

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**CONTRASTAR LA DIFERENCIA ENTRE LA RESISTENCIA
DEL CONCRETO CONVENCIONAL Y RECICLADO PARA
ESTRUCTURAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2015**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

ARGANDOÑA MAYTA MAYUMY

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

JULIACA - PERÚ

2015

DEDICATORIA

Con todo amor a mi querida Madre,
ZENaida MAYTA LIVISI. Es a ti a quien
debo toda la persona que soy. Gracias por
tu guía y ejemplo durante todos los años
de mi vida. Te quiero

Con cariño para mi querido Padre,
ROLANDO EDGAR ARGANDOÑA
LARICO.

Por tus sabios consejos y tus constantes
Palabras de aliento para conseguir el
Éxito. Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Tus esfuerzos son impresionantes y tu amor es para mí invaluable. Junto con mi padre me has educado, me has proporcionando todo y Cada cosa que he necesitado. Tus enseñanzas las aplico cada día; De verdad que tengo mucho por agradecerles. Tus ayudas fueron fundamentales para lograr muchas cosas. Les doy las gracias a ustedes queridos padres.

A todos y cada uno de los profesores que me dieron; por su enseñanzas, su dedicación y su tiempo; en especial a los docentes de ingeniería civil, quienes además de enseñarme lo que se de esta carrera hicieron que mi paso por la universidad fuera agradable

RESUMEN

El concreto 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 usarlo 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 concretos 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 (RCD), 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 concretos.

El motivo del presente trabajo denominado “CONTRASTAR LA DIFERENCIA ENTRE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO CONVENCIONAL Y RECICLADO PARA ESTRUCTURAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2015” es poner en conocimiento de la comunidad estudiantil, política y empresarial, experiencias de laboratorio en relación a la valorización de residuos de concreto llevados al estado granza de diferentes granulometría para su empleo en nuevos concretos, tanto de uso estructural como no estructural. Tales experiencias fueron realizadas en el LABORATORIO durante el año 2015.

ABSTRACT

Concrete is one of the materials most widely used in civil construction. As such, it is a compound resulting from the combination or intimate mixture of aggregates (stones and sand), portland cement and water, can use both structural and non-structural purposes.

Aggregates involved in their composition are usually of two types, fine and coarse. In our region the fine aggregates are normally sands from river. Coarse aggregates generally derived from the crushing of quarried stone, but can also come from the river, as the boulder, where appropriate for special or economic reasons.

In fact, the chances of developing concrete is not exhausted using only the type of aggregate mentioned. In recent years it has gained strength and importance recycling and reuse of waste from construction and demolition (RCD), founded it in both commercial reasons and environmental recovery. Precisely from these wastes is possible to obtain new varieties of feasible aggregates used to make concrete.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	IX
INTRODUCCIÓN	X

CAPÍTULO I	1
1.PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1.Delimitación espacial.....	3
1.2.2.Delimitación social.....	3
1.2.3. Delimitación temporal.....	3
1.2.4. Delimitación conceptual.	3
1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.3.1. Problema general.....	4
1.3.2. Problemas específicos	4
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5.1. Hipótesis general.....	5
1.5.2.Hipótesis específicos.....	5
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.6.1.Operacionalización de las variables.....	5
1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.7.1. Tipo y nivel de investigación	6
1.7.2. Método y diseño de investigación	6
1.7.3. Población y muestra de investigación.....	7
1.7.4. Técnica e instrumentó para la recolección de datos.....	8
1.8. JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN..	8
1.8.1. Justificación de la investigación.	8
1.8.2. Importancia de la investigación.....	9
1.8.3. Limitaciones de la investigación.....	10
1.9. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.	10
1.9.1. Viabilidad económica.	10
1.9.2. Viabilidad técnica.	10

