La carga deberá aplicarse perpendicularmente a la cara superior de la viga de tal manera que se evite toda excentricidad.

La dirección de las reacciones deberá ser paralela a la dirección de la carga aplicada mientras se realice la prueba.

La carga debe ser incrementada gradualmente y sin impacto.

(Indecopi, 2012)

El dispositivo debe ser capaz de mantener fija la distancia entre los puntos de carga y los puntos de apoyo del espécimen con una tolerancia de ± 2 mm; además, las reacciones deben ser paralelas a la dirección de las fuerzas aplicadas durante el tiempo que dure la prueba.

(Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2008)



La relación entre la distancia desde el punto de aplicación de la carga a su reacción más cercana y la altura de la viga no debe ser menor que $1.5 \pm 2\%$.

Si es que se utiliza un equipo, las placas de carga y de apoyo no tendrán más de 60 mm de altura, medida desde el centro o eje de pivote y deberán abarcar todo el ancho de la viga. Cada superficie de apoyo tendrá en contacto con la viga no se apartara de un plano por más de 0.051 mm, tendrá forma cilíndrica y su eje deberá coincidir con el del rodillo o con el centro de la rótula esférica, según sea el caso. El ángulo definido por la superficie de curva de cada placa deberá tener por lo menos 45° .

Las placas de carga y de apoyo deberán mantenerse en posición vertical y en contacto con el rodillo o rotula esférica por medio de tornillos con resortes que los mantengan en contacto.

(Indecopi, 2012)

2.2.3.6.3 INDICACIÓN DE LA CARGA

Si la máquina registra las cargas sobre un dial o en forma digital, los incrementos de lectura leídos en la escala del dial o indicada en la pantalla serán por lo menos 0.2% de la escala total.

(Indecopi, 2012)

2.2.3.7 ENSAYO

2.2.3.7.1 VIGAS

Se llama viga con soporte simple o viga sencilla. Tiene soportes cerca de sus extremos que solo la restringen contra movimiento vertical. Los extremos de la viga están libres para girar. Cuando las cargas tienen una componente horizontal o cuando el cambio en la longitud de la viga debido a la temperatura puede ser importante, los soportes también tendrán que evitar el movimiento horizontal. En ese caso, suele ser suficiente la restricción horizontal en un soporte. La distancia entre los soportes se llama claro. La carga llevada por cada soporte se llama una reacción.

(S. Merritt, 1982)



Las vigas a ensayar serán preparadas de acuerdo con el método de ensayo indicado en la NTP 339.044 y NTP 339.045, siempre y cuando se conserve el siguiente criterio.

La viga tendrá una luz libre entre apoyos equivalente a tres veces su altura. Las caras laterales de la viga formaran ángulos rectos con las caras superior e inferior de la misma (Figura N° 12). Todas las superficies deberán ser lisas y libres de porosidad (cangrejeras) o marcas de identificación no apropiadas.

(Indecopi, 2012)

2.2.3.7.2 PROCEDIMIENTO

La prueba de flexión se realizara tan pronto como sea posible, luego de retirar la viga de la cámara de curado. Las vigas con superficie seca arrojan resultados menores en mediciones del módulo de rotura.

Cuando se usan vigas moldeadas, se gira sobre uno de los lados con respecto a la posición de moldeado y se centra sobre las placas de apoyo. Cuando se usan vigas cortadas, se posesiona esta para que la tensión corresponda a la superficie o al fondo de la misma tal como se hizo el corte inicialmente.

(Indecopi, 2012)

El Módulo de Rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de la mezcla.

(American Society for Testing Materials, 2008)

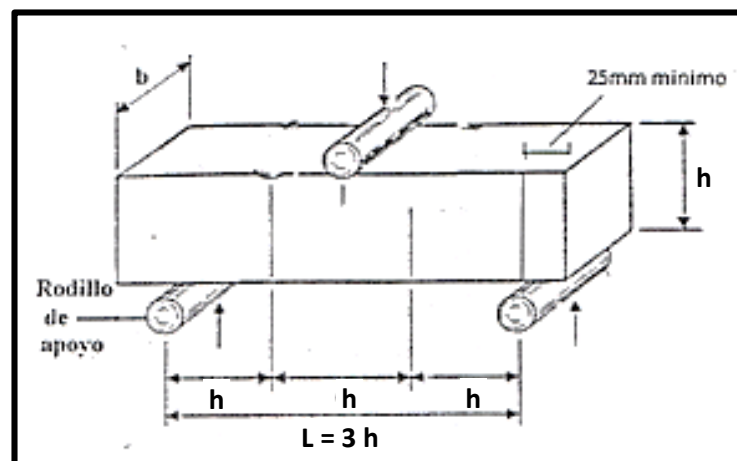
Si no se obtiene un contacto completo entre viga y las placas de aplicación de carga o de apoyo será necesario refrentar, lijar o suplementar con tiras de cuero. Se pondrán utilizar tiras de cuero solamente cuando cualquiera de las superficies de contacto entre la viga y las placas o soportes defieran de un plano en no más de 0.5 mm.

