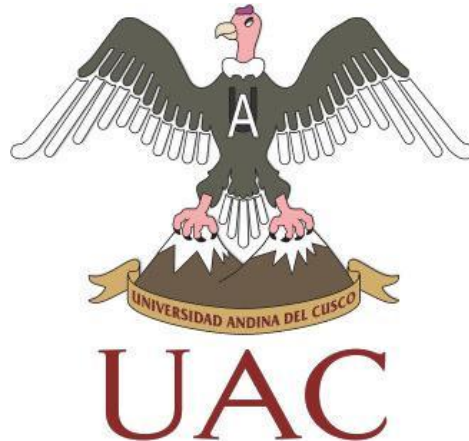




# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

---

**“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS  
DEL ADOQUÍN 8 – TIPO II, UTILIZANDO AGREGADO GRUESO  
PROCEDENTE DEL CONCRETO RECICLADO SELECCIONADO, AGREGADO  
FINO DE LA CANTERA DE CUNYAC Y VICHO, CEMENTO IP Y AGUA  
POTABLE COMPARADO SEGÚN LA NTP 399.611”**

---

**PRESENTADO POR:**

BACH. ABELARDO LOVON BAUTISTA.

BACH. DAVID RICAR LOVON JOVE.

**Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil**

**ASESOR:**

ING. MITSY ELENA GUDIEL CARDENAS.

**CUSCO 2019**

**DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo de investigación primeramente a mis padres Policarpo Ambrocio Lovón Barrios y Nazaria Jove Tarraga, por ser ejemplo de lucha y perseverancia, por brindarme su apoyo incondicional y brindarme una educación basada en valores y un amor tan grande que hacen posible este momento tan importante en mi vida.*

*A mis hermanas Carmen Rosa, Karen Milagros y Martha por su apoyo y amor a lo largo de mi vida.*

*A mis tíos, en especial a Vicente Jove Tárraga y Florencio Jove Tárraga quienes desde muy pequeño supieron guiar mi vida y ser un ejemplo a seguir.*

*A mi esposa Flor Yesenia Palomino López y a mis dos hermosos hijos Frank Gabriel Lovón Palomino y Thyago David Lovón Palomino quienes son la razón de mi vida.*

*David Richar Lovón Jove.*

*Este trabajo de investigación es dedicado a Dios el señor que todo lo puede, por avernos dado la vida, la fortaleza, mostrarnos el camino correcto, para alcanzar este punto tan importante de nuestra formación profesional.*

*A mis padres*

*Para mi madre Luzmila Bautista Bolívar por su apoyo en los momentos Difíciles, consejos, comprensión, ayuda y amor.*

*A mi padre Laureano Lovon Rojas por acompañarme desde el cielo en cada paso de mi vida.*

*Al amor de mi vida Kenberlin por brindarme todo su amor, por compartir conmigo momentos únicos y maravillosos, por su confianza, comprensión y apoyo.*

*A nuestra asesora de tesis Ing. Mitsy por brindarme su confianza, por todas sus enseñanzas y por formar parte importante de este trabajo.*

*Abelardo Lovón Bautista.*

**AGRADECIMIENTO.**

*Primeramente, agradecemos a la Universidad Andina del Cusco por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar nuestra carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.*

*Agradecemos también a nuestra asesora de Tesis Ing. Misti Elena Gudiel Cárdenas por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como haber tenido toda la paciencia del mundo para guiarnos durante todo el desarrollo de la tesis.*

*Nuestro agradecimiento a todos los que fueron compañeros de clase durante todos los niveles de Universidad ya que gracias al compañerismo amistad y apoyo moral que han aportado en un alto porcentaje a nuestras ganas de seguir adelante en la carrera profesional.*

**RESUMEN**

*Entre los grandes problemas medio ambientales que soporta nuestro planeta y la Ciudad del Cusco, es de gran importancia la realización de investigaciones que promuevan el uso de materiales reciclables y la reducción de los residuos.*

*En el presente trabajo de Tesis denominado “Evaluación Comparativa de las Propiedades Físico-Mecánicas del Adoquín 8 – Tipo II, Utilizando Agregado Grueso Procedente del Concreto Reciclado Seleccionado, Agregado Fino de la Cantera de Cunyac y Vicho, Cemento IP y Agua Potable Comparado Según la NTP 399.611” se evalúan las características físico mecánicas más importantes de los adoquines utilizando agregado grueso reciclado, diferentes porcentajes de agregados fino, su porcentaje de absorción de agua, la resistencia a la compresión y la resistencia al desgaste. Para la elaboración de los adoquines y la evaluación de estas propiedades, se usaron las briquetas obtenidas del laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Universidad Andina del Cusco fueron triturados y evaluados como agregado, con el cual se elaboraron las mezclas; previamente diseñados según proporciones agregado natural y reciclado encontradas en estudios previos, teniendo en cuenta la proporción agua cemento recomendada la NTP 399.611 para la fabricación de adoquines.*

*Se demuestra que el rango en que oscila la magnitud de las propiedades físico mecánicas de un adoquín 8 tipo II según la Norma Técnica Peruana NTP 399.611 utilizando agregado grueso reciclado provenientes de la fractura de briquetas de concreto de calidad  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, y agregado fino natural provenientes de la cantera de Cunyac y Vicho, cemento tipo IP y agua potable de la red pública de la ciudad del Cusco evaluados según los parámetros que establece la NTP 339.66.09. se aproxima a los valores prescritos Ya que revisando los datos obtenidos en el diseño de mezclas (tabla 83), técnicamente resulta viable reemplazar el agregado natural por agregado grueso reciclado para la fabricación de adoquines 8 tipo II.*

*El Adoquín 8 Tipo II producido en la investigación cumple con los parámetros que indica la NTP 399.611 (resistencia a la compresión, tolerancia dimensional, absorción), y podrán ser utilizados para tránsito vehicular ligero.*

**ABSTRACT**

*Among the major environmental problems that our planet and the City of Cusco endures, it is very important to conduct research that promotes the use of recyclable materials and the reduction of waste.*

*In this thesis work called "Comparative Evaluation Of The Physical-Mechanical Properties Of The Paving Stones 8 - Type II, Using Coarse Aggregate From The Concrete Recycling Selected, Fine Aggregate Of The Quarry Cunyac And Vicho, Cement Ip And Drinking Water Compared According To The NTP 399.611" the most important physical and mechanical characteristics of the paving stones are evaluated using coarse recycled aggregate, different percentages of fine aggregates, their percentage of water absorption, the compressive strength and wear resistance. For the elaboration of the paving stones and the evaluation of these properties, the briquettes obtained from the Laboratory of mechanics of soils and pavements of the Andean University of Cusco were crushed and evaluated as aggregate, with which the mixtures were prepared; Previously designed according to natural and recycled aggregate proportions found in previous studies, taking into account the recommended cement water ratio the NTP 399,611 for the manufacture of paving stones.*

*It is shown that the range in which the magnitude of the physical mechanical properties of a paver 8 type II oscillates according to the Peruvian Technical Standard NTP 399.611 using recycled coarse aggregate from the fracture of quality concrete briquettes  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, and natural fine aggregate from the quarry of Cunyac y Vicho, cement type IP and drinking water of the public network of the city of Cusco evaluated according to the parameters established by the NTP 339.66.09. It is close to the prescribed values Since reviewing the data obtained in the design of mixtures (table 83), it is technically feasible to replace the natural aggregate with recycled coarse aggregate for the manufacture of 8 type II pavers.*

*The Paver 8 Type II produced in the investigation complies with the parameters indicated in NTP 399.611 (compressive strength, dimensional tolerance, absorption), and may be used for light vehicular traffic.*



## INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Cusco existe gran cantidad de briquetas provenientes de los laboratorios de ensayo y de los concretos dañados que se expulsa como escombros a causa de demoliciones de estructuras, los cuales se convierten en un impacto ambiental perjudicial.

También la ciudad del Cusco ha aumentado la construcción y se presume que está sufriendo al agotamiento de los agregados de origen aluvial y los de ladera, generando una gran demanda de dichos materiales naturales principales en la construcción.

En México el reciclaje de concreto para fabricar agregados y sustituir a los naturales ya es una práctica que ha empezado a realizarse, ya que la disponibilidad de bancos de materiales pétreos es cada día más escasa.

(Martínez y Mendoza 2005).

En Europa el uso del agregado de concreto reciclado se incorpora hasta el 30% en una mezcla con agregados naturales, sin hacer modificaciones a los diseños habituales. Y a partir de ahí, realizan las modificaciones de mezclas en la proporción de agua/cemento. En tales casos, no se han encontrado diferencias en la durabilidad y resistencia del concreto.

(Mukesh Limbachiya 2003).

A continuación, se presenta una investigación experimental sobre adoquines de concreto reciclado, las briquetas son trituradas para obtener un agregado grueso y sustituir al agregado natural en la mezcla del adoquín 8 tipo II, para fines prácticos no se obtiene diferencia entre el material proveniente de construcción.

Se propone el agregado grueso reciclado provenientes de la fractura de briquetas de concreto de calidad  $f' = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , y agregado fino natural provenientes de la cantera de Vicho y Cunyac, cemento tipo IP y agua potable de la red pública de la ciudad del Cusco, con respecto a los parámetros normativos que establece la Norma Técnica Peruana NTP 399.611.



La consulta que se nace de la problemática descrita es:

¿En qué medida se modificarán las propiedades físico mecánicas de un adoquín 8 tipo II utilizando agregado grueso reciclado provenientes de la fractura de briquetas de concreto de calidad  $f' = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , y agregado fino natural provenientes de la cantera de Vicho y Cunyac, cemento tipo IP y agua potable de la red pública de la ciudad del Cusco, con respecto a los parámetros normativos que establece la Norma Técnica Peruana NTP 399.611?

Teniendo en cuenta la pregunta, es necesario conocer la resistencia a la compresión sobre el adoquín 8 tipo II y sobre todo saber cuál es la variación en la resistencia a la compresión.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA..... I

AGRADECIMIENTOS..... II

RESUMEN..... III

ABSTRACT..... IV

INTRODUCCIÓN..... V

INDICE.....VII

CONTENIDO

**Capítulo I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 1**

1.1 Identificación del Problema. ....1

1.1.1 Descripción del Problema. .... 1

1.1.2 Formulación Interrogativa del Problema. .... 2

1.2 Justificación e Importancia del Problema. ....3

1.2.1 Justificación Técnica..... 3

1.2.2 Justificación Social..... 3

1.2.3 Justificación por Vialidad..... 3

1.2.4 Justificación por Relevancia..... 3

1.3 Limitaciones de la Investigación.....4

1.4 Objetivos .....5

1.4.1 Objetivo General ..... 5

1.4.2 Objetivos Específicos..... 5

**Capítulo II : MARCO TEÓRICO ..... 6**

2.1 Antecedentes de la Tesis o Investigación Actual. ....6

2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional. .... 6

2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional..... 7

2.2 Aspectos Teóricos pertinentes. ....13

2.2.1 Definición Concreto..... 13

2.2.5 Diseño de Mezclas según Método del American concrete Institute (ACI). 30

2.2.6 Concreto Reciclado..... 34

2.2.7 Pavimentos Definición..... 38

2.3 Hipótesis.....52

2.3.1 hipótesis General ..... 52

2.3.2 Sub Hipótesis ..... 52

2.4 Variables e Indicadores.....53

2.4.1 Variables Independientes..... 53

2.4.2 Variables Dependientes ..... 53





2.4.3 Cuadro de Operacionalización de Variables. ....55

**Capítulo III : METODOLOGÍA..... 56**

3.1 Metodología De La Tesis.....56

    3.1.1 Enfoque de la investigación. .... 56

    3.1.2 Nivel o alcance de la investigación. .... 56

    3.1.3 Método de la investigación..... 56

3.2 Diseño de la Investigación.....56

    3.2.1 Diseño metodológico..... 56

    3.2.2 Diseño de ingeniería. .... 57

3.3 Población y Muestra.....58

    3.3.1 Población. .... 58

    3.3.2 Muestra. .... 58

3.4 Instrumentos.....60

    3.4.1 Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Relaciones de Datos ..... 60