1.9.3. Viabilidad operativa.....	10
CAPÍTULO II	11
2.MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.2. BASES TEÓRICAS.....	13
2.2.1. El Concreto.....	13
A.Cemento portland.	14
B.Agregados.	23
C.Agua.....	40
D.Adicionales minerales (Microsílice).....	44
E.Aditivos químicos.	48
2.2.2. Propiedades del concreto	50
2.2.3. Causas y deterioró concreto.	57
2.3. MARCÓ CONCEPTUAL	62
2.3.1.Generación de residuo de concreto	62
2.3.2.Gestión de los residuos de construcción y demolición.	63
2.3.3.Recuperación, reutilización y reciclado de los rcd.....	65
2.3.4.Condiciones de carácter técnico.....	68
2.3.5.Condicionantes de tipo normativo o legislativo.	68
2.3.6.Condicionantes impuestos por el mercado de productos recuperados.....	69
2.3.7.Condicionantes directamente ligados a los costos de transporte.....	70
2.3.8.Condicionantes derivados de los costos de eliminación de los rcd.	70
2.3.9.Consideraciones medioambientales	71
2.3.10.Características técnicas del concreto reciclado.	72
CAPÍTULO III	77
3. PROPUESTA TÉCNICA DE LA INVESTIGACIÓN-PRODUCCIÓN DE CONCRETO.....	77
3.1 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA DEL MATERIAL NATURAL	77
3.1.1. Localización.....	77
3.1.2. Descripción de la muestra	78
3.2 PRODUCCIÓN DE CONCRETO CONVENCIONAL.....	79
3.2.1..... Características físicas de agregados naturales de la cantera isla de la ciudad de juliaca	79
3.2.2..... . Características resistentes de los agregados de la cantera de isla de la ciudad de juliaca.	80
3.2.3. Diseño de mezclas de concretos.	81
3.3 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA A RECICLAR	84
3.3.1. Localización.....	84
3.3.2. Descripción de la muestra	87

3.3.3. Equipo y maquinaria	88
3.3.4. Método de trituración	88
3.4 PRODUCCIÓN DE CONCRETO RECICLADO	89
3.4.1..... Características físicas de agregados reciclado de los rcd en la ciudad de juliaca	89
3.4.2..... Características resistentes de los agregados gruesos reciclados de los rcd de la ciudad de juliaca.	89
3.4.3..... Diseño de mezclas de concretos de mediana resistencia con empleo de agregados gruesos reciclados.	90
3.5 ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO.....	93
3.5.1. Objetivo	93
3.5.2. Equipo para medir el asentamiento	94
3.5.3. Procedimiento para medir el asentamiento	94
3.5.4. Normativa	95
3.6 PESO UNITARIO DEL CONCRETO (DENSIDAD).....	95
3.6.1. Objetivo	95
3.6.2. Equipo para medir el peso unitario	96
3.6.3. Procedimiento de la prueba de peso unitario	97
3.6.4. Calculos	98
3.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.....	98
3.7.1. Objetivo	98
3.7.2. Equipo para medir el peso unitario	99
3.7.3. Procedimiento de prueba.....	99
CAPÍTULO IV	101
4.ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	101
4.1 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO TANTO CONVENCIONAL Y RECICLADO.	101
4.1.1. Asentamiento del concreto.	101
4.1.2. Peso unitario del concreto (Densidad)	102
4.2 PRUEBAS AL CONCRETO RECICLADO EN ESTADO ENDURECIDO.	103
4.2.1. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros.....	103
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.	105
CONCLUSIONES.....	107
RECOMENDACIONES	108
REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA	109
ANEXOS	110