Las tiras de cuero serán de un espesor uniforme de 6 mm y tendrán un ancho comprendido entre 25 mm a 50 mm, se extenderán a todo el ancho de la viga. Aplicar la carga a una velocidad que incremente constantemente la resistencia de la fibra extrema, entre 0.86 MPa/min y 1.21MPa/min, hasta producir la rotura de la viga.

Tomar tres medidas a lo largo de cada dimensión (una en cada extremo y al centro) con aproximación a 1 mm, para determinar el ancho promedio, altura promedio y ubicación de la línea de fractura de la viga en la sección de falla. Si la fractura ocurre en una sección de refrentado, se incluye la medida del espesor de la capa.

(Indecopi, 2012)

FIGURA N° 12
ENSAYO A FLEXIÓN



FUENTE: (NTP 339.079.- Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga en el centro del tramo, 2012).

2.2.3.8 EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Si la falla ocurre dentro del tercio medio de la luz, el módulo de rotura se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$M_r = 3PL/2bh^2$$

Mr: Es el módulo de rotura, kg/cm²

P: Es la carga máxima de rotura, en Kg-f.

L: Es la luz libre entre apoyos, en cm.



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

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de la falla, cm.

(Indecopi, 2012)

NOTA: El peso de la viga no está incluido en los cálculos antes detallados.

El módulo de rotura es el esfuerzo calculado con la fórmula de flexión, y corresponde al momento máximo de flexión que soporta una viga en el momento de la falla. Por lo general es bastante mayor que el esfuerzo unitario máximo real de la viga; pero a veces, se utiliza para comparar la resistencia de vigas con la misma sección transversal y material.

(S. Merritt, 1982)

2.2.3.9 INFORME

El informe incluirá los siguientes datos:

- Identificación de la viga
- Ancho promedio en cm, con aproximación a 1 mm, en la fractura.
- Altura promedio en cm, con aproximación a 1 mm, en la fractura.
- Luz libre entre apoyos, en cm.
- Carga máxima en kg.
- Módulo de rotura en kg/cm².
- Edad de la viga.
- Historia del cuadro y condiciones de humedad de la viga en el momento del ensayo
- Defectos observados en la viga. Si los hubiera.
- Tipo de recubrimiento utilizado.

(Indecopi, 2012)

2.2.3.10 PRECISIÓN

Cuando se trate de un mismo operador en un laboratorio (UNI OPERADOR), el coeficiente de variación se ha establecido en 5.7% luego los resultados de dos ensayos sobre vigas de una misma tanda, no difieran en más de 16%.

Cuando se trate de varios laboratorios (MULTILABORATORIO), el coeficiente de variación se ha establecido en 7.0% luego los resultados de dos ensayos sobre vigas de una misma tanda, no difieran en más de 19%.

(Indecopi, 2012)

2.2.3.11 DESVIACIÓN

En la presente norma no se establece la desviación mientras no sea aceptado un procedimiento normalizado para determinarla.

(Indecopi, 2012)

2.2.4 MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN BRIQUETAS

La resistencia es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación. Por lo general, se determina por la resistencia final de una probeta en compresión; pero, en ocasiones por la capacidad de flexión o de tensión. Como el concreto suele aumentar su resistencia en un periodo largo, la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad.

(S. Merritt, 1982)

La resistencia del concreto está definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad.

(Rivva López, Concreto: Diseño de Mezclas, 2014)

2.2.4.1 OBJETO

La presente Norma establece el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas, moldeadas con hormigón o de testigos diamantinos extraídos de concreto endurecido. Se limita a concretos que tienen un peso unitario mayor de 800 kg/cm².

(American Society for Testing Materials, 2008)

"La verificación del cumplimiento de los requisitos para $f'c$, se basará en los resultados de probetas de concreto preparadas y ensayadas de acuerdo a las Normas. Se considera como un ensayo de resistencia, al promedio de los resultados de dos probetas cilíndricas preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a los 28 días de moldeadas las probetas"

(Reglamento Nacional de Edificaciones, 2015)

2.2.4.2 REFERENCIAS NORMATIVAS

NTP 400.002:1968	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Terminología y definiciones.
NTP 339.034:1999	CONCRETO. Método de Ensayo a la Compresión de probetas de concreto.
ASTM C39:2015	CONCRETO. Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto

2.2.4.3 RESUMEN DEL MÉTODO

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial en compresión a los moldes cilíndricos o corazones en una velocidad tal que esté dentro del rango especificado antes que la falla ocurra.

El esfuerzo a la compresión de la muestra está calculado por el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra.

El esfuerzo a la compresión del espécimen es calculado dividiendo la máxima carga obtenida durante el ensayo por el área de la carga axial del espécimen. Los resultados a la compresión obtenidos pueden depender de la forma y el tamaño del espécimen, la pasta del cemento, los procedimientos de la mezcla, los métodos de muestreo, fabricación, la edad y las condiciones de humedad durante le curado.

(American Society for Testing Materials, 2008)

Un resultado de prueba es el promedio de por lo menos dos pruebas de resistencia curadas de manera estándar o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensayo de la misma edad. En la mayoría de los casos, los requerimientos de la resistencia para el concreto se realizan a los 28 días.

(American Society for Testing Materials, 2008)

2.2.4.4 APARATOS Y MUESTRAS

2.2.4.4.1 MÁQUINA DE ENSAYO

La máquina de ensayo es de cualquiera de los tipos de uso corriente, de suficiente capacidad y capaz de mantener una velocidad de carga continua y uniforme.