    3.4.2 Instrumentos de Ingeniería ..... 76

3.5 Procedimiento de Recolección de Datos.....82

    3.5.1 Peso unitario suelto del agregado fino (NTP 400.017)..... 86

    3.5.2 Peso unitario compacto del agregado fino (NTP 400.017)..... 89

    3.5.3 Humedad del agregado fino (NTP 339.185) ..... 91

    3.5.4 Granulometría del agregado fino (NTP 400.012). .... 92

    3.5.5 Peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022). .... 94

    3.5.6 Procedimiento de la absorción del agregado fino. .... 97

    3.5.7 Peso unitario suelto del agregado grueso (concreto reciclado). .... 99

    3.5.8 peso unitario compactado del agregado grueso (concreto reciclado). ....100

    3.5.9 Humedad del agregado grueso (concreto reciclado). ....102

    3.5.10 Peso específico y absorción del agregado grueso (concreto reciclado).  
..... 103

    3.5.11 Resistencia al desgaste en agregados gruesos (concreto reciclado). ...105

    3.5.12 Granulometría del agregado grueso (concreto reciclado). ....106

3.6 Procedimiento de Análisis de Datos..... 108

    3.6.1 Peso unitario suelto y compactado (Cunyac) .....108

    3.6.2 Contenido de Humedad. ....112

    3.6.3 Granulometría del Agregado Fino. ....114

    3.6.4 Peso Específico y Absorción Agregado Fino. ....116

    3.6.5 Malla 200. ....118

    3.6.6 Peso unitario suelto y compactado (Vicho) .....119

    3.6.7 Contenido de Humedad. ....123

    3.6.8 Granulometría del Agregado Fino. ....125

    3.6.9 Peso Específico y Absorción Agregado fino Vicho.....127

    3.6.10 Peso unitario suelto y compactado (Concreto Reciclado).....130

    3.6.11 Humedad Agregado Reciclado. ....134

    3.6.12 Peso Específico y Absorción Concreto Reciclado.....135

    3.6.13 Resistencia al Desgaste Concreto Reciclado.....139



3.6.14 Granulometría Concreto Reciclado.....140

3.6.15 Diseño de Mezclas.....142

3.7 Procedimiento Para la elaboración de Adoquines de 20 X 10X 8 CM. Con  
Concreto Reciclado.....151

3.7.1 Control de Calidad para los Adoquines 8 Tipo II, según la NTP 399.611.  
.....157

**Capítulo IV : RESULTADOS.....164**

4.1 Resumen de las Propiedades.....164

4.2 Diseño de Mezclas.....165

4.4 Prueba de Absorción.....177

4.5.1 Absorción de los Adoquines Individual.....183

4.5.2 Absorción de los Adoquines Cada 3 Unidades.....184

4.6 Tolerancia Dimensional.....185

**Capítulo V DISCUSIÓN.....187**

5.1 Glosario.....192

5.2 Conclusiones.....196

5.3 Recomendaciones.....198

Referencias Bibliográficas.....200

Referencias Electrónicas.....203

Anexo.....204

5.3 MATRIZ DE CONSISTENCIA.....205



INDICE DE TABLAS

TABLA 1. VALORES DE MÓDULOS ELÁSTICOS ..... 22

TABLA 2. REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS PARA EL AGREGADO GRUESO..... 22

TABLA 3. REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS PARA EL AGREGADO FINO..... 23

TABLA 4. RESISTENCIA MECÁNICA..... 23

TABLA 5. AGREGADO GLOBAL..... 24

TABLA 6. CONSISTENCIA / ASENTAMIENTO..... 26

TABLA 7. PROMEDIO DE LAS DENSIDADES PARA EL CONCRETO FRESCO..... 28

TABLA 8. PROPIEDADES TÍPICAS DEL CONCRETO..... 29

TABLA 9. F´CR APLICABLE CUANDO NO SE DISPONE DE RESULTADOS PARA DEFINIR LA..... 32

TABLA 10. CANTIDADES APROXIMADAS DE AGUA DE AMASADO PARA DIFERENTE SLUMP, TAMAÑO MÁXIMO DE  
AGREGADO Y CONTENIDO DE AIRE ..... 32

TABLA 11. RELACIÓN AGUA/CEMENTO VS F´C ..... 32

TABLA 12. ASENTAMIENTO RECOMENDADO PARA DIVERSOS TIPOS DE OBRAS ..... 33

TABLA 13. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO COMPACTADO EN SECO PARA DIVERSOS MÓDULOS DE FINEZA DE  
ARENA ..... 33

TABLA 14. FACTOR DE DURABILIDAD DEL CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO DESPUÉS DE UN CICLO  
ACELERADO DE CONGELAMIENTO / DESHIELO..... 36

TABLA 15. REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA AL USAR AGREGADOS RECICLADOS SEGÚN DIVERSOS AUTORES.. 37

TABLA 16. CALCIFICACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS SEGÚN ESTÁNDARES COREANOS..... 37

TABLA 17. TIPO DE TRÁNSITO SEGÚN EL NÚMERO DE VEHÍCULOS PESADOS POR DÍA..... 42

TABLA 18. TIPO DE TRÁNSITO..... 42

TABLA 19. ESPESOR COMPACTADO DE LA BASE DE SUELO CEMENTO, EN CENTÍMETROS ..... 42

TABLA 20. ADOQUINES EVALUADOS..... 58

TABLA 21. ADOQUINES EVALUADOS..... 59

TABLA 22. PESO UNITARIO CUNYAC..... 88

TABLA 23. PESO UNITARIO VICHO..... 89

TABLA 24. PESO UNITARIO COMPACTADO CUNYAC..... 90

TABLA 25. PESO UNITARIO COMPACTADO VICHO..... 90

TABLA 26. HUMEDAD DE CUNYAC..... 92

TABLA 27. HUMEDAD DE VICHO ..... 92

TABLA 28. GRANULOMETRÍA DE CUNYAC..... 94

TABLA 29. GRANULOMETRÍA DE VICHO..... 94

TABLA 30. PESOS ESPECÍFICOS..... 96

TABLA 31. PESO ESPECÍFICO DE VICHO..... 98

TABLA 32. PESO UNITARIO SUELTO CONCRETO RECICLADO ..... 100

TABLA 33. PESO UNITARIO COMPACTADO CONCRETO RECICLADO ..... 102

TABLA 34. HUMEDAD DE CONCRETO RECICLADO ..... 103

TABLA 35. PESO ESPECÍFICO CONCRETO RECICLADO..... 105

TABLA 36. PRUEBA DE ABRASIÓN..... 106

TABLA 37. GRANULOMETRÍA CONCRETA RECICLADO..... 108

TABLA 38. PESO UNITARIO SUELTO CUNYAC..... 109

TABLA 39. PESO UNITARIO COMPACTO CUNYAC..... 111

TABLA 40. HUMEDAD CUNYAC..... 113

TABLA 41. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ..... 114

TABLA 42. PESO ESPECÍFICO CUNYAC..... 117

TABLA 43. MALLA 200 CUNYAC..... 118

TABLA 44. PESO UNITARIO SUELTO VICHO..... 120

TABLA 45. PESO UNITARIO COMPACTADO VICHO..... 122

TABLA 46. HUMEDAD VICHO (CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO)..... 124

TABLA 47. GRANULOMETRÍA VICHO..... 125

TABLA 48. PESO ESPECÍFICO VICHO..... 128



TABLA 49. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN ..... 129

TABLA 50. PESO UNITARIO SUELTO CONCRETO RECICLADO..... 130

TABLA 51. PESO UNITARIO COMPACTADO CONCRETO RECICLADO. .... 132

TABLA 52. CONTENIDO DE HUMEDAD CONCRETO RECICLADO..... 134

TABLA 53. PESO ESPECÍFICO CONCRETO RECICLADO..... 136

TABLA 54. ABSORCIÓN RECICLADO ..... 138

TABLA 55. RESISTENCIA AL DESGASTE CONCRETO RECICLADO..... 139

TABLA 56. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO RECICLADO..... 140

TABLA 57. RESISTENCIA REQUERIDA ..... 142

TABLA 58. CÁLCULO DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LA PASTA POR METRO CÚBICO..... 143

TABLA 59. PESOS SECOS DE LOS MATERIALES POR METRO CÚBICO ..... 144

TABLA 60. GRANULOMETRÍA CUNYAC. .... 145

TABLA 61. GRANULOMETRÍA VICHO. .... 146

TABLA 62. GRANULOMETRÍA CONCRETA RECICLADO. .... 146

TABLA 63. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO COMBINADO. .... 147

TABLA 64. DISEÑO DE MEZCLA ..... 147

TABLA 65. PESOS CORREGIDOS DE LOS MATERIALES POR METRO CÚBICO ..... 148

TABLA 66. PROPORCIÓN EN PESO ..... 149

TABLA 67. PROPORCIÓN EN PESO POR TANDAS DE UNA BOLSA DE CEMENTO ..... 149

TABLA 68. PROPORCIÓN EN PESO POR TANDAS DE UN METRO CÚBICO DE CONCRETO ..... 149

TABLA 69. CÁLCULO DE LOS MATERIALES EN VOLUMEN POR METRO CÚBICO ..... 149

TABLA 70. PROPORCIÓN EN VOLUMEN..... 150

TABLA 71. PROPORCIÓN EN VOLUMEN POR TANDAS DE UNA BOLSA DE CEMENTO ..... 150

TABLA 72. PROPORCIÓN EN VOLUMEN POR TANDAS DE UN METRO CÚBICO DE CONCRETO ..... 150

TABLA 73. PARÁMETROS PARA LA COMPRESIÓN..... 157

TABLA 74. PARÁMETROS TOLERANCIA DIMENSIONAL. .... 161

TABLA 75. PARÁMETROS PARA LA ABSORCIÓN. .... 162

TABLA 76. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS..... 164

TABLA 77. RESISTENCIA PROMEDIO..... 165

TABLA 78. CONSISTENCIA Y ASENTAMIENTOS..... 165

TABLA 79. REQUISITOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLA Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES  
DEPRESIONES Y TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES DE AGREGADOS..... 166

TABLA 80. RELACIÓN AGUA- CEMENTO Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO ..... 167

TABLA 81. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO ..... 168

TABLA 82. VOLÚMENES ABSOLUTOS ..... 169

TABLA 83. DISEÑO DE MEZCLA..... 170

TABLA 84. DISEÑO RESISTENCIA INDIVIDUAL Y PROMEDIO A LOS 7 DÍAS. .... 171

TABLA 85. RESISTENCIA INDIVIDUAL Y PROMEDIO A LOS 14 DÍAS. .... 173

TABLA 86. RESISTENCIA INDIVIDUAL Y PROMEDIO A LOS 28 DÍAS. .... 175

TABLA 87. PRUEBA DE ABSORCIÓN DEL ADOQUÍN CON CONCRETO RECICLADO..... 177

TABLA 88. PRUEBA DE ABSORCIÓN DEL ADOQUÍN CON CONCRETO RECICLADO..... 179

TABLA 89. PRUEBA DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES EN FORMA INDIVIDUAL. .... 180