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: COMPONENTES DEL CONCRETO.....	14
TABLA N° 2: LÍMITES DE COMPOSICIÓN PARA CEMENTO PÓRTLAND.....	15
TABLA N° 3: ESPECIFICACIONES QUÍMICAS PARA EL CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I	16
TABLA N° 4: ESPECIFICACIONES QUÍMICAS PARA EL CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP	16
TABLA N° 5: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO.....	23
TABLA N° 6: CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN SU MASA UNITARIA	28
TABLA N° 7: CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO SEGÚN SU FORMA.....	29
TABLA N° 8: CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO SEGÚN SU TEXTURA SUPERFICIAL	29
TABLA N° 9: PORCENTAJE PASANTE DEL AGREGADO FINO.	31
TABLA N° 10: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.....	32
TABLA N° 11: PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS DEL AGREGADO GRUESO	32
TABLA N° 12: PESOS ESPECÍFICOS APARENTES DE DIVERSOS GRUPOS DE ROCAS..	35
TABLA N° 13: POROSIDAD DE ALGUNAS ROCAS.....	36
TABLA N° 14: CONTENIDO MAXIMO DE AGENTES DAÑIÑOS.....	41
TABLA N° 15: SUPERFICIE ESPECÍFICA CARACTERÍSTICA DE MATERIALES USADOS COMO ADICIÓN Y DEL CEMENTO	46
TABLA N° 16: TIPOS DE ADITIVOS QUÍMICOS SEGÚN LA NORMA ASTM C 494	48
TABLA N° 17: TIPOS DE ADITIVOS QUÍMICOS SEGÚN LA NORMA ACI-212.....	49
TABLA N° 18: DEFINICIONES DE TRABAJABILIDAD DE VARIAS INSTITUCIONES.	50
TABLA N° 19: ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS	51
TABLA N° 20: MECANISMOS DE DETERIORO DEL CONCRETO.....	57
TABLA N° 21: EFECTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN EL CONCRETO.....	60
TABLA N° 22: PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS HECHOS A PARTIR DE CONCRETO RECICLADO.	73
TABLA N° 23: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS NATURALES DE LA CANTERA ISLA DE LA CIUDAD DE JULIACA.....	78
TABLA N° 24: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS NATURALES DE LA CANTERA ISLA DE LA CIUDAD DE JULIACA.....	79
TABLA N° 25: CARACTERÍSTICAS RESISTENTES DE AGREGADOS CANTERA: ISLA - JULIACA	80
TABLA N° 26: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS RECICLADOS DE LOS RCD EN LA CIUDAD DE JULIACA	89
TABLA N° 27: CARACTERÍSTICAS RESISTENTES DE AGREGADOS GRUESOS RECICLADOS DE LOS RCD	90
TABLA N° 28: ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS	95
TABLA N° 29: RESULTADOS DE ENSAYOS DE ASENTAMIENTO DE CONCRETOS CON AGREGADOS NATURAL. LABORATORIO DE	101
TABLA N° 30: RESULTADOS DE ENSAYOS DE ASENTAMIENTO DE CONCRETOS CON AGREGADOS RECICLADOS. LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.	101
TABLA N° 31: RESULTADOS DE ENSAYOS DE PESO UNITARIO DEL CONCRETOS CON AGREGADOS NATURAL – JULIACA. LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.	102
TABLA N° 32: RESULTADOS DE ENSAYOS DE PESO UNITARIO DEL CONCRETOS CON AGREGADOS RECICLADOS – JULIACA. LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.	102

TABLA N° 33: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A CONCRETOS CON AGREGADOS NATURALES DE LA CANTERA ISLA – JULIACA.	103
TABLA N° 34: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A CONCRETOS CON AGREGADOS RECICLADOS PORCEDENTES DE LOS RCD.	104
TABLA N° 35: COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIAS DE CONCRETOS DE DISEÑO, CONCRETOS CON AGREGADOS NATURALES Y CONCRETOS CON AGREGADOS ARTIFICIALES	106