El porcentaje de error para las cargas, dentro del rango de su utilización, no excederá de $\pm 1.0\%$.

Deberá tener espacio suficiente para colocar la probeta de ensayo con comodidad, así como los dispositivos de calibración.

(American Society for Testing Materials, 2008)

La máquina estará provista de dos bloques de acero de superficie sólida, entre los cuales se comprimen las probetas sometidas al ensayo.

Los puntos de las superficies de contacto de ambos cabezales con las correspondientes bases de la probeta, no se deben apartar más de 0.025 mm de la superficie de un plano. Los bloques nuevos tendrán la mitad de esta tolerancia.

El diámetro de la superficie plana de cada uno de los cabezales será por lo menos igual y preferentemente algo mayor que el diámetro de la probeta.

(American Society for Testing Materials, 2008)

Los moldes para especímenes o fijadores que están en contacto con el concreto deben ser hechos de acero, hierro fundido, u otro material no absorbente, no reactivo con el concreto que contenga cemento portland u otros

cementos hidráulicos. Los moldes deben cumplir con las dimensiones y tolerancias especificadas en el método para los especímenes que requieran. Los moldes deben mantener sus dimensiones y forma bajo todas las condiciones de uso. Los moldes reusables deben ser ligeramente recubiertos con aceite mineral o un material desencofrante no reactivo adecuado, antes de su uso.

(American Society for Testing Materials, 2008)

2.2.4.4.2 MUESTRAS

- Las probetas de ensayo deben cumplir en cuanto a dimensiones, preparación y curado con las normas NTP.339.033 y NTP.339.034, según se trate de probetas de obra o de laboratorio.
- Las probetas se ensayan inmediatamente después de ser retiradas del agua o de la cámara de curado. En caso que debe transcurrir cierto tiempo entre el curado y el ensayo, se mantienen húmedas, cubriéndolas con paños y lienzos humedecidos, hasta el momento del ensayo. El ensayo se realiza con la probeta en estado húmedo.

(Indecopi, 2009)

2.2.4.5 MEDICIONES

El diámetro de la probeta se determina, mediante un calibrador micrométrico, con la aproximación de 0.1 mm promediando las longitudes de dos diámetros normales medidos en la zona central de la probeta. La altura de la probeta, incluyendo las capas de terminado se miden con aproximación al milímetro.

(Indecopi, 2009)

2.2.4.6 ENSAYO

2.2.4.6.1 COLOCACIÓN DE LA PROBETA

Antes de iniciar cada ensayo, se limpian cuidadosamente las superficies planas de contacto de los bloques superior e inferior de la máquina y también ambas bases de cada probeta. Se coloca la probeta sobre el bloque inferior de apoyo, y se centra sobre la superficie del mismo, tratando que la probeta quede centrada con el bloque superior.

(Indecopi, 2012)

2.2.4.6.2 VELOCIDAD DE LA CARGA

La carga deberá ser aplicada en forma continua, evitando choques, se aplicará la velocidad de carga continua y constante, desde el inicio hasta producir la rotura de la probeta registrando el valor de la carga máxima, el tipo de rotura y además toda la observación relacionada con el aspecto del concreto en la zona de rotura. Se podrá aplicar una velocidad de carga inicial mayor hasta llegar a la mitad de carga resistente esperada, luego reducirla a velocidad continua y constante, hasta producir la rotura de la probeta. En los momentos finales del ensayo, cuando la probeta se deforma rápidamente, no se debe modificar la velocidad de aplicación de la carga.

(Indecopi, 2009)

2.2.4.7 EXPRESIÓN DE RESULTADOS

La resistencia a la compresión de la probeta se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{4G}{\pi d^2}$$

Dónde:

- R_c : Es la resistencia de rotura a la compresión, en kilogramos por centímetro cuadrado.
- G : Es la carga máxima de rotura, en kilogramos.
- d : Es el diámetro de la probeta cilíndrica, en centímetros.

(American Society for Testing Materials, 2008)

Si la relación altura/diámetro (L/D) de la probeta es menor de 1.8, corregir el resultado obtenido multiplicando por el correspondiente factor de corrección:

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

(Indecopi, 2009)



El módulo y la resistencia aumenta con la edad. La resistencia puede aumentarse disminuyendo la proporción agua – cemento, utilizando agregados para mayor resistencia, graduando los agregados para producir menor porcentaje de huecos en el concreto, curando el concreto en húmedo después de que ha fraguado, añadiendo una puzolana como ceniza ligera, vibrando el concreto en las formas o cimbras y succionando el exceso de agua, del concreto que está en las formas, con una bomba de vacíos.

(S. Merritt, 1982)

2.2.5 PAVIMENTO

Estructura compuesta por capas que apoyo en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla por un lapso denominado Periodo de Diseño y dentro de un rango de Serviciabilidad. En definición incluye pistas, estacionamientos, aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías.

En ingeniería, es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el concreto y las mezclas asfálticas. El pavimento es la superficie de rodamiento para los distintos tipos de vehículos, formada por el agrupamiento de capas de distintos materiales destinados a transmitir las cargas aplicadas por el tránsito. Existen cuatro tipos de pavimentos, los flexibles (asfalto), los semirígidos, articulados y rígidos (concreto hidráulico).

(NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS, 2010)

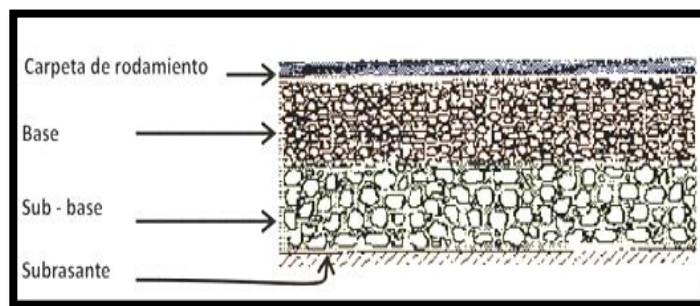
Según (Chacón & Pinto, 2013), los tipos de pavimento son:

2.2.5.1 TIPOS DE PAVIMENTOS

2.2.5.1.1 PAVIMENTO FLEXIBLE

Es una estructura formada por: subrasante, subbase, base, carpeta asfáltica. Este es un pavimento que resulta más económico en comparación al pavimento rígido, este tiene un periodo de vida que oscila entre los diez y quince años, pero por otro lado necesita un mantenimiento constante para concluir con su vida útil.

FIGURA N° 13
SECCIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE



FUENTE: MANUAL PARA LA REVISIÓN DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS

Cumple los siguientes propósitos:

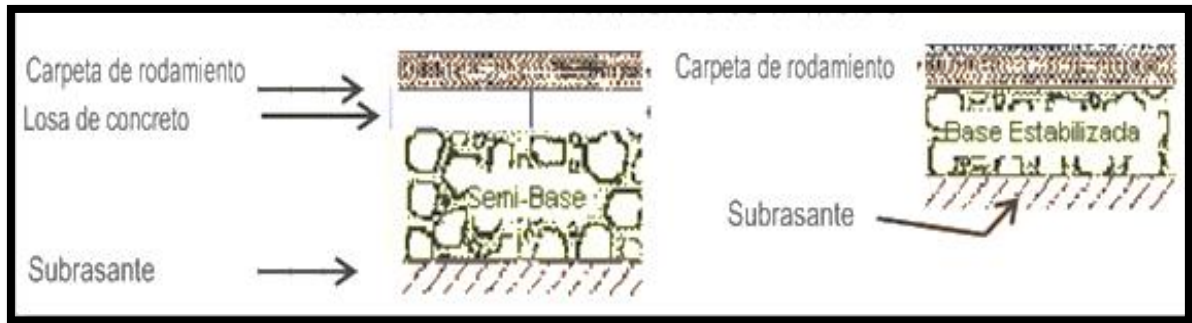
- Soportar y transmitir las cargas que se presenten con el paso de los vehículos.
- Ser suficientemente impermeable.
- Soportar el desgaste producido por el tránsito y por el clima.
- Mantener una superficie cómoda y segura (antideslizante), para el rodamiento de los vehículos.
- Mantener un grado de flexibilidad para cubrir los asentamientos que presente la capa inferior (base o subbase).

2.2.5.1.2 PAVIMENTO SEMIRÍGIDO

Es un pavimento especial ya que es una estructura combinada compuesta por una carpeta bituminosa flexible apoyada sobre estructuras rígidas como losas antiguas de concreto o bases estabilizadas con cementos similares. Su análisis

es complejo debido a la rigidez de las capas. Si el espesor no es adecuado, en ocasiones refleja las grietas preexistentes en las losas de concreto. Guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible exceptuando su componente rígido.

FIGURA Nº 14
SECCIÓN DE UN PAVIMENTO SEMI RÍGIDO

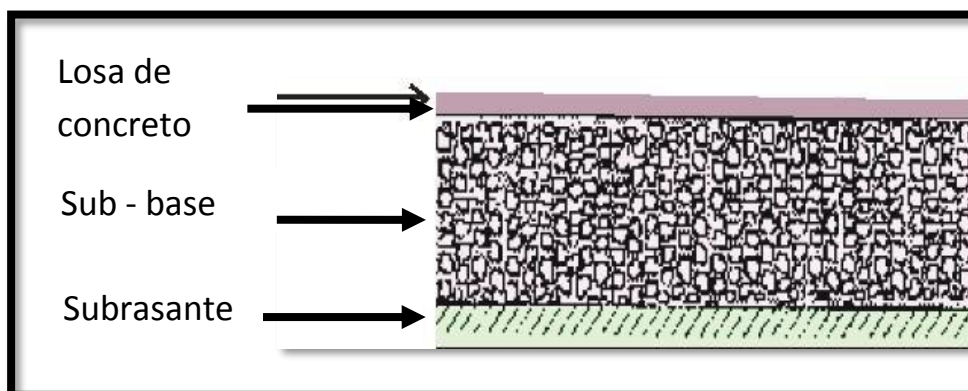


FUENTE: MANUAL PARA LA REVISIÓN DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS

2.2.5.1.3 PAVIMENTO RÍGIDO

Estos pavimentos se conforman por una subbase y una losa de concreto hidráulico, la cual le va a dar una alta resistencia a la flexión. Además de los esfuerzos a flexión y compresión, este tipo de pavimento se va a ver afectado en gran parte los esfuerzos que tenga que resistir al expandirse o contraerse por los cambios de temperatura y condiciones climáticas.