TABLA 90. PRUEBA DE ABSORCIÓN DEL ADOQUÍN CON CONCRETO RECICLADO..... 181

TABLA 91. DIMENSIONES DE ADOQUINES 8 TIPO II DE CONCRETO RECICLADO..... 185

TABLA 92. PROMEDIOS Y VARIACIONES ..... 186

TABLA 93. TOLERANCIA DIMENSIONAL MÁXIMA..... 186



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CONDICIONES DE OBRA..... 20

FIGURA 2. TIPOS DE SUELOS. .... 41

FIGURA 3. CAPAS DEL PAVIMENTO ADOQUINADO. .... 43

FIGURA 4. PAVIMENTO ADOQUINADO. .... 43

FIGURA 5. TIPOS DE ADOQUINES. .... 44

FIGURA 6. ESPESOR DEL ADOQUÍN. .... 45

FIGURA 7. FORMA DEL ADOQUÍN. .... 45

FIGURA 8. ADOQUINES TIPO 1. .... 46

FIGURA 9. ADOQUINES TIPO 2. .... 46

FIGURA 10. ADOQUINES TIPO 3. .... 47

FIGURA 11. CALIDAD DEL ADOQUÍN. .... 49

FIGURA 12. TRANSPORTE DE LOS ADOQUINES. .... 50

FIGURA 13. MANEJO DE LOS ADOQUINES. .... 50

FIGURA 14. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS. .... 51

FIGURA 15. CORTADO DE ADOQUINES. .... 51

FIGURA 16. PESO UNITARIO SUELTO CUNYAC. .... 109

FIGURA 17. PESO UNITARIO VARILLADO. .... 111

FIGURA 18. CONTENIDO DE HUMEDAD CUNYAC. .... 113

FIGURA 19. GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA. .... 115

FIGURA 20. PESO ESPECÍFICO CUNYAC. .... 117

FIGURA 21. MALLA 200. .... 119

FIGURA 22. PESO UNITARIO SUELTO VICHO. .... 121

FIGURA 23. PESO UNITARIO VARILLADO CUNYAC. .... 123

FIGURA 24. CONTENIDO DE HUMEDAD VICHO. .... 124

FIGURA 25. GRANULOMETRÍA. .... 126

FIGURA 26. PESO ESPECÍFICO VICHO. .... 128

FIGURA 27. ABSORCIÓN. .... 129

FIGURA 28. PESO UNITARIO SUELTO RECICLADO. .... 131

FIGURA 29. PORCENTAJE DE VACÍOS. .... 131

FIGURA 30. PESO UNITARIO VARILLADO RECICLADO. .... 133

FIGURA 31. PORCENTAJE DE VACÍOS. .... 133

FIGURA 32. CONTENIDO DE HUMEDAD. .... 135

FIGURA 33. PESO ESPECÍFICO RECICLADO. .... 137

FIGURA 34. CURVA GRANULOMÉTRICA. .... 141

FIGURA 35. RESISTENCIA INDIVIDUAL A LOS 7 DÍAS EN KG/CM2 Y %. .... 171

FIGURA 36. RESISTENCIA PROMEDIO CADA 3 UNIDADES A LOS 7 DÍAS. .... 172

FIGURA 37. RESISTENCIA PROMEDIO CADA 3 UNIDADES EN % A LOS 7 DÍAS. .... 172

FIGURA 38. RESISTENCIA INDIVIDUAL A LOS 14 DÍAS EN KG/CM2 Y %. .... 173

FIGURA 39. RESISTENCIA PROMEDIO CADA 3 UNIDADES A LOS 14 DÍAS. .... 174

FIGURA 40. RESISTENCIA PROMEDIO CADA 3 UNIDADES EN % A LOS 14 DÍAS. .... 174

FIGURA 41. RESISTENCIA INDIVIDUAL A LOS 28 DÍAS EN KG/CM2 Y %. .... 175

FIGURA 42. RESISTENCIA PROMEDIO CADA 3 UNIDADES A LOS 28 DÍAS. .... 176

FIGURA 43. RESISTENCIA PROMEDIO CADA 3 UNIDADES EN % A LOS 28 DÍAS. .... 176

FIGURA 44. PRUEBA DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES EN FORMA INDIVIDUAL. .... 178

FIGURA 45. PRUEBA DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES PROMEDIO CADA 3. .... 178

FIGURA 46. PRUEBA DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES PROMEDIO CADA 3. .... 180

FIGURA 47. PRUEBA DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES EN FORMA INDIVIDUAL. .... 182

FIGURA 48. PRUEBA DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES PROMEDIO CADA 3. .... 182

FIGURA 49. ABSORCIÓN DE LOS ADOQUINES EN FORMA INDIVIDUAL. .... 183

FIGURA 50. ABSORCIÓN DE LOS ADOQUINES CADA 3 UNIDADES. .... 184



INDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1: AGITADOR MECÁNICO DE TAMICES. 1 ..... 76
FOTOGRAFÍA 2. SERIE DE TAMICES ESTÁNDAR 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4" ..... 76
FOTOGRAFÍA 3. BALANZA DE PRECISIÓN DE 600 GR. PRECISIÓN DE 0.01 GR-M ..... 76
FOTOGRAFÍA 4. BALANZA DE PRECISIÓN DE 8000 GR. PRECISIÓN DE 0.1 GR-M ..... 77
FOTOGRAFÍA 5. BROCHA DE 3 PULGADAS ..... 77
FOTOGRAFÍA 6. PALA DE MANO ..... 77
FOTOGRAFÍA 7 MEZCLADORA DE CONCRETO ..... 78
FOTOGRAFÍA 8. HORNO DIGITAL ..... 78
FOTOGRAFÍA 9. MÁQUINA DE ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES ..... 78
FOTOGRAFÍA 10. EQUIPO DE COMPRESIÓN ..... 79
FOTOGRAFÍA 11. REGLA ..... 79
FOTOGRAFÍA 12. VERNIER ..... 79
FOTOGRAFÍA 13. BARRA COMPACTADORA DE 5/8" DE 60 CM CON PUNTA SEMIESFÉRICA ..... 80
FOTOGRAFÍA 14. TERMÓMETRO DIGITAL ..... 80
FOTOGRAFÍA 15. MARTILLO DE GOMA ..... 80
FOTOGRAFÍA 16. FLEXO METRO ..... 81
FOTOGRAFÍA 17. BRIQUETERAS (MOLDES DE ADOQUÍN) DE 20X10X8 CM ..... 81
FOTOGRAFÍA 18. CILINDROS PARA ALMACENAR EL AGREGADO ..... 81
FOTOGRAFÍA 19. TRASLADO DE BRIQUETAS A CHANCADORA UBICADA EN OROPESA ..... 83
FOTOGRAFÍA 20. CHANCADO PREVIO AL INGRESO A TOLVA DE TRITURACIÓN ..... 83
FOTOGRAFÍA 21. TRASLADO DE MATERIAL A LA TOLVA DE TRITURACIÓN ..... 84
FOTOGRAFÍA 22. TOLVA DE TRITURACIÓN ..... 84
FOTOGRAFÍA 23. VERIFICACIÓN DEL CHANCADO DE BRIQUETAS ..... 84
FOTOGRAFÍA 24. CHANCADO DE BRIQUETAS, TAMAÑO MÁXIMO DE 3/4" ..... 85
FOTOGRAFÍA 25. PRODUCTO FINAL (AGREGADO GRUESO RECICLADO) ..... 85
FOTOGRAFÍA 26. EQUIPO DE TRABAJO ..... 85
FOTOGRAFÍA 27. COLOCACIÓN DE MUESTRA EN EL RECIPIENTE ..... 87
FOTOGRAFÍA 28. ENRASADO DE RECIPIENTE CON VARILLA DE 5/8" ..... 88
FOTOGRAFÍA 29. COMPACTADO DEL AGREGADO FINO ..... 90
FOTOGRAFÍA 30. MUESTRA EN EL HORNO DURANTE 24 HORAS ..... 91
FOTOGRAFÍA 31. TAMIZADO DEL AGREGADO FINO ..... 93
FOTOGRAFÍA 32. ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE AGREGADO FINO (CONO) ..... 95
FOTOGRAFÍA 33. EXTRACCIÓN DE AIRE CON LA BOMBA DE VACÍOS ..... 96
FOTOGRAFÍA 34. ENRASADO DEL AGREGADO GRUESO (CONCRETO RECICLADO) ..... 100
FOTOGRAFÍA 35. COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO (CONCRETO RECICLADO) ..... 101
FOTOGRAFÍA 36. MUESTRA EN EL HORNO ..... 103
FOTOGRAFÍA 37. PESO DEL AGREGADO RECICLADO EN EL AGUA ..... 104
FOTOGRAFÍA 38. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES ..... 106
FOTOGRAFÍA 39. TAMICES PARA EL AGREGADO GRUESO ..... 107
FOTOGRAFÍA 40. LABORATORIO DE SUELOS UAC ..... 151
FOTOGRAFÍA 41. ARENA FINA DE CUNYAC ..... 151
FOTOGRAFÍA 42. ARENA FINA DE VICHO ..... 152
FOTOGRAFÍA 43. AGREGADO GRUESO ..... 152
FOTOGRAFÍA 44. DOSIFICACIÓN DE MATERIALES ..... 152
FOTOGRAFÍA 45. PESADO DE ARENA FINA DE CUNYAC ..... 153
FOTOGRAFÍA 46. PESADO DE ARENA FINA DE VICHO ..... 153
FOTOGRAFÍA 47. PESADO DE AGREGADO GRUESO RECICLADO ..... 153
FOTOGRAFÍA 48. PESADO CEMENTO ..... 154
FOTOGRAFÍA 49. PESADO DE AGUA ..... 154
FOTOGRAFÍA 50. PREPARACIÓN DE MOLDES PARA VACIADO JUNTO A LA ASESORA ..... 154
FOTOGRAFÍA 51. MEZCLADO DE CONCRETO ..... 155



FOTOGRAFÍA 52. CHUSEADO Y ENRASADO DE ADOQUINES. ....	155
FOTOGRAFÍA 53. ADOQUINES DE 20 x 10 x8 CM. ....	155
FOTOGRAFÍA 54. VERIFICACIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO RECICLADO CON LA ASESORA DE TESIS. ....	156
FOTOGRAFÍA 55. CODIFICACIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO RECICLADO 20 x 10 x8 CM.....	156
FOTOGRAFÍA 56. CURADO DE ADOQUINES DE CONCRETO RECICLADO. ....	156
FOTOGRAFÍA 57. CONFIGURACIÓN DE MÁQUINA DE COMPRESIÓN.....	157
FOTOGRAFÍA 58. ROTURA DE LA MUESTRA PATRÓN.....	157
FOTOGRAFÍA 59. ROTURA DE MUESTRA PATRÓN. ....	158
FOTOGRAFÍA 60. ROTURA DE ADOQUÍN ACR-A01.....	158
FOTOGRAFÍA 61. RESULTADO DE ADOQUÍN ACR-A01 .....	158
FOTOGRAFÍA 62. ROTURA DE ADOQUÍN ACR-B01 .....	159
FOTOGRAFÍA 63. RESULTADO DE ADOQUÍN ACR-B01 .....	159
FOTOGRAFÍA 64. ROTURA DE ADOQUÍN ACR-C1 .....	160
FOTOGRAFÍA 65. RESULTADO DE ADOQUÍN ACR-C1.....	160
FOTOGRAFÍA 66. MEDIDA DE ADOQUÍN 8 TIPO II (LONGITUD) .....	161
FOTOGRAFÍA 67. MEDIDA DE ADOQUÍN 8 TIPO II (ANCHO) .....	161
FOTOGRAFÍA 68. MEDIDA DE ADOQUÍN 8 TIPO II (ESPESOR) .....	161
FOTOGRAFÍA 69. ADOQUINES SUMERGIDOS DURANTE 24 HORAS. ....	162
FOTOGRAFÍA 70. ADOQUINES EN ESTADO SSS. ....	162
FOTOGRAFÍA 71. ADOQUINES ACR-A1 EN ESTADO SECO. ....	163
FOTOGRAFÍA 72. ADOQUINES ACR-A1 EN ESTADO SSS. ....	163





## CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### 1.1 Identificación del Problema.

#### 1.1.1 Descripción del Problema.

El crecimiento de la población de la región y principalmente de la ciudad del Cusco van de la mano con el sector de la construcción, pero generan también un efecto negativo en el medio ambiente; tal como es la generación de residuos de construcción y demolición, la depredación de paisajes naturales y principalmente el agotamiento de los recursos naturales y para ello nace las nuevas tecnologías capaces de dar una respuesta ante tal situación

Dentro de la generación de residuos como efecto negativo, esta también los desperdicios de fracturas de briquetas de los laboratorios de concreto, que tiene como destino los botaderos informales, alterando el paisaje y la contaminación de los suelos, acuíferos y humedales.