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA FORMACIÓN E HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PÓRTLAND.	17
FIGURA N° 2: DESVENTAJAS DEL USO DE UN CEMENTO PÓRTLAND CON BAJO CONTENIDO C3A CON UNA ALTA RELACIÓN A/C.....	18
FIGURA N° 3: ESTRUCTURA DE LA PASTA.....	19
FIGURA N° 4: HIDRATACIÓN PARA VARIAS RELACIONES A/C	19
FIGURA N° 5: ESTADO DE FLOCULÓS HÚMEDOS AL ESTADO DE PASTA HOMOGÉNEA.....	22
FIGURA N° 6: AGREGADOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO	24
FIGURA N° 7: MUESTRA DE ROCA ÍGNEA	25
FIGURA N° 8: MUESTRA DE ROCA SEDIMENTARIA	25
FIGURA N° 9: MUESTRA DE ROCA METAMÓRFICAS	26
FIGURA N° 10: MUESTRA DE AGREGADO LIGERO	27
FIGURA N° 11: ENSAYO DE DENSIDAD DE AGREGADO FINO	34
FIGURA N° 12: MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	37
FIGURA N° 13: ESQUEMA DE LA UBICACIÓN DEL AGUA EN LA PASTA DE CEMENTO HIDRATADO	41
FIGURA N° 14: PARTÍCULAS DE FILLER CALIZO.	44
FIGURA N° 15: EFECTO DE LA MICROSÍLICE EN LA AUREOLA DE TRANSICIÓN DEL AGREGADO, COMPARACIÓN ENTRE UN CONCRETO CONVENCIONAL Y UN CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO.	47
FIGURA N° 16: ENSAYO DE ASENTAMIENTO CON EL CONO DE ABRAMS	51
FIGURA N° 17: CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL CONCRETO DE DIFERENTES RESISTENCIAS.....	53
FIGURA N° 18: PARTÍCULAS DE FILLER CALIZO.	54
FIGURA N° 19: PRUEBA DIRECTA DE TRACCIÓN.....	55
FIGURA N° 20: PRUEBA DIRECTA DE CORTE	56
FIGURA N° 21: DEFORMACIONES EN EL CONCRETO BAJO CARGAS AXIALES A LARGO PLAZO.	56
FIGURA N° 22: EFECTO DE ABRASION EN UN CONCRETO	62
FIGURA N° 23: CICLO ÓPTIMO DE RCD.	64
FIGURA N° 24: LA PRUEBA DEL SLUMP.....	72
FIGURA N° 25: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PROCEDIMIENTOS USUALES PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A TENSIÓN DEL CONCRETO.	76
FIGURA N° 26: MACRO LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	77
FIGURA N° 27: PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DEL SLUMP.	95
FIGURA N° 28: EQUIPOS PARA LA PRUEBA DE PESO UNITARIO	96

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFIA N° 1: RCD DE LAS OBRAS EN LA SALIDA A CUSCO	1
FOTOGRAFIA N° 2: RCD DE LA OBRA DEL JR.MOQUEGUA	2
FOTOGRAFIA N° 3: RCD DE LA OBRA DEL JR. APURIMAC - PUNO	63
FOTOGRAFIA N° 4: OBTENCIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS MANUALMENTE.	66
FOTOGRAFIA N° 5: SE OBSERVA LA CLASIFICACIÓN EN GRADACIÓN DE LOS AGREGADOS RECICLADOS RECUPERADOS.....	70
FOTOGRAFIA N° 6: CANTERA DE AGREGADO NATURAL ISLA-JULIACA.....	78
FOTOGRAFIA N° 7: MOLDES CILÍNDRICOS Y PRISMÁTICOS HABILITADOS.....	79
FOTOGRAFIA N° 8: SE OBSERVA GRAN CANTIDAD DE RCD. EN EL SECTOR SALIDA CUSCO – JULIACA.	85
FOTOGRAFIA N° 9: SE OBSERVA TRITURADO DE CONCRETO RECICLADO PARA SU USO EN LOS ENSAYOS.	88
FOTOGRAFIA N° 10: SE OBSERVA TAMAÑOS DE PARTÍCULAS DE AGREGADO RECICLADO.	89
FOTOGRAFIA N° 11: SE OBSERVA LA DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO. LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.....	94
FOTOGRAFIA N° 12: SE OBSERVA EL LLENADO Y COMPACTADO EN TRES CAPAS DE IGUAL VOLUMEN DEL CONCRETO. LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.	97
FOTOGRAFIA N° 13: SE OBSERVA EL ENRASADO Y ACABADO. LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.....	97
FOTOGRAFIA N° 14: SE OBSERVA LA MEDICION DEL ESPECIMEN. LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.....	98
FOTOGRAFIA N° 15: SE OBSERVA EL CABECEO DE ESPECÍMENES. LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.....	100
FOTOGRAFIA N° 16: SE OBSERVA LA DETERMINACIÓN DEL ENSAYO A LA COMPRESION DEL CONCRETO PRODUCIDO CON AGREGADOS NATURAL. LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.....	103
FOTOGRAFIA N° 17: E OBSERVA LA DETERMINACIÓN DEL ENSAYO A LA COMPRESION DEL CONCRETO PRODUCIDO CON AGREGADOS RECICLADOS. LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.....	104