FIGURA Nº 15
SECCIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO



FUENTE: MANUAL PARA LA REVISIÓN DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS

En su diseño toma como parámetros los siguientes conceptos:

- Volumen, tipo y peso de los vehículos que transitarán por esa vialidad.
- Módulo de reacción de la subrasante.
- Resistencia del concreto que se va a utilizar.
- Condiciones climáticas.

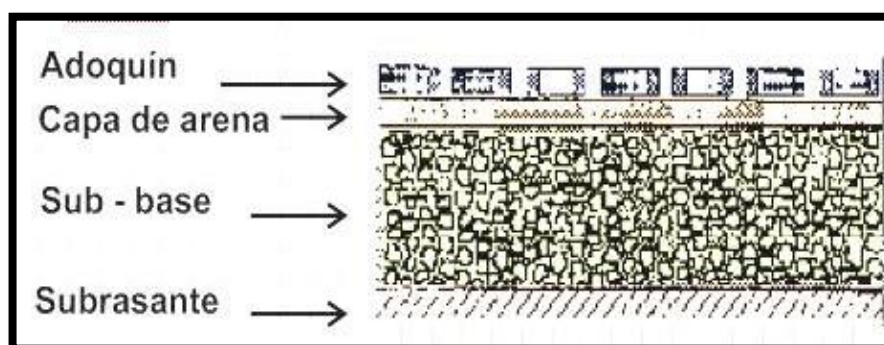
2.2.5.1.4 PAVIMENTO ARTICULADO

Un pavimento articulado, es aquel pavimento formado típicamente por una base granular, una capa o cama de arena de asiento, los adoquines intertrabados de concreto, la arena de sello, los confinamientos laterales y el drenaje, construido sobre una subrasante de suelo preparado para recibirlo.

Los pavimentos de adoquines intertrabados se construyen de tal manera que las cargas verticales de los vehículos se transmitan a los adoquines intertrabados adyacentes por corte a través de la arena de sello de las juntas.

Su diseño, contempla la existencia de una subrasante, subbase, capa de arena y adoquín. Como todo pavimento, debe estar de acuerdo con la capacidad de soporte de la subrasante para prevenir su deformación

FIGURA Nº 16
SECCIÓN DE UN PAVIMENTO ARTICULADO



FUENTE: MANUAL PARA LA REVISIÓN DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS

2.2.5.2 DISEÑO DE PAVIMENTOS

El diseño de pavimento está conformado por dos grandes fases:

- **La definición de factores objetivos o externos.**

Estos aspectos no dependen directamente del método del diseño o del analista y están relacionados con las circunstancias o ambiente del proyecto. Los más importantes son los siguientes:

- Caracterización del material de la sub-rasante, fundaciones o calidad de suelos.
- Tránsito y su cuantificación.
- Materiales y mezclas disponibles que serán empleados en el pavimento.
- El clima

- **La determinación de los espesores de capas.**

Ambas etapas deben ser desarrolladas simultáneamente: cada una depende de la otra; los espesores resultantes serán función de las características de los materiales y mezclas empleados en su construcción, y los espesores podrán condicionar las exigencias del clima y calidad que se impongan sobre los materiales a ser empleados en el pavimento.

Para decidir qué tipo de pavimento se ha de utilizar hay muchos factores los cuales deben ser analizados detalladamente con el fin de tomar una decisión que haga óptimo el diseño de acuerdo a las necesidades, así como los insumos con los que se cuenta. Los cuales puedan ser contrastados en una posterior verificación.

(Ministerio de Transporte e Infraestructura de Nicaragua, 2008)

2.2.5.3 DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Según (Instituto Boliviano del Cemento y el hormigón, 2009):

2.2.5.3.1 METODO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

El método de la Portland Cement Association de los Estados Unidos, sirve para determinar los espesores de losas que sean apropiados para soportar las cargas de tráfico en calles, caminos y carreteras de concreto.

El propósito de diseño es el mismo para otras estructuras de ingeniería: obtener el espesor mínimo que resultará en el costo anual más bajo, para los



costos de inversión inicial y de mantenimiento. Si el espesor es mayor de lo necesario, el pavimento prestará un buen servicio con bajos costos iniciales. Una correcta ingeniería requiere que los diseños de espesores, balanceen apropiadamente el costo inicial y los costos de mantenimiento.

Mientras que nos centraremos en el tópico del diseño de espesores, otros aspectos de diseño son igualmente importantes para asegurar el buen funcionamiento y la duración del pavimento de concreto. Estos son:

- Provisión para un soporte razonablemente uniforme.
- Prevención del “bombeo” o expulsión de lodo en el caso de subbases relativamente delgadas, ya sean tratadas o no tratadas con cemento, en caso que el tráfico esperado de camiones sea suficientemente grande como para causarlo.
- Uso de un diseño de juntas que garantice una adecuada transferencia de cargas y facilite el uso de sellos si son requeridos para hacerlas efectivas, prevenga daños de las mismas debido a filtraciones.
- Uso de un diseño de mezclas y agregados que proporcionen un concreto de buena calidad, con la resistencia y durabilidad necesarias, bajo las condiciones actuales de exposición.
- Los criterios de diseño de espesores sugeridos están basados en la experiencia del comportamiento general de pavimentos.