Viendo estos problemas, este estudio propone el desarrollo del aprovechamiento de fracturas de briquetas de los laboratorios de concreto como agregado de concreto en la producción de adoquín 8 tipo II, para pavimentos destinados al tránsito vehicular ligero en la ciudad del Cusco.

La inexperiencia del comportamiento físico-mecánico que tiene los agregados gruesos derivado de la fractura de briquetas de concreto del laboratorio de la Universidad serán parte del estudio de la fabricación de adoquín 8 tipo II según la Norma Técnica Peruana NTP 399.611.





### **1.1.2 Formulación Interrogativa del Problema.**

#### **1.1.2.1 Formulación Interrogativa del Problema General.**

¿En qué rango oscilan las magnitudes de las propiedades físico mecánicas de un adoquín 8 tipo II utilizando agregado grueso reciclado provenientes de la fractura de briquetas de concreto de calidad  $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$ , y agregado fino natural provenientes de la cantera de Vicho y Cunyac, cemento tipo IP y agua potable de la red pública de la ciudad del Cusco, evaluados según los parámetros que establece la Norma Técnica Peruana NTP 399.611?

#### **1.1.2.2 Formulación Interrogativa de los Problemas Específicos.**

##### **Formulación Interrogativa Nro. 01.**

¿Cuál es la resistencia a compresión mínima de un adoquín 8 tipo II utilizando como agregado grueso concreto reciclado y agregados finos de las canteras de Cunyac y Vicho?

##### **Formulación Interrogativa Nro. 02.**

¿Cuál es la absorción máxima de un adoquín de concreto utilizando como agregado grueso concreto reciclado y agregado fino natural provenientes de las canteras Cunyac y Vicho?

##### **Formulación Interrogativa Nro. 03.**

¿Cuáles son las dimensiones de los adoquines 8 tipo II fabricados con agregado grueso reciclado y agregado fino de las canteras de vicho y cunyac según la NTP 399.611?

##### **Formulación Interrogativa Nro. 04.**

¿La magnitud de las propiedades de físico mecánicas del agregado grueso reciclado cumplirá con las características mínimas para la elaboración de los adoquines 8 tipo II?

##### **Formulación Interrogativa Nro. 05.**

¿La magnitud de las propiedades del agregado fino de la cantera de Cunyac y Vicho para emplearse en la fabricación de adoquines 8 tipo II para pavimentos de tránsito vehicular ligero en la ciudad del Cusco cumplirá con lo especificado y prescrito?



## **1.2 Justificación e Importancia del Problema.**

### **1.2.1 Justificación Técnica.**

- Para el desarrollo de esta investigación se tomaron conceptos de cursos de pre grado de la Universidad Andina del Cusco tales como: Materiales de Construcción, Tecnología de la Construcción, Resistencia de Materiales, Concreto Armado, etc., por lo tanto, técnicamente la investigación es justificada.

### **1.2.2 Justificación Social.**

- La presente investigación pretende servir de motivación para los alumnos de la Universidad Andina del Cusco para que a partir de este trabajo profundizándolo más puedan tener otros temas de investigación con respecto a la presente investigación.
- Si la ciudad del Cusco decide impulsar la industria de la construcción a partir del concreto reciclado se dará trabajo en mano de obra para en temas de selección, proceso y obtención de material grueso reciclado en los diferentes botaderos que existe en la ciudad.

### **1.2.3 Justificación por Vialidad.**

- Fue viable porque se cuenta con la normativa como NTP. 399.611, NTP 400.017, NTP 400.010, NTP 334.009, NTP 400.037, NTP 400.053.
- Fue viable porque se cuenta con laboratorios de la Universidad Andina del Cusco.
- Es viable porque se cuenta con los recursos.

### **1.2.4 Justificación por Relevancia.**

- Es relevante porque con este nuevo producto tecnológico ya no se continuarán sobreexplotando canteras.
- Es relevante porque ya no se contaminará el medio ambiente.
- Es relevante porque una de las búsquedas del ingeniero civil es encontrar nuevos materiales de construcción.



### 1.3 Limitaciones de la Investigación.

- Los ensayos están delimitados a:
  - Resistencia a la compresión de adoquines.
  - Tolerancia dimensional.
  - Absorción.
- Geográficamente delimitado a:
  - Ciudad del Cusco.
  - Ensayos realizados en el laboratorio de Mecánica de Suelos y concreto de la Universidad Andina del Cusco.
  - Ensayos de verificación realizados en el laboratorio de mecánica de suelos de la Corporación Ayar S.A.C.
- Se utilizarán agregados de las canteras:
  - Cunyac.
  - Vicho.
- Tipo de Curado:
  - Por Inmersión.
- Dentro de la estructura del pavimento se delimita a:
  - Superficie de rodadura.
- La normativa utilizada será:
  - NTP 399.611.
- Método de ensayo ACII-211.
- Cemento.



## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo General

Evaluar en qué rango oscila las magnitudes de las propiedades físico mecánicas de un adoquín 8 tipo II según la Norma Técnica Peruana NTP 399.611 utilizando agregado grueso reciclado provenientes de la fractura de briquetas de concreto de calidad  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, y agregado fino natural provenientes de la cantera de Cunyac y Vicho, cemento tipo IP y agua potable de la red pública de la ciudad del Cusco evaluados según los parámetros que establece la NTP 399.611.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- **Objetivo Nro. 01.**

Determinar la resistencia a la compresión mínima de un adoquín 8 tipos II utilizando como agregado grueso concreto reciclado y agregado fino de las canteras de Cunyac y Vicho para comparar con la resistencia a compresión de las unidades de la NTP. 399.611.

- **Objetivo Nro. 02.**

Determinar el porcentaje de absorción de un adoquín 8 tipos II elaborado con agregado grueso de concreto reciclado y agregado fino natural provenientes de las canteras Cunyac y Vicho para compararla con la NTP. 399.611.

- **Objetivo Nro. 03.**

Determinar las dimensiones de los adoquines 8 tipo II utilizando como agregado grueso concreto reciclado y agregados finos de las canteras de Cunyac y Vicho.

- **Objetivo Nro. 04.**

Determinar si la magnitud de las propiedades de físico mecánicas del agregado grueso reciclado cumplirá con las características mínimas para la elaboración de los adoquines 8 tipo II?.

- **Objetivo Nro. 05.**

Determinar si la magnitud de las propiedades de del agregado fino de la cantera de Cunyac y Vicho para emplearse en la fabricación de adoquines 8 tipo II para pavimentos de tránsito vehicular ligero en la ciudad del Cusco cumple con lo prescrito.



## CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la Tesis o Investigación Actual.

#### 2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional.

**Título: Uso de Material Reciclable Para Diseño de Mezclas de Concreto de  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$**

**Autor: Piero Gonzales Vásquez**

**Año: 2011**

**País: Tarapoto - Perú.**

#### **Resumen.**

El concreto de cemento portland desde su aparición por Joseph Asphin y J.C. Jonson a mediados del año 1824, hasta nuestros días constituye un material de construcción de uso universal, por las propiedades que ofrece y su versatilidad que permite su utilización en todo tipo de elementos estructurales.

Esta evolución que sufrió la tecnología del concreto en casi un siglo, permitió ir acumulando estudios, experiencias, conclusiones, etc., y por consiguiente ir mejorando paulatinamente los métodos de diseño, lo que implica hoy en día afrontar y solucionar la mayoría de problemas de construcción moderna.

#### **Conclusiones.**

Actualmente uno de los métodos que mejores resultados viene dando, para la dosificación de mezclas de concreto, es el método del agregado global y del módulo de finura, permite un acercamiento con mayor probabilidad de satisfacer los requisitos del concreto.



### 2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional.

**Título: Hormigón Reciclado.**

**Autor: Cesar Daniel Soto Toledo.**

**Año: 2006.**

**País: Chile.**

#### **Resumen.**

En la actualidad es muy frecuente la búsqueda de nuevos materiales, así como el interés por el reciclaje de recursos de desecho, para la incorporación de materiales contaminantes en nuevos productos utilizables. De aquí nace la idea de investigar si es factible la reutilización del desecho de hormigón que se genera en toda construcción, para la fabricación de un nuevo hormigón con las mismas características. Dicho hormigón está compuesto por: cemento, escombros, arena y agua. La medición de las propiedades mecánicas se realizó, mediante la confección de probetas cúbicas, viguetas y cilindros; las cuales fueron sometidas a ensayos de compresión, flexión y hendimiento respectivamente. Todo lo anterior se describe paso a paso para poder entender el estudio en cuestión.

#### **Conclusiones.**

El estudio anteriormente expuesto, nos revela que el reciclado de los áridos es un sistema productivo que entrega un material totalmente utilizable en variadas tareas realizadas en el rubro de la construcción, y este material se puede reemplazar por lo mismo al árido natural ocupado comúnmente. La legislación dispuesta para el control de la disposición de los residuos de la construcción es escasa, y muy general, ya que solo existen algunas normas, las cuales no son suficientes para lograr que exista una regulación y control eficiente sobre dicho tema. Lo que se necesita es una ley de aplicación general que regule, y enmarque esta actividad, en pro de la protección del medioambiente, y que también se adecue a las características y necesidades de cada región. En este trabajo se demuestra que los áridos provenientes del reciclaje no poseen las mismas propiedades físicas del árido natural, punto que se tenía en consideración, pero en general estos cumplen con los requisitos impuestos por la norma chilena, lo cual no constituye ningún inconveniente para su utilización. Sin embargo, para controlar aquellas propiedades afectadas severamente es indispensable introducir agentes que proporcionen una mejoría a este tipo de hormigón o soluciones concretas a dicho problema. Se destaca la notable diferencia



de absorción de agua entre los áridos utilizados, la cual llegó a superar en casi 5 veces el valor correspondiente para el árido grueso natural.