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los conceptos de ecología y medio ambiente están adquiriendo mayor importancia a nivel Mundial, esto afecta directamente a la industria de la construcción por que el tipo de actividades que involucran a la industria de la construcción pueden tener consecuencias perjudiciales e incluso irreversibles sobre el medio ambiente, aparte de que cada día son más escasos los recursos naturales primarios a extraer. Es por esto la necesidad e importancia de tener que introducir en la construcción algunos cambios que ayuden a la conservación y al mejoramiento de nuestro entorno.

La cuantificación del volumen de producción y composición de los residuos de demolición y construcción todavía se enfrenta al problema de la falta de datos o estadísticas viables en nuestro país, lo que nos obliga a manejar estimaciones efectuadas a través de cálculos indirectos.

El reciclaje presenta grandes atractivos frente a la utilización de materias primas naturales. La gran ventaja es que soluciona a un mismo tiempo la eliminación de unos materiales de deshecho y que, mediante el aprovechamiento de éstos residuos para obtener una nueva materia prima, por lo tanto se reducen la cantidad de recursos naturales primarios a extraer.

El presente trabajo, trata la posibilidad de usar materiales provenientes de desechos sólidos, tales como los residuos producidos en obras de demolición, remodelación y construcción, principalmente concreto demolido, para emplearlos como agregados para el concreto. La finalidad, es darles un uso en el área de la construcción, ya que con esto se ayudaría a mejorar el entorno ambiental que nos rodea.

En el capítulo I, se marcan en el planteamiento metodológico.

El capítulo II, trata del marco teórico.

El capítulo III, nos habla de la propuesta técnica de la investigación.

En el capítulo IV, se muestra el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de las pruebas que se realizaron en laboratorio.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

A medida que transcurre el tiempo, el mundo experimenta cambios radicales que marcan las condiciones de vida en todas las naciones con el fin de adaptar nuevas estrategias orientadas al bien común.

El incremento en la ejecución de obras civiles donde se hace el uso de los agregados en grandes cantidades, ha provocado que tengamos que explotar y depredar las fuentes de donde se obtiene los agregados para la fabricación de concreto. Ante tales circunstancias, es importante considerar alternativas para la fabricación del concreto.

La reutilización y reciclaje de los residuos de construcción y demoliciones (RCD) a lo largo del ciclo de vida de los edificios y las infraestructuras, es una de las estrategias fundamentales para alcanzar la sostenibilidad en ese sector. Y para ello el concepto de “residuo” debería tender a desaparecer y dejar paso a la consideración de este flujo de material cómo un residuo.

FOTOGRAFIA N° 1: RCD DE LAS OBRAS DE LA AV. CIRCUNVALACION



FUENTE: Elaboración propia.

Es importante la necesidad de ordenar y mejorar la actual gestión y valorización de los residuos de un sector que genera alrededor de 800 m³. Por persona y año y todavía, de forma mayoritaria, van a pasar a lugares en abandono.

En el caso específico de la ciudad de Juliaca - Región Puno, esta cuenta con grandes cantidades de recursos referidos para la construcción del concreto; sin embargo se descuida el manejo de los residuos de la construcción que generalmente se destinan a depositarlos fuera de la población en abandono, donde genera contaminación ambiental. Particularmente en la ciudad de Juliaca estos últimos años se viene renovando muchas edificaciones y pavimentaciones; caso Centro de Salud Cono Sur como edificación, salida a Cusco, Av. Circunvalación electrificación, etc. donde los residuos extraídos de las referidas obras se han trasladado a área baja de la ciudad y se ha dejado en abandono.