Si se dispone de experiencia del comportamiento específico regional o local en condiciones más favorables o adversas, los criterios de diseño pueden ser apropiadamente modificados. Estas condiciones particulares pueden ser de clima, suelos o drenaje e innovaciones futuras en los diseños.

2.2.5.3.2 APLICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

Los procedimientos de diseño dados se aplican a los siguientes tipos de pavimentos de concreto: simple, simple con pasajuntas, con refuerzo discontinuo y con refuerzo continuo.



Los pavimentos de concreto simple se construyen sin acero de refuerzo y sin barras pasajuntas en las juntas (dowels). La transferencia de cargas es obtenida por una trabazón (interlock) de agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas.

Los pavimentos de concreto simple con pasajuntas se construyen sin acero de refuerzo; sin embargo, se instalan barras lisas de acero liso (denominadas pasajuntas) en cada junta de contracción como elementos de transferencia de cargas, empleándose espaciamientos relativamente cortos entre juntas para controlar el agrietamiento.

Los pavimentos reforzados contienen además del acero de refuerzo, barras, pasajuntas para, la transferencia de cargas en las aberturas de contracción. Estos pavimentos son construidos con espaciamientos de juntas mayores que los usados en pavimentos reforzados.

Usualmente se desarrollan una o más fisuras transversales entre las juntas de contracción, las cuales se mantienen cerradas por el acero de refuerzo, consiguiéndose proveer de una buena transferencia de cargas.

Los espaciamientos de juntas comúnmente usados y que trabajan bien, son de 15 pies para pavimentos de concreto simple, no más de 20 pies para pavimentos con pasajuntas y no más de 40 pies para pavimentos reforzados. Espaciamientos mayores a los señalados han sido usados, pero a veces son causa de daños en las juntas y de la formación de fisuras intermedias entre ellas.

Los pavimentos con refuerzo continuo se construyen sin juntas de contracción. Debido al refuerzo de acero continuo relativamente denso en la dirección longitudinal, ellos desarrollan fisuras transversales a intervalos cercanos. Se desarrolla un alto grado de transferencia de cargas en las caras de esas fisuras, que se mantienen firmemente unidas por el acero de refuerzo.

Los procedimientos de diseño que se proporcionan, cubren las condiciones que no han sido directamente tratadas por otros procedimientos. Estos incluyen el reconocimiento de:

1. El grado de transferencia de cargas en las juntas transversales proporcionado por los diferentes tipos de pavimentos descritos.
2. El efecto de utilizar una berma de concreto adyacente al pavimento. Las bermas de concreto reducen los esfuerzos flectores y las deflexiones causadas por las cargas.
3. El efecto de usar una subbase de concreto pobre, la cual reduce los esfuerzos y deflexiones del pavimento, dotando de un soporte considerable cuando los camiones pasan sobre las juntas y de resistencia a la erosión de la subbase causadas por las deflexiones repetidas del pavimento.
4. Dos criterios de diseño: (a) fatiga, para mantener los esfuerzos del pavimento debidos a la acción de cargas repetidas, dentro de los límites seguros previniendo así el agrietamiento por fatiga; y (b) erosión, para limitar los efectos de las deflexiones del pavimento en el borde de las losas, juntas y esquinas controlando así la erosión de la fundación y de los materiales de las bermas.

El criterio por erosión es necesario ya que algunas formas de daños del pavimento tales como bombeo, fallas y daños de las bermas no son debidos a la fatiga.

5. Los ejes triples pueden ser considerados en el diseño. Mientras que las configuraciones convencionales para ejes simples y tándem, son aún las cargas predominantes en las carreteras, el uso de ejes triples (Trídem) van en aumento. Ellos se observan en algunas carreteras para camiones pesados y en carreteras especiales para transporte de carbón de piedra u otros minerales. Los ejes trídem pueden ser más dañinos por el criterio de erosión (deflexión) que por el criterio de fatiga.

La selección de un espesor adecuado está condicionada a la elección de otras características de diseño – sistema de juntas, tipo de subbase si es necesaria, y tipo de berma. Con esas condiciones adicionales de diseño, los

requerimientos de espesor de diseño alternativos, los cuales incluyen el costo, pueden ser comparados directamente.

2.2.5.3 BASES PARA EL DISEÑO

Los métodos de diseño de espesores presentados, se basan en el conocimiento de la teoría de pavimentos, en su comportamiento, y en experiencias de investigación de las siguientes fuentes:

1. Estudios teóricos del comportamiento de las losas del pavimento realizados por Westergaard, Pickett y Ray, y recientes análisis de cómputo desarrollados por elementos finitos, uno de los cuales es usado como la base para éste procedimiento de diseño.
2. Pruebas y modelos a escala natural tales como los Ensayos de Arlington y varios proyectos de investigación conducidos por la PCA y otras agencias sobre subbases, juntas y bermas de concreto.
3. Pavimentos experimentales sujetos a pruebas de tráfico controlado, tales como los siguientes tramos carreteros: Experimentales (Road Test): Bates; Pittsburg; Maryland; AASHTO y estudios de pavimentos de carreteras en servicio realizados por varios departamentos estatales de transporte.
4. El comportamiento de pavimentos construidos normalmente, sujetos a tráfico mixto normal.