Se observó que el asentamiento del Cono de Abrams se ve influenciado principalmente por la dosis de cemento y por el árido chancado presente en la mezcla. En general, se observa un leve descenso del cono en las mezclas con árido reciclado respecto de las mezclas de control; pero dicho problema no arrojaría problemas de trabajabilidad del hormigón, ya que en los ensayos realizados este nunca incumplió con el parámetro impuesto por la dosificación. Asimismo, se ve una leve disminución en la densidad del hormigón, esto está directamente relacionado con la presencia del árido reciclado. Los ensayos realizados a los hormigones de prueba, a pesar de que todos arrojaron una leve disminución en su resistencia a los 28 días en relación al hormigón de control, todos cumplieron con el grado especificado. Por lo tanto, se puede decir que es totalmente posible que el hormigón reciclado cumpla con estándares técnicos idénticos a los de un hormigón tradicional. Por otra parte, aunque en el estudio no se hizo referencia a un proceso de trituración, como sugerencia al momento de tomar la decisión de reciclar hormigón, un punto muy importante es la elección de la maquinaria con la cual se tritura el material, debido a que debe ser compatible con el tamaño de los bloques. Si, al contrario, no fuese compatible, se obliga a utilizar un proceso de pre-trituración (demoledores, cinceladores, roto martillos, entre otros), que encarece la producción de estos áridos reciclados y además producirá un colapso en el sistema del chancador. Otra recomendación importante, al momento de confeccionar el hormigón reciclado se debe tener especial cuidado con el material fino adherido, lo cual implica que este debe ser lavado previamente. Además, se debe tener un especial cuidado con la absorción del árido reciclado ya que esta es muy elevada lo cual implica que el árido pueda tomar parte del agua de amasado dispuesta por la dosificación, lo cual sería perjudicial para el hormigón, una solución efectiva para dicho problema es llevar al árido hasta la condición de saturado superficialmente seco, de manera que no presente problemas, al realizar la mezcla, el agua con los áridos. Por último, es importante recalcar que el mayor aporte que realiza este trabajo es dar a conocer el uso del árido reciclado como material agregado en la confección de la mezcla de hormigón, uso que no es muy conocido y practicado en el país.



**Título: Estudio Experimental de Propiedades Mecánicas de Hormigones con Árido Reciclado Mediante la Modificación del Método de Mezclado del Hormigón.**

**Autor: Julie Anne Chauveinc.**

**Año: 2011.**

**País: Chile.**

### **Resumen**

La preocupación por el desarrollo de materiales más amigables con el Medio Ambiente en el ámbito de la construcción ha impulsado una toma de conciencia en todos los niveles. La idea de reciclar el hormigón desechado, usándolo como árido para nuevo hormigón, forma parte de este proceso de gestión sustentable al que el mundo está apuntando. A la fecha, se han realizado varios estudios sobre este material, sobre todo en Estados Unidos y Europa. De esta forma, investigar las características y potenciales beneficios del hormigón con árido reciclado en Chile parece la continuación lógica de esta puesta en marcha. El objetivo del presente Trabajo de Título es constatar y analizar la influencia de la modificación del proceso de fabricación de hormigones con árido reciclado, cuantificando el aporte del uso de árido reciclado en términos de costo, tiempo, y sustentabilidad. Para esto, se elaboraron hormigones con 0%, 30%, y 50% de árido reciclado grueso mediante dos métodos de mezclado. El primer método corresponde al mezclado convencional en una etapa, en el cual el orden de adición de los componentes es árido, cemento, porción del agua y finalmente el resto de ellos. El segundo método corresponde a un mezclado en dos etapas, en las cuales primero se mezclan el cemento y el árido reciclado con la mitad del agua necesaria, y luego se añade el árido virgen y el resto del agua. El diseño de las mezclas contempló el ajuste del contenido de agua para lograr un cono de 6-8 cm y una razón A/C de 0.58 aproximadamente.

Comparando las resistencias a compresión a 4, 7 y 28 días, se concluye lo siguiente: como se esperaba, mientras más alto el contenido de árido reciclado, más baja la resistencia a compresión; por otro lado, el método de mezclado en etapas no mejoró la resistencia a compresión de los hormigones con árido reciclado (ocurrió lo contrario). Sin embargo, se lograron valores de resistencia a compresión altos y suficientes para usar este material como hormigón estructural. En cuanto a impermeabilidad, se concluye que, al mezclar en etapas los hormigones reciclados, se mejoró su capacidad a no absorber el agua en el caso del hormigón con 50% de





árido reciclado; sin embargo, en los otros casos, el resultado no fue tan concluyente como en este. Por lo tanto, la modificación del método de mezclado no resultó eficiente al mejoramiento de las propiedades del hormigón, pero eso no excluye el uso, incluso estructural, del hormigón reciclado como árido.

### **Conclusiones.**

La modificación del proceso de fabricación de los hormigones en estudio, variando el contenido de árido reciclado, entregó resultados distintos a lo esperado. En efecto, se deseaba mejorar la resistencia a compresión de los hormigones confeccionados con árido reciclado modificando el proceso de mezclado, y eso no fue lo obtenido (de hecho, ocurrió lo contrario). Dentro de las razones que pueden explicar este distinto comportamiento, se pueden destacar las siguientes como principales: el tamaño más chico y la granulometría más fina del árido reciclado usado; la forma no óptima de las partículas de áridos reciclados, derivada indirectamente del tamaño de aquellas partículas; y finalmente, la novedad del método de mezclado en etapas que lo volvió menos fiable.

**Título: Valorización de Agregados Reciclados de Hormigón.**

**Autor: Hugo Félix Begliardo.**

**Año: 2011.**

**País: Colombia.**

### **Resumen.**

El hormigón es uno de los materiales más empleados en las construcciones civiles. Como tal, es un compuesto resultante de la combinación o mezcla íntima de agregados (piedras y arenas), cemento portland y agua, pudiendo usárselo tanto con fines estructurales como no estructurales. Los agregados que intervienen en su composición suelen ser de dos tipos, finos y gruesos. En nuestra región, normalmente, los agregados finos son las arenas provenientes de río.

Los agregados gruesos generalmente derivan de la trituración de piedras de cantera, aunque también pueden proceder de río, como el canto rodado, cuando conviene por razones especiales o económicas.

En rigor, no se agotan las posibilidades de elaboración de hormigones empleando sólo el tipo de áridos mencionados. En años recientes ha cobrado mayor fuerza e importancia el reciclado y reutilización de los residuos de construcción y demolición, fundado ello tanto en razones de valorización comercial como medioambientales.



Precisamente, a partir de estos residuos es posible obtener nuevas variedades de agregados factibles de utilizar en la elaboración de hormigones. El motivo del presente trabajo es poner en conocimiento de la comunidad científica, política y empresarial, experiencias de laboratorio en relación a la valorización de residuos de hormigón llevados al estado granza de diferentes granulometrías para su empleo en nuevos hormigones, tanto de uso estructural como no estructural. Tales experiencias fueron realizadas en el Laboratorio de Ingeniería Civil.

### **Conclusiones.**

Los valores finales de resistencia obtenidos, tanto para los hormigones convencionales estructurales como no estructurales, satisfacen los requisitos de resistencia para los usos pretendidos. En el primer caso, para su empleo en estructuras resistentes de pequeño a mediano porte. En el segundo, para contrapisos de orden común. El empleo de ácido clorhídrico concentrado, ha demostrado ser una alternativa sencilla, efectiva y económica para la determinación aproximada del porcentaje de mortero adherido a los agregados reciclados de origen granítico. La determinación de la absorción temprana (5 y 10 minutos) en los áridos reciclados, aporta información importante para regular la consistencia de los hormigones, de recurrirse a la técnica de premezclado en seco de los componentes.

En este trabajo no se han contemplado aspectos vinculados a la durabilidad, por lo que, al decidir el empleo de este tipo de hormigones en estructuras, se recomienda profundizar los estudios con ensayos y análisis complementarios que contemplen el aspecto de la durabilidad (permeabilidad al ión cloruro, penetración del agua a presión, absorción del hormigón endurecido, etc.). Debe tenerse presente que la mayor porosidad de los agregados reciclados favorece los mecanismos de transporte de agentes que la afectan.

La demolición selectiva resulta más cara y de mayor duración que la demolición clásica. Sin embargo, tanto el costo como el tiempo pueden reducirse significativamente si se desarrollan sistemas de planificación y técnicas apropiadas. Es necesario legislar sobre la materia, estableciendo responsabilidades en las demoliciones.



**Título: Aprovechamiento de Hormigón Reciclado en Obras Viales.**

**Autor: Gino Flor Chávez.**

**Año: 2012**

**País: Argentina.**

**Resumen.**

El aprovechamiento de residuos aparece como un tema prioritario para preservar el consumo de recursos naturales, cubrir necesidades de espacios para la disposición de residuos protegiendo al medio ambiente.

El objetivo de esta tesis es desarrollar un enfoque holístico del problema de reciclado de pavimentos urbanos, a partir del análisis de un caso específico en la zona de la Gran La Plata, donde de hecho existen numerosos pavimentos que requieren reconstrucción.

El estudio se realizó sobre las fracciones fina y gruesa de agregados reciclados obtenidos a partir de la trituración de losas que eran retiradas de un bacheo próximo a avenida 122 y calle 4 de La Plata. Luego de caracterizar estos agregados, se analizaron varias alternativas de uso entre las que se incluyen hormigones con diferentes niveles de resistencia (H-13 y H-30), Pavimentos asfálticos y estabilizados granulares, realizando además un estudio comparativo con mezclas similares elaboradas solo con agregados naturales.

Los hormigones H-13 con agregados reciclados presentaron propiedades similares, mientras los H-30 se redujo la resistencia. Al incorporar agregado reciclado (grueso y fino) en concreto asfáltico en caliente no se cumplieron los requisitos de la norma vigente, al emplear sólo la fracción fina se alcanzaron los parámetros requeridos, pero creció la rigidez. En el estabilizado granular mezclando agregado reciclado grueso y fino en diferentes porcentajes, resultó un valor soporte inferior al requerido para bases y mayor al exigido para subbases.

Finalmente se realiza un estudio de los costos de construcción de pavimentos y bases granulares con agregados reciclados. A partir del mismo surge que incluso sin considerar los beneficios ambientales, existen alternativas que implican un ahorro económico considerable comparado con el uso de agregados naturales, principalmente en lo relacionado con el costo de los materiales y su transporte al sitio de trabajo.



## **Conclusiones.**

Los estudios realizados ratifican experiencias similares de otros investigadores, comprobándose que es posible aprovechar para uso estructural (edificios, pavimentos, etc.) los hormigones recuperados de demoliciones o descartes. Asimismo, aquellas fracciones que no son aprovechables para uso en hormigón estructural, se ha demostrado que son útiles para hormigones no estructurales, tales como pavimentos de bajo tránsito y carga, o contrapisos, evidenciando una mejor prestación resistente que los materiales de uso convencional para este fin.

La demolición selectiva resulta más cara y de mayor duración que la demolición clásica. Sin embargo, tanto el costo como el tiempo pueden reducirse significativamente si se desarrollan sistemas de planificación y técnicas apropiadas. Es necesario legislar sobre la materia, estableciendo responsabilidades en las demoliciones.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto las ventajas medioambientales y socio-económicas que derivan del empleo de residuos de esta especie. Asimismo, instalan en la sociedad local las posibilidades de reutilización de un residuo noble cuyo destino actual es el del Relleno Sanitario o cavas de la ciudad de Rafaela.