FOTOGRAFIA N° 2: RCD DE DIVERSAS OBRAS



FUENTE: Elaboración propia.

La mayoría de los problemas ambientales que padecemos son debidos a la generación de residuos y su vertido al medio. Y, sin lugar a dudas, lo son los problemas ambientales más preocupantes, ya que se contamina el aire, suelo y agua. Los sistemas técnicos tradicionales, basados principalmente en la gestión de la biosfera como fuente de recursos, precisan retomar los residuos al medio en la forma adecuada para asegurar

el mantenimiento de su capacidad productiva y de la disponibilidad futura de los recursos.

1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.

El presente proyecto de investigación se realizará tomas de muestra de residuos en las obras ciudad de Juliaca y posteriormente se harán los ensayos en el LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.

1.2.2. DELIMITACIÓN SOCIAL.

La preocupación social, está en los residuos de la construcción abandonados ubicándose en lugares periféricos de las poblaciones, donde las consecuencias ambientales negativas los afectan a ellos. Por lo que la población no considera como otra fuente de trabajo que pueda beneficiar a personas de menores recursos económicos por no contar con la tecnología adecuada para hacer todo el proceso.

1.2.3. DELIMITACIÓN TEMPORAL.

El proceso se llevó a cabo desde el mes de septiembre del 2014, fecha en la que se dio la primera la coordinación y colaboración de las autoridades para tomar muestra del material a estudiar y hacer los ensayos en el laboratorio, hasta el mes que se acepta y aprueba el plan de investigación en mención.

1.2.4. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.

El presente proyecto estará delimitado por conocimientos adquiridos en la Universidad Alas Peruanas relacionados a todas las áreas aplicativas de la asesoría para la elaboración de investigación de agregados de concreto reciclado para fabricación de concreto de baja y mediana resistencia tema como definición de objetivos, variables de medición, instrumentos de medición, recopilación de datos y análisis de datos, apoyado por los conocimientos y aptitudes que nos pueden proveer los gestores del proyecto, para brindarles una metodología investigativa organizada, clara y concluyente que le ofrezca información relevante para una toma de decisiones eficaz y una ejecución de acciones estratégicas, en pro de su desarrollo actual y futuro.

1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son las propiedades de resistencia del concreto convencional y/o reciclado para estructuras en la ciudad de Juliaca 2015?

1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- A. ¿Cuáles son las propiedades en estado fresco del concreto convencional y reciclado para estructuras?
- B. ¿Cómo es la resistencia en estado sólido del concreto convencional y reciclado para estructuras?
- C. ¿Cuál es el costo-beneficio de la fabricación de concreto convencional y reciclado para estructuras?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades de resistencia del concreto convencional y reciclado para estructuras en la ciudad de Juliaca 2015.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- A. Conocer las propiedades del concreto en estado fresco tanto convencional y reciclado para estructuras.
- B. Identificado la resistencia en estado sólido del concreto convencional y reciclado para estructuras.
- C. Analizar el costo-beneficio de la fabricación del concreto convencional y reciclado para estructuras.

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Las propiedades de la resistencia difieren significativamente entre el concreto convencional y reciclado para estructuras en la ciudad de Juliaca 2015.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- A. Las propiedades de concreto en estado fresco tanto convencional y reciclado difieren en el marco del reglamento nacional de edificaciones E-060.
- B. La resistencia del concreto en estado sólido tanto convencional y reciclado presentan diferencias mínimas establecidas en el reglamento nacional de edificaciones E-060.
- C. El costo-beneficio de la fabricación del concreto convencional y reciclado para estructuras tiene diferencias significativas al mayor volumen de fabricación.