Todas estas fuentes de conocimiento son útiles. Sin embargo, el conocimiento obtenido del comportamiento de pavimentos construidos normalmente es la más importante. De acuerdo a ello, es esencial examinar la relación de los roles que el comportamiento y la teoría juegan en un procedimiento de diseño.

Métodos teóricos sofisticados desarrollados en años recientes permiten que las respuestas del pavimento – esfuerzos, deflexiones, presiones sean modeladas con más precisión. Estos análisis teóricos son una parte necesaria de un procedimiento de diseño mecanístico, porque ellos permiten la consideración de un rango completo de combinaciones de las variables de diseño.

Un segundo aspecto importante del procedimiento de diseño es el criterio aplicado a los valores teóricos computados – valores limitantes permisibles de esfuerzos. Deflexiones o presiones. Definiendo así el criterio de que los resultados de diseño son reflejo de la experiencia del comportamiento del pavimento y que los datos de investigaciones son fundamentales en el desarrollo de un procedimiento de diseño.

2.2.5.3.4 FACTORES DE DISEÑO

Después de seleccionar el tipo de pavimento de concreto (pavimento simple con o sin pasajuntas, pavimento reforzado con juntas con pasajuntas, o pavimento continuamente reforzado), tipo de subbase si es necesaria, y tipo de berma (con o sin berma de concreto, sardinel y cuneta o sardinel integral); el espesor de diseño es determinado en base a los cuatro factores siguientes:

1. Resistencia del concreto a la flexión (módulo de rotura MR).
2. Resistencia de la subrasante, o subrasante y subbase combinadas (k).
3. Los pesos, frecuencias, y tipos de cargas axiales de camión que el pavimento soportará.
4. El periodo de diseño, que en éste y otros procedimientos usualmente es considerado como de 20 años, pudiendo ser más o menos.

(Instituto Boliviano del Cemento y el hormigón, 2009)

2.2.5.4 FALLAS USUALES EN PAVIMENTOS

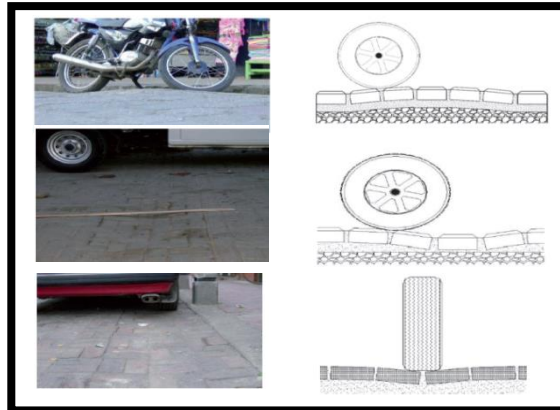
Según (Higuera Sandoval & Pacheco Merchán, 2010):

2.2.5.4.1 PAVIMENTO ARTICULADO

2.2.5.4.1.1 DEFORMACIONES EN LA SUPERFICIE DE ACABADO DEL PAVIMENTO

Una vez el pavimento articulado es dado al uso para el tráfico de vehículos, se pueden presentar deformaciones en la superficie acabada del pavimento. Las causas de estas deformaciones pueden ser varias. Casi siempre están relacionadas con deficiencias en la base del pavimento, o a la existencia de tuberías enterradas bajo el pavimento que pueden estar rotas o sus brechas mal compactadas.

FIGURA Nº 17

ABULTAMIENTO Y DEPRESIONES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS

FUENTE: PATOLOGÍA DE PAVIMENTOS ARTICULADOS

2.2.5.4.1.2 PÉRDIDA DEL SELLAMIENTO EN PAVIMENTOS ARTICULADOS

Si durante la vida útil de un pavimento articulado se presenta pérdida de la arena fina que hace el sellamiento entre ellos, debe hacerse su reposición para evitar que el agua penetre entre los adoquines y pueda dañar la capa de arena de apoyo y la base. La operación de reposición de la arena de sellamiento no debe ser considerada como una reparación sino más bien como una operación de mantenimiento preventivo del pavimento.

Entre las principales causas de este problema podemos mencionar: El lavado del pavimento con chorro de manguera y una excesiva escorrentía superficial por deficiencias en el drenaje superficial del pavimento.