## **2.2 Aspectos Teóricos pertinentes.**

### **2.2.1 Definición Concreto.**

El concreto es un material de uso común, o convencional y se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire.

(TORRE, 2004.).

### **2.2.2 Características.**

Entre las características más importantes del concreto como material de construcción universal tenemos:

- a) La facilidad con que puede colocarse dentro de los encofrados de casi cualquier forma mientras aún tiene una consistencia plástica.



- b) Su elevada resistencia a la compresión lo que le hace adecuado para elementos sometidos fundamentalmente a compresión, como columnas y arcos.
- c) Su elevada resistencia al fuego y la penetración del agua.

### 2.2.3 Componentes.

#### 2.2.3.1 Cemento.

##### Cemento Pórtland.

Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.009, el cemento Pórtland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda, es decir:

$$\text{Cemento Pórtland} = \text{Clinker Pórtland} + \text{Yeso}$$

El cemento Pórtland es un polvo muy fino de color verdoso. Al mezclarlo con agua forma una masa (pasta) muy plástica y moldeable que luego de fraguar y endurecer, adquiere gran resistencia y durabilidad. (TORRE, 2004.).

Cemento Pórtland Puzolánico.

Es aquel cemento que contiene puzolana se obtiene por la pulverización conjunta de una mezcla de Clinker Pórtland y puzolana con adición de Sulfato de calcio: El contenido de puzolana debe estar comprendido entre 15 y 40% en peso total. La puzolana debe ser un material arcilloso o sílico-aluminoso que por sí mismo puede tener poco o ninguna actividad hidráulica pero que finamente dividida y en presencia de humedad reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas. (TORRE, 2004.).

##### Usos y aplicaciones de los Cementos Portland.

- a) Cementos Pórtland estándar (Sin adición)
  - **Tipo I:** Para construcciones de concreto y mortero de uso general y cuando no se requiera propiedades específicas, se utiliza en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos como podría ser la presencia de sulfatos en el suelo o en el agua.



- **Tipo II:** En obras donde se requiera resistencia moderada a la acción de los sulfatos y/o moderado Calor de hidratación. Se recomienda en edificaciones, estructuras industriales, puentes, obras portuarias, perforaciones y en general en todas aquellas estructuras de volumen considerable, y en climas cálidos
- **Tipo III:** Para obras que requiera alta resistencia elevadas a edades tempranas, normalmente a menos de una semana.
- **Tipo IV:** Para Estructuras se requiera bajo Calor de Hidratación, caso de represas, centrales hidroeléctricas y obras de grandes masas de concreto, también debe tenerse en cuenta que este cemento desarrolla resistencias a una velocidad inferior a la de los otros cementos.
- **Tipo V:** Además de las cualidades del Tipo II, es recomendado para obras donde se requiera elevada resistencia a los sulfatos. Es el caso de obras portuarias expuesta al agua de mar También en canales, alcantarillas, túneles, suelos con alto contenido de sulfatos. Estos cementos desarrollan resistencias más lentamente que los cementos tipo I, incrementan su resistencia a los sulfatos. (TORRE, 2004.).

### 2.2.3.2 Definición Agua.

Las aguas potables y aquellas que no tengan sabores u olores pueden ser utilizadas para preparar concreto, sin embargo, algunas aguas no potables también pueden ser usadas si cumplen con algunos requisitos, en nuestro país es frecuente trabajar con aguas no potables sobre todo cuando se tratan de obras en las afueras de las ciudades.

El estudio de las características del agua a utilizar en la mezcla del concreto adquiere gran importancia ya que este material interviene en la reacción química con el material cementante (cemento) para lograr:

- a. **La formación de gel;** se define como gel a la parte sólida de la pasta la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación.
- b. **En estado fresco;** faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma.
- c. **En estado endurecido;** la conviertan en un producto de las propiedades y características deseadas. Es importante conocer la velocidad de reacción entre el

cemento y el agua porque esta velocidad determinara el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del Clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Portland.

- d. **Curado del concreto;** El aumento de resistencia continuará con la edad mientras se encuentre cemento sin hidratar, a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca favorablemente la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto sea aproximadamente del 80% o la temperatura del concreto descienda por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene. (TORRE, 2004).

### 2.2.3.3 Definición Agregados

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto.

(TORRE, 2004.).

#### **Tamaño máximo.**

Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado.

#### **Tamaño máximo nominal.**

Corresponde al menor tamiz en el cual se produce el primer retenido.

#### **Módulo de fineza.**

A partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material utilizando la siguiente expresión:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulados retenidos} = (1\frac{1}{2}'' , \frac{3}{4}'' , 3/8'' , N^{\circ}4 , N^{\circ}8 , N^{\circ}16 , N^{\circ}30 , N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100)}{100}$$

100



**Clasificación.****Por su naturaleza.**

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón (agregado global).

- a) **El 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. (Torre, 2004).
- b) **El 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. (Torre, 2004).
- c) **El hormigón**, es el material conformado por una mezcla de arena y grava este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera. (torre, 2004).

**Por su densidad.**

Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75.

**Por su origen, forma y textura superficial.**

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angularidades. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

- Angular: Cuyos bordes están bien definidos y formado por la intersección de sus caras (planas) además de poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Sub angular: Evidencian algo de desgaste en caras y bordes, pero las caras están intactas.
- Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.
- Redondeada: Bordes desgastados casi eliminados.
- Muy Redondeada: Sin caras ni bordes

Respecto de la textura superficial estas pueden ser:

- Lisa.





- Áspera.
- Granular.
- Vítreo.
- Cristalina.

La textura superficial depende de la dureza, tamaño del grano y las características de la roca original. La forma y la textura del material pueden influir altamente en la resistencia a la flexión del concreto estas características se deben controlar obligatoriamente en los concretos de alta resistencia. También se puede afirmar que la forma y textura de las arenas influyen en los requerimientos de agua en el concreto. (TORRE, 2004).

#### **Por el tamaño del agregado.**

Según su tamaño, los agregados para concreto son clasificados en:

- Agregados finos (arenas).
- Agregados gruesos (piedras).

#### **Funciones del agregado.**

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- a. Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- b. Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- c. Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta. (TORRE, 2004.).

#### **Propiedades del Agregado.**

##### **Propiedades físicas.**

- **Densidad:** Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario. Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción. (TORRE, 2004.).



- **Porosidad:** La palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad. (TORRE, 2004.).
- **Peso unitario:** Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos. el procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C 29 y NTP 400.017. Es un valor útil sobre todo para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa. (TORRE, 2004).
- **Porcentaje de Vacíos:** Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C 29

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(S \times W - P.U.C.) \times 100}{S \times W}$$

Donde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

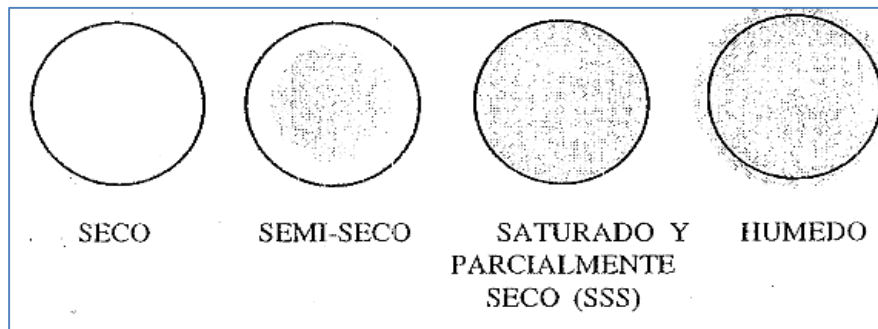
P.U.C. = Peso Unitario Compactado seco del agregado

#### - **Humedad superficial de los agregados**

##### **a) Condiciones en obra.**

Los agregados en obra pueden encontrarse en cuanto a su humedad se refiere, en 4 condiciones: 1º totalmente seco, 2º semi-secos (algo de humedad, pero menos que la necesaria para saturarse, 3º saturados, pero superficialmente secos (condición ideal en que los agregados ni añaden ni quitan agua de mezcla), 4º húmedos o mojados (contenido entre sus partículas más agua que la necesaria para saturarse). (TORRE, 2004.).

Figura 1. Condiciones de obra



FUENTE. (ABANTO, 1996).

**b) Contenido de humedad ( $w$ ).**

El contenido de agua dentro de un agregado, expresado en porcentaje.

$$\% \text{ humedad} = \% w = \frac{H-S}{S} \times 100$$

Donde:

H= peso de agregado húmedo

S= peso del agregado en condición seca.

**c) Absorción ( $a$ ).**

Es la cantidad de agua que un agregado necesita para pasar de la condición seca a la condición de saturado superficialmente. (ABANTO, 1996).

$$\% \text{ absorción} = \% a = \frac{D - S}{S} \times 100$$

Donde:

D= peso de agregado saturado y superficialmente seco

S= peso del agregado en condición seca.

**d) Humedad superficial.**

Es la diferencia entre el contenido de humedad ( $w$ ) y el porcentaje de absorción ( $a$ ).

Casos que se presentan:

- Si ( $w$ ) > ( $a$ )

El agregado aporta agua a la mezcla (agua libre) dicha cantidad debe ser disminuida del agua de diseño para encontrar el agua efectiva o neta.

- Si ( $w$ ) < ( $a$ )



El agregado tomará agua de la mezcla (agua que falta) para llegar a la condición ideal, debiendo aumentarse dicha cantidad de agua a la mezcla para no modificar el agua de diseño.

Para el calcular el agua libre (Si  $(\omega) > (a)$ ) o el agua faltante (Si  $(\omega) < (a)$ ) de un agregado, que e general llamamos aporte de agua, se multiplicará la humedad superficial del mismo expresada en fracción decimal por el peso seco del agregado. (ABANTO, 1996).

$$\text{Aporte de agua} = \left[ \frac{\text{humedad Superficial}}{(\text{expresada en decimal})} \right] \times \text{peso seco}$$

$$\text{Aporte de agua} = \frac{\%w - \%a}{100} \times S$$

#### I. Propiedades resistentes.

**a. Resistencia:** La resistencia de los agregados dependen de su composición textura y estructura y la resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total del matriz cementante.

**b. Tenacidad:** Está directamente relacionada con la flexión, angularidad y textura del material.

**c. Dureza:** Resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes. Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarzita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

**d. Módulo de elasticidad:** Es el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones.

El valor del módulo de elasticidad además influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que puedan presentarse. (ABANTO, 1996).

Tabla 1. Valores de módulos elásticos

Tipo de agregado	Módulo Elástico
GRANITOS	610000 kg/cm <sup>2</sup>
ARENISCAS	310000 kg/cm <sup>2</sup>
CALIZAS	280000 kg/cm <sup>2</sup>
DIABASAS	860000 kg/cm <sup>2</sup>
GABRO	860000 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente. ("Torre A.", "2014", "Curso Básico de Tecnología del Concreto").

### 2.2.3.4 Normas y requisitos de los agregados para el concreto.

#### Granulometría

Los agregados finos y grueso según la norma ASTM C-33, Y NTP 400.037 deberán cumplir con las *gradaciones* establecidas en la NTP 400.012, respectivamente. (TORRE, 2004).

Tabla 2. Requisitos granulométricos para el agregado grueso.