1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES:

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente concreto convencional	<ul style="list-style-type: none">- Materiales- Producción- Gestión- Conocimiento	<ul style="list-style-type: none">- agua- cemento- agregado fino- agregado grueso natural
Variable independiente concreto reciclado	<ul style="list-style-type: none">- Materiales- Producción- Gestión- Conocimiento- Desarrollo	<ul style="list-style-type: none">- Agua- Cemento- agregado fino- agregado Grueso reciclado- aditivos- Filler
Variable dependiente resistencia del concreto	Resistencia en estado sólido	<ul style="list-style-type: none">- Resistencia a la compresión axial simple- resistencia a la tensión
	Características del concreto en estado fresco	<ul style="list-style-type: none">- Trabajabilidad del concreto- Peso Unitario del concreto (Densidad)
	Costo-beneficio	<ul style="list-style-type: none">- Nivel de eficiencia

1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

A. TIPO

- Enfoque>>Cuantitativo

Porque permite examinar los datos de manera numérica, especialmente en el campo de la Estadística.

- Propósito>>Aplicado

Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren.

- Característica>>Comparativo

Permite relacionar similitudes y diferencias entre estos dos tipos de materiales, si cumplen con las normas aplicables.

B. NIVEL

De acuerdo a la naturaleza de la Investigación reúne por su características de un estudio de nivel Explicativo porque se logra caracterizar el concreto reciclados, señalar sus características y particularidades en comparación con el concreto convencional.

1.7.2. MÉTODO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

A. MÉTODO

- Deductivo

Porque partiremos de las bases teóricas de la investigación para luego hacer una hipótesis tentativa, definiremos los casos-premisas, observaremos atentamente el procedimiento de la investigación tal como se presenta en la realidad y confirmaremos así su validez.

- Ingeniería Civil

En primer lugar el Ingeniero debe ser capaz de investigar preliminarmente para poder definir el problema por solucionar. En segundo lugar, debe ser capaz de formular hipótesis fértiles. Finalmente, el ingeniero debe desarrollar la hipótesis para saber o conocer las que se implican e investigado si una proposición o un conjunto de ellas es la solución del problema formulado con procedimientos físicos.

B. DISEÑO:

- Experimental Puro

Aplicaremos este diseño para analizar la certeza de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones E-060, las hipótesis formuladas en un contexto particular.

- Corte Transversal

Implican la recolección de datos en un solo corte en el tiempo.

- Factorial

Se emplear este diseño porque se analizara experimentalmente la variable dependiente porqué tiene manipulación de más de una variable independiente.

1.7.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

A. POBLACIÓN

Una vez definido el problema y establecido el campo de estudio se establece la población en estudio que será el volumen de concreto reciclado de las obras ejecutadas en la ciudad de Juliaca como son el Bypass de la salida al cusco, del Jr. Apurímac y Jr. Moquegua donde existe un gran volumen de uso de concreto.

Volumen de concreto convencional será fabricado con agregados natural será de la cantera isla.

B. MUESTRA

Una vez situado la población de estudio y con ello el campo de investigación, la muestra seleccionada será estratificada por proporción de concreto reciclado. .

Proporción de concreto convencional será fabricado con agregados natural y será de la cantera isla.

1.7.4. TÉCNICA E INSTRUMENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

A. TÉCNICAS DE RECOLECCION DE DATOS

- Observación no estructurada
- Ensayos

B. INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

- Ficha de observaciones
- Ensayo de resistencia a la compresión axial simple
- Ensayo de resistencia a latensión
- Ensayo de la Trabajabilidad del concreto
- Ensayo de Densidad del concreto

1.8. JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.

1.8.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

A. JUSTIFICACION TÉCNICA.

El incremento vertiginoso de la ejecución de obras y la utilización de materiales como son los agregados que representa una mayor extracción y depredación de los recursos naturales de la zona y hace que tenga necesidad de sustituir y disminuir estos agregados obteniendo agregados de los residuos de la construcción y demoliciones (RCD).

La Norma Técnica Peruana NTP 400.050:1999 MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN. Se aplica a los residuos generados en el proceso constructivo o después de la remoción, levantamiento, demolición, reparación y/o reforzamiento de uso general.

B. JUSTIFICACION SOCIAL.

Una de las preocupaciones sociales, está en los residuos de la construcción sea abandono ubicándose en lugares periféricos de las poblaciones, donde residen familias de bajos recursos económicos, donde las consecuencias ambientales negativas los afectan a ellos.