FIGURA Nº 18

JUNTAS ABIERTAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO

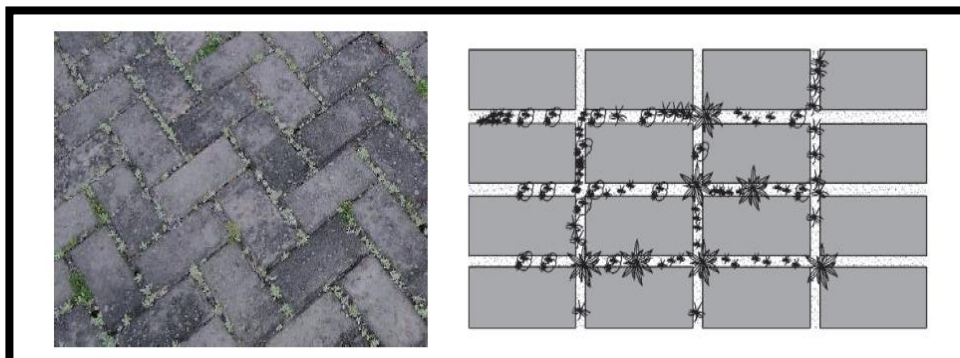
FUENTE: PATOLOGÍA DE PAVIMENTOS ARTICULADOS

2.2.5.4.1.3 CRECIMIENTO DE MATERIAL VEGETAL EN PAVIMENTOS ARTICULADOS

En las zonas del pavimento articulado que presenten tráfico muy bajo, es común que aparezca el crecimiento de material vegetal entre los adoquines. Este material vegetal no afecta para nada la estabilidad del pavimento pero si daña su aspecto estético.

La principal causa de este problema es el poco tráfico sobre la zona, lo cual permite el crecimiento natural de hierbas o maleza sobre la arena de sellamiento entre los adoquines, y la falta de mantenimiento estético del pavimento.

FIGURA Nº 19
CRECIMIENTO DE MATERIAL VEGETAL EN EL PAVIMENTO ARTICULADO



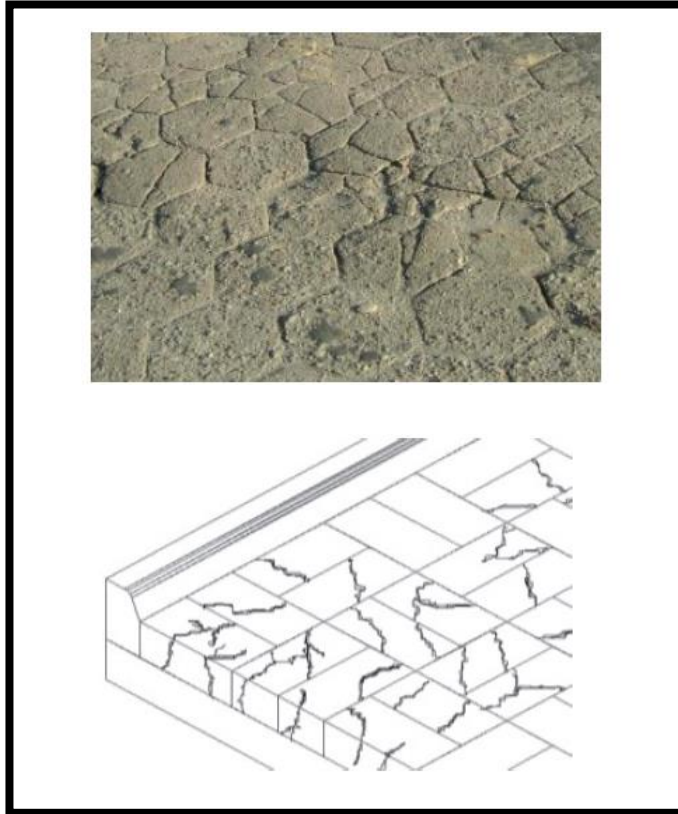
FUENTE: PATOLOGÍA DE PAVIMENTOS ARTICULADOS

2.2.5.4.1.4 FRACTURAMIENTO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS:

Si durante la vida útil del pavimento articulado se presenta fracturamiento exagerado de las piezas, es signo de que existe un problema grave en él.

La causa de este problema puede ser un error en la selección del tipo de adoquín de acuerdo al tráfico esperado en el pavimento, una deficiencia en la calidad de los adoquines, o finalmente, extraño pero ocurre con frecuencia, que se tiene un tráfico sobre el pavimento superior en exigencia al considerado en el diseño.

FIGURA N° 20
FRACTURAMIENTO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS



FUENTE: PATOLOGÍA DE PAVIMENTOS ARTICULADOS

2.2.5.4.2 PAVIMENTO RÍGIDO

Según (José Heredia & asociados C.A., 2004)

2.2.5.4.2.1 GRIETAS

Las grietas son manifestaciones muy frecuentes de fallas causadas por la contracción del concreto, expansión de las losas de pavimento, defectos del suelo de fundación, acción de cargas de tráfico, falta de juntas de expansión, contracción o de construcción.

Los tipos de grietas son:

- Grietas de esquina
- Grietas diagonales
- Grietas longitudinales
- Grietas de restricción
- Grietas transversales

En el presente trabajo las grietas se han clasificado según su severidad, y se han identificado con la letra "G". Los niveles de severidad identificados son:

Baja, media y alta severidad. Para mayor entendimiento, los tipos de grietas se han dibujado en cada losa, exactamente como se presentan:

- G1 = Grieta de baja severidad
- G2 = Grieta de mediana severidad
- G3 = Grieta de alta severidad

- **GRIETAS DE ESQUINA**

Son grietas diagonales que forman un triángulo con el borde o junta longitudinal y una junta o grieta transversal. Estas grietas pueden originarse por acción de las cargas de tránsito sobre esquinas sin soporte o por alabeo de las losas.

También se originan por acción de las cargas sobre áreas débiles de la subrasante como se muestra en la Figura N° 21.