Tamaño nominal 3 1/2" a 1 1/2"	Cantidades mas finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso												
	4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16
	100	90	75	63	50	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
100	90-100		25-60	-	0-15		0-5						
2 1/2" a 1 1/2"	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2" a N° 4	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30-	-	0-5	-	-
1 1/2" a N° 4	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30-	0-5	-	-
1" a 3/8"	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	-	0-15	0-5	-	-
1" a N° 4	-	-	-	-	-	100	95-100	-	-	-	0-10	0-5	-
3/4" a N° 4	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
2" a 1"	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
1 1/2" a 3/4"	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	-	0-5	-	-	-
1 a 1/2"	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
3/4" a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
1 1/2" a N° 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
3/8" a N° 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30-	0-10	0-5

Fuente. NTP 400.012

Tabla 3. Requisitos granulométricos para el agregado fino.

Tamiz	Límites Totales	% Pasa por los tamices normalizados		
		C	M	F
9.5 mm (3/8")	100	100	100	100
4.75 mm (N° 4)	89-100	95-100	85-100	89-1000
2.38 mm (N° 8)	65-100	80-100	65-100	80-100
1.20 mm (N° 16)	45-100	50-85	45-100	70-100
0.6 mm (N° 30)	25-100	25-60	25-100	55-100
0.30 mm (N° 50)	5-70.	10-30.	5-70.	5-70.
0.15 mm (N° 100)	0-12	2 - 10.	0-12*	0-12*

\* Incrementar 15% cuando se trata de agregado fino triturado, excepto cuando se usa para pavimentos de alta resistencia

FUENTE. NTP 400.012

- **Resistencia mecánica**

La resistencia mecánica del agregado, determinada conforme a la norma NTP correspondiente, será tal que los valores no excedan a los siguientes:

Tabla 4. Resistencia mecánica.

Tipo de Resistencia Mecánica	% Máximo
Abrasión ( Método de los Ángeles )	50
Impacto	30

FUENTE. ("TORRE A.", "2014", "CURSO BASICO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO").

- **El agregado global.**

La norma (NTP 400.037) contiene un apéndice y a manera de información acerca de usos granulométricos considerados óptimos, para los proporcionamientos de finos y gruesos en el diseño de mezclas, dentro de los cuales se pueden obtener concretos trabajables y compactos. Esta información tiene carácter de orientación y en ningún caso es prescriptiva.

El agregado global es aquel material compuesto de agregado fino y grueso, cuya granulometría cumple con los límites dados en la siguiente tabla.

Tabla 5. Agregado global.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa		
	Tamaño nominal	Tamaño nominal	Tamaño nominal
	37.5 mm (1 ½ in)	19.0 mm (¾ in)	9.5 mm (3/8 in)
50 mm ( 2" )	100	---	---
37.5 mm ( 1 ½" )	95 a 100	100	---
19 mm ( ¾" )	45 a 80	95 a 100	---
12.5 mm ( ½" )	---	---	100
9.5 mm ( 3/8" )	---	---	95 a 100
4.75 mm (Nº 4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2.36 mm (Nº 8)	---	---	20 a 50
1.18 mm (Nº 16)	---	---	15 a 40
600 µm (Nº 30)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
300 µm (Nº 50)	---	---	5 a 15
150 µm (Nº 100)	0 a 8*	0 a 8*	0 a 8*

Fuente. NTP 400.037

## 2.2.4 Clasificación del concreto.

### Por el peso específico.

- **Ligero**, cuyo Peso Unitario se encuentre entre 1200 – 2000 Kg/m<sup>3</sup>.
- **Normal**, cuyo Peso Unitario se encuentre entre 2000 – 2800 Kg/m<sup>3</sup>.
- **Pesado**, cuyo Peso Unitario se encuentre entre >2800 Kg/m<sup>3</sup>.

### Según su aplicación

- **Simple**: Concreto sin ninguna armadura. Buena resistencia a compresión.
- **Armado**: Con acero. Buena resistencia a compresión y a flexión.
- **Pretensado**: Resistencia a tracción: viguetas.
- **Post tensado**: Resistencia a tracción: se introducen fundas.

### Por su composición.

- **Ordinario**.
- **Ciclópeo**: con áridos de 50 cm.
- **Cascotes**: Hormigón de desechos y ladrillos.
- **Inyectado**: en un molde el agregado y le metemos la pasta árida >25 mm. Con aire incorporado: en el hormigón se le inyecta aire >6%.
- **Ligero**: 1,2 – 2 = 2 N/mm<sup>2</sup> Pesado: áridos de densidad muy grande.
- **Refractario**: resistente a altas temperaturas (cemento de aluminato cálcico).

### Por su resistencia.

- Convencional: 10% agua, 15% cemento, 35% arena, 40% grava.

- De alta resistencia: 5% agua, 20% cemento, 28% arena, 41% grava, 2% adiciones, 2% aditivos. (TORRE, 2004).

#### 2.2.4.1 Propiedades del concreto.

##### ➤ Estado fresco.

El Concreto en estado fresco es desde que se mezcla el concreto hasta que fragua el cemento. El Comportamiento Geológico (ciencia del flujo y deformación de la materia) del concreto es una ciencia relativamente nueva; la medición de las propiedades reológicas del concreto es importantes para la industria de la construcción dado que el concreto es emplazado en su estado fluido. Desafortunadamente dado la compleja composición de materiales del concreto, este no permite establecer un método exacto para predecir su flujo. Recientemente el uso más difundido de concretos de alto performance ha dado lugar al estudio de concretos con propiedades específicas para una aplicación. El ACI menciona algunas propiedades que son “críticas para una aplicación”: trabajabilidad, compactación, estabilidad, consistencia, compactación, etc. Los conceptos comunes abarcan todas estas propiedades en definiciones como “la facilidad con que el concreto puede ser mezclado, colocado, compactado y terminado” o “la habilidad del concreto para fluir”.(Portugal Barriga, 2003)

##### ➤ Trabajabilidad.

Es la facilidad que tiene el concreto para ser mezclado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación del que se disponga. La trabajabilidad depende de:

- Dimensiones del elemento.
  - Secciones armadas.
  - Medios de puesta en obra.
- Habrà una mayor trabajabilidad cuando:
- contenga más agua.
  - Más finos.
  - Agregados redondeados.
  - Más cemento.
  - Fluidificantes / plastificantes.
  - Adiciones.



➤ **Consistencia.**

Denominamos consistencia a la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma específica. La consistencia depende:

- Agua de amasado.
- Tamaño máximo del agregado.
- Granulometría.
- Forma de los agregados influye mucho el método de compactación.

Tipos de Consistencia:

- SECA – Vibrado enérgico.
- PLÁSTICA – Vibrado normal.
- BLANDA – Apisonado.
- FLUIDA – Barra.

Tabla 6. Consistencia / asentamiento.

consistencia	Asiento (cm)
SECA	0 – 2
PLÁSTICA	3 – 5
BLANDA	6 – 9
FLUIDA	10 – 15

Fuente. ("Torre A.", "2014", "Curso Básico de Tecnología del Concreto").

➤ **Homogeneidad y uniformidad.**

- Homogeneidad: es la cualidad que tiene un concreto para que sus componentes se distribuyan regularmente en la masa.
- Uniformidad: se le llama cuando es en varias amasadas. Esta depende:
  - Buen amasado.
  - Buen transporte.
  - Buena puesta en obra.

Se pierde la homogeneidad por tres causas:

- Irregularidad en el mezclado.
- Exceso de agua.
- Cantidad y tamaño máximo de los agregados gruesos.

Esto provoca:



- Segregación: separación de los áridos gruesos y finos.
- Decantación: los áridos gruesos van al fondo y los finos se quedan arriba.

➤ **Compacidad.**

Es la relación entre el volumen real de los componentes del hormigón y el volumen aparente del hormigón.

➤ **Segregación.**

Es una propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del agregado grueso del mortero.

Es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciendo en el elemento llenado, bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejeras.

Generalmente procesos inadecuados de manipulación y colocación son las causas del fenómeno de segregación en las mezclas. La segregación ocurre cuando parte del concreto se mueve más rápido que el concreto adyacente. Cuando se suelta el concreto de alturas mayores de 1/2 metro el efecto es semejante, también se produce segregación cuando es excesivo el vibrado. (TORRE, 2004).

➤ **Exudación**

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

La exudación puede ser producto de una mala dosificación de la mezcla de un exceso de agua en la misma, de la utilización de aditivos, y en la temperatura, en la medida en que a mayor temperatura mayor es la velocidad de exudación.

La exudación es perjudicial para el concreto, pues como consecuencia de este fenómeno la superficie de contacto durante la colocación de una capa sobre otra puede disminuir su resistencia debido al incremento de la relación agua-cemento. (TORRE, 2004).

➤ **Contracción.**

Las grietas por contracción plástica se forman en la superficie del concreto fresco inmediatamente después de su vaciado y mientras permanece en estado plástico, estas grietas aparecen fundamentalmente en las superficies horizontales.

Las grietas de contracción plásticas son antiestéticas, pero raramente afectan la resistencia o la durabilidad de los pisos de concreto y los pavimentos. El desarrollo de estas grietas puede ser minimizado si se toman medidas apropiadas antes y durante el vaciado y el acabado o terminación del concreto. (TORRE, 2004).

➤ **Unitario.**

El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) [que varía de 2200 hasta 2400 kg/m<sup>3</sup>. La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad.

Tabla 7. Promedio de las densidades para el concreto fresco.

Muestra	Densidad aparente seca (kg/m <sup>3</sup> )	Coef. var.	Densidad saturada de agua (kg/m <sup>3</sup> )	Coef. var.
Control	2120	0.004	2290	0.003
5%CLD	2010	0.015	2200	0.010
10%CLD	2020	0.020	2280	0.009
15%CLD	2070	0.020	2250	0.007

Fuente. Universidad Alicante, Dpto. Ing. de la Construcción 2013

Tabla 8. Propiedades típicas del concreto.

Propiedad	Rango
Revenimiento, mm	20
Peso unitario, kg/m <sup>3</sup>	1600 – 2000
Tiempo de fraguado <sup>1</sup> , hora	1
Porosidad, % (en volumen)	15–25
Permeabilidad <sup>2</sup> , lt/m <sup>2</sup> /min (cm/seg)	120–320 (0.20–0.54)
Resistencia a compresión, MPa	3.5–28
Resistencia a flexión, MPa	1 – 3.8
Contracción	200 × 10 <sup>-6</sup>

<sup>1</sup> Con aditivos químicos, se puede extender el tiempo.  
<sup>2</sup> En laboratorio se han encontrado valores de velocidad de flujo tan altas como 700 lt/m<sup>2</sup>/min.

Fuente. UNAM-Estructuras y Materiales

➤ **Características físico-químicas.**

✓ **Fraguado.**

Es el tiempo entre el mezclado (agua con cemento) y la solidificación de la pasta. Se expresa en minutos. Se presenta como: El tiempo de fraguado inicial y el tiempo de fraguado final. (Torre, 2004).

✓ **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 puede atravesar el concreto. La inclusión de aire (burbujas diminutas) así como un curado adecuado por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad. (Abanto, 1996).

✓ **Durabilidad.**

Depende de los agentes agresivos, que pueden ser mecánicos, químicos o físicos. Los que más influyen negativamente son:

- Sales.
- Calor.
- Agente contaminante.
- Humedad.



### 2.2.4.2 Características Mecánicas.

#### Resistencia a la Compresión.

La resistencia a la compresión del concreto normalmente se la cuantifica a los 28 días de vaciado el concreto, aunque en estructuras especiales como túneles y presas, o cuando se emplean cementos especiales, pueden especificarse tiempos menores o mayores a 28 días.

La resistencia del concreto se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm. de altura, llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementales relativamente rápidas. (Torre, 2004).

### 2.2.5 Diseño de Mezclas según Método del American concrete Institute (ACI)

#### Definición.

El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de Diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas tablas elaboradas mediante ensayos de los agregados, nos permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica del concreto.

A. Establecimiento de  $f'_{cr}$  en función a los criterios establecidos por la ACI.  
(TABLA 10)

B. Establecimiento de la cantidad de agua por m<sup>3</sup> de concreto en función de las condiciones de trabajabilidad, el tamaño máximo de los agregados y ocasionalmente el tipo de cemento (TABLA 11).

C. Definición de la relación agua/cemento en peso en base a la resistencia en compresión solicitada o requisitos de durabilidad. (Tabla 12)

D. Cálculo de la cantidad de cemento en peso en función de la relación agua/cemento y la cantidad de agua definida en A y B.

$$\text{Cemento (Kg)} = \frac{\text{peso del agua (Kg)}}{\text{Relacione de A/B}}$$

E. Cálculo de los volúmenes absolutos del agua y el cemento:



$$\text{Vol. Abs. Cemento (m3)} = \frac{\text{Peso del cemento (Kg)}}{\text{Peso específico del cemento } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Vol. Abs. Agua (m3)} = \frac{\text{Peso del agua (Kg)}}{\text{Peso específico del agua } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

F. Calculo del volumen absoluto del agregado grueso según el módulo de fineza y el tamaño máximo nominal.

$$\text{Vol. Abs. A. Gruedo (m3)} = \frac{\text{Peso del agregado grueso (Kg)}}{\text{Peso específico del agregado grueso } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

G. Estimación del porcentaje de aire por m3 y el volumen absoluto que atrapara el concreto en función de las características granulométricas de los agregados. (Tabla N° 10)

H. Obtención del volumen absoluto que ocuparan El agregado fino, restando de 1 m3 los volúmenes hallados de cemento, agua, aire y agregado grueso.

$$\text{Vol. Abs. Agr} = 1 \text{ m}^3 - \text{Vol. Abs. Agua(m3)} - \text{Vol. Aire (m3)} - \text{Vol. Abs. Cem(m3)} - \text{Vol. Abs. A. Gr(m3)}$$

I. Cálculo del peso del agregado fino de acuerdo a su volumen absoluto.

$$\text{Peso Arena (m3)} = \text{Vol. Abs. Arena (m3)} * \text{Peso Específico. Arena(Kg/m3)}$$

J. Correcciones por humedad y absorción de diseño

$$\text{Peso Humedo Piedra (Kg)} = \text{Peso Piedra (Kg)} * (1 + \text{Humedad piedra})$$

$$\begin{aligned} \text{Peso Humedo Arena (Kg)} &= \text{Peso Arena (Kg)} + \text{Hpumedo Arena (Kg)} \\ &= \text{Peso Arena (Kg)} * (1 + \text{Humedad arena}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balance agua en la piedra (\%)} &= \text{Humedad piedra} - \text{Absorción piedra} & \text{Balance agua en la arena (\%)} &= \text{Humedad arena} - \text{Absorción arena} \\ \text{Contrib. agua piedra (Kg)} &= \text{Balance piedra (\%)} * \text{Peso humedo piedra(Kg)} & \text{Contrib. agua arena (Kg)} &= \text{Balance arena (\%)} * \text{Peso humedo arena (Kg)} \\ \text{Agua final} &= \text{Agua (Kg)} - \text{Contr. Agua piedra (Kg)} - \text{Contr. Agua arena (Kg)} \end{aligned}$$

K. Diseño final

$$\text{Agua final (kg), peso húmedo piedra (kg), peso húmedo arena (kg), peso cemento (kg)}$$

Tabla 9.  $f'_{cr}$  aplicable cuando no se dispone de resultados para definir la Desviación estándar

$f'_{c}$ ESPECIFICADO	$f'_{cr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Menos de 210	$f'_{c} + 70$
210 a 350	$f'_{c} + 85$
Mayor a 350	$1.10f'_{c} + 49$

Fuente: (Pasquel, 1998)

Tabla 10. Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferente slump, tamaño máximo de agregado y contenido de aire

Slump	Tamaño Máximo Nominal							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>Concreto sin aire incorporado</b>								
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	---
% de aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incorporado</b>								
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	---
% de aire atrapado recomendado en función del agregado de exposición								
<b>Normal</b>	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
<b>Moderado</b>	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
<b>Extrema</b>	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Fuente: (Rivva, 1992)

Tabla 11. Relación agua/cemento vs  $f'_{c}$

$f'_{cr}$ (28 días)	Estimación de la relación agua/cemento en peso para agregado grueso del tamaño máximo nominal indicado		
	3/8"	3/4"	1 1/2"
140	0,87	0,85	0,80
175	0,79	0,76	0,71
210	0,72	0,69	0,64
245	0,66	0,62	0,58
280	0,61	0,58	0,53
315	0,57	0,53	0,49
350	0,53	0,49	0,45

Fuente: (Pasquel, 1998)

B. Definición de la relación agua/cemento en peso en base a la resistencia en compresión solicitada o requisitos de durabilidad. (Tabla 12)

Tabla 12. Asentamiento recomendado para diversos tipos de obras

Tipo De Estructura	Slump Máximo	Slump Mínimo
<b>Zapatas y muros de cimentación reforzados</b>	3"	1"
<b>Cimentación simples y calzadas</b>	3"	1"
<b>Vigas de muros armados</b>	4"	1"
<b>Columnas</b>	4"	2"
<b>Lozas y pavimentos</b>	3"	1"
<b>Concreto ciclópeo</b>	2"	1"
<b>El slump puede incrementarse cuando se usa aditivos siempre que no se modifique la relación a/c ni exista segregación o exudación</b>		
<b>El slump puede incrementarse de 1" si no se usa vibrador al compactar</b>		

Fuente: (Pasquel, 1998)

Tabla 13. Volumen de agregado grueso compactado en seco para diversos módulos de fineza de arena

Tamaño Máximo Nominal Del Agregado	Volumen Del Agregado Grueso Compactado En Seco Para Diversos Módulos De Fineza De Arena			
	2.4	2.6	2.8	3
<b>3/8"</b>	0.5	0.49	0.46	0.44
<b>1/2"</b>	0.59	0.57	0.55	0.5
<b>3/4"</b>	0.66	0.64	0.62	0.6
<b>1"</b>	0.71	0.69	0.67	0.65
<b>1 1/2"</b>	0.75	0.73	0.71	0.69
<b>2"</b>	0.78	0.76	0.74	0.72
<b>3"</b>	0.82	0.79	0.78	0.76
<b>6"</b>	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: (Rivva, 2000)

### 2.2.5.1 mezcla de agregados en peso en base a los porcentajes

En estas condiciones tenemos que la mezcla de agregados en peso en base a los porcentajes retenidos acumulativos en cada malla se deduce de la siguiente manera:

Sea:

$P_n$  = Peso retenido acumulativo del agregado P en la malla n.

$A_n$  = Peso retenido acumulativo del agregado A en la malla n.

$\%P_n$  = % retenido acumulativo del agregado P en la malla n en peso.

$\%A_n$  = % retenido acumulativo del agregado A en la malla n en peso.

$VP_n$  = Volumen absoluto acumulativo del agregado P en la malla n.

$VA_n$  = Volumen absoluto acumulativo del agregado A en la malla n.

$\%VP_n$  = % retenido acum. del agregado P en la malla n en volumen absoluto.

$\%VA_n$  = % retenido acum. del agregado A en la malla n en volumen absoluto.

$P_t$  = Peso acumulativo total del agregado P

$A_t$  = Peso acumulativo total del agregado A

$GP$  = Gravedad específica del agregado P.





GA = Gravedad específica del agregado A.

El porcentaje retenido acumulativo de la mezcla de los agregados P y A en peso para la malla n, en la proporción K viene dada por:

$$\% \text{ Mezcla en peso (P+A)}_n = \frac{K\%P_n + \%A_n}{K+1} \text{ ----- (6)}$$

Esta expresión se puede usar sin problemas para calcular mezclas de agregados de peso específico similar ya que como hemos explicado, no se introduce mucho error en comparación con hacerlo en volumen absoluto, pero cuando varían mucho se deben utilizar las siguientes expresiones:

Fuente: (ENRIQUE PASCAL CARBAJAL - TOPICOS DE TECNOLOGIA DE CONCRETO EN EL PERU.)

### 2.2.6 Concreto Reciclado.

#### ✓ Definición de agregado de concreto reciclado.

La NTP 400.053 (manejo de residuos de la actividad de la construcción. Reciclaje de concreto de demolición) lo llama granulado de concreto y lo define como el material secundario de construcción hasta llevarlo a partículas de tamaño similar al de los agregados. Fuente (Tesis. Jorge Arturo García – Concreto Reciclado)

#### ✓ Definición de concreto reciclado.

La NTP 400.053 (manejo de residuos de la actividad de la construcción. Reciclaje de concreto de demolición) define como concreto reciclado como aquel concreto cuyos agregados provengan parcial o completamente de granulados de concreto, gravas y arenas de reciclaje. Fuente (Tesis. Jorge Arturo García – Concreto Reciclado). (Huanca, 2006).

#### ✓ Estado del arte del concreto reciclado.

La necesidad de caracterizar el comportamiento de los agregados reciclados, y su influencia en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecimiento, surge como necesidad de la elaboración de normas específicas que brinden seguridad en el empleo del agregado reciclado y de esta manera abrir las puertas al mercado del reciclaje escombros, producto de la construcción y demolición.

### 2.2.6.1 Influencia de los agregados reciclados en el comportamiento del concreto en estado fresco.

#### ➤ **Trabajabilidad.**

Buck observo que las mezclas que contienen concreto demolido, como agregado grueso o fino, presentaban un revenimiento menor y un contenido de cemento mayor que el de las mezclas de concreto. Las mezclas de concreto como agregado de concreto estaban húmedas, aunque eran más secas que las mezclas de control. Sin embargo, cuando se utilizó arena natural como agregado fino, y concreto demolido como agregado grueso, hubo poca diferencia en el revenimiento, al igual que el contenido de aire o de cemento, en relación con la mezcla equivalente preparada con agregados nuevos. Buck también encontró posible lograr una trabajabilidad equivalente con una relación agua / cemento, mediante el uso de un aditivo reductores de agua.

Los trabajos de Malhotra y de Frondistou – Ilanas. Al trabajar dentro del rango de relación agua / cemento, encontraron que no existía diferencia alguna entre trabajabilidad de las mezclas que contenían un agregado grueso de concreto demolido, más uno de fino de arena natural, y entre las elaboraciones con agregados naturales totalmente frescos. Sin embargo, cuando Mahotra utilizo agregados finos de concreto demolido, encontró un aumento repentino en la cantidad de agua necesaria. Fuente (Tesis. Jorge Arturo García – Concreto Reciclado)

#### ➤ **Peso unitario.**

Los agregados reciclados poseen una menor densidad, pero las variantes de densidad no son tan marcadas como las que se tienen en absorción. Una menor densidad de los agregados resultara, lógicamente, en un concreto de menor peso unitario. Torben Hansen señala que un concreto con agregados reciclados posee una densidad 5% menor.

#### ➤ **Exudación.**

Kim et al. Concluyó que la exudación del concreto disminuye a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de agregado grueso reciclado, debido a que el agua de sangrado es absorbida por la pasta de cemento en la superficie de los agregados.