En comparación a otros desperdicios, el concreto es relativamente inerte y usualmente no requiere de ningún tratamiento especial por lo que es necesario promover la participación de los micro emprendedores en forma individual o asociada, pequeñas, medianas empresas y organizaciones en los distintos aspectos de la gestión de los residuos de la construcción y demoliciones (RCD).

C. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.

El aspecto ambiental es lo más resaltante en el desarrollo del presente trabajo, tradicionalmente la construcción presentaba dos opciones de obtención de agregados para la fabricación de concreto, como eran los cerros y ríos donde existen afectaciones paisajísticas, suelo y desplazamiento de flora y fauna.

Al emplear agregados reciclados en lugar de agregado natural se genera menos desechos y se extraen menos recursos naturales.

1.8.2. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

En los últimos años en el Perú, paralelamente en ciudad de Juliaca ha aumentado considerablemente las ampliaciones, rehabilitaciones y nuevas infraestructura en las cuales se invierten grandes cantidades de concreto y con ello agregados naturales para su fabricación lo cual se ha visto en la ciudad de Juliaca, esto ha ocasionado el incremento de depredación y contaminación de las fuentes que se extraen el agregado natural en la ciudad de Juliaca, lo mismo que sucede en los demás regiones del Perú.

Se recomiendan opciones de manejo con énfasis en las opciones de reciclaje y reutilización del concreto usado como agregado para la fabricación de concreto de baja y media resistencia, para la construcción de obras civiles.

1.8.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo tiene limitaciones al mercado de concreto reciclado:

- falta de conocimiento y ausencia de experiencia de campo.
- Propiedades físicas de los áridos resultantes para usos específicos.
- Impactos medioambientales asociados.
- Dificultad para obtener la cantidad suficiente de material a reciclar para alcanzar el equilibrio económico.
- Dificultad para obtener fuentes de provisión homogéneas.

1.9. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.

1.9.1. VIABILIDAD ECONOMICA.

Aunque el concreto reciclado con escombros presenta un balance ambiental y técnico positivo, susceptible entonces de ser empleado en ampliaciones, rehabilitaciones y nuevas construcciones, aún no es motivo suficiente para que este se introduzca como un material de uso normal en una comunidad, ya que tanto para los habitantes, constructores y autoridades municipales es fundamental el factor económico, es decir, el costo que un material actualmente no convencional tendrá en el mercado. Esta es una realidad a la que no se le puede dejar de lado.

1.9.2. VIABILIDAD TÉCNICA.

El trabajo es técnicamente viable ya que dispone de la metodología para el desarrollo del proyecto:

- Obtención de residuos del concreto
- Trituración
- Separación de agregados (tamizaje)
- Sustitución
- Resultados

1.9.3. VIABILIDAD OPERATIVA.

Esta investigación cuenta con el apoyo de los ingenieros especialistas para hacer los ensayos en el laboratorio, lugar donde se efectuó la prueba piloto (prototipo). Se dispone de información necesaria que ayude al proceso de investigación como son libros, revistas, folletos, acceso al Internet, al correo electrónico.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Después de la Segunda Guerra Mundial se llevaron a cabo los primeros usos de los materiales provenientes de la demolición de edificios, utilizándolos como agregados para el concreto. En ese entonces los escombros producidos por los bombardeos a ciudades de utilizaron en la elaboración de concreto para la reconstrucción, particularmente en Gran Bretaña y Alemania.

Los Europeos se enfrentaron en sus ciudades destruidas a graves problemas de acumulación de escombros y se dedicaron a reciclarlos para utilizarlos como material de construcción. Después de la posguerra hubo muy poco interés por investigar este asunto; no fue. Sino hasta años posteriores cuando se incrementó el estadio del producto de la demolición como agregado.

En Rusia, en 1946 Gluzhge investigo el uso de desechos de concreto como agregado. Encontró que el agregado de concreto demolido tenía un peso específico menor que el del agregado natural, y que el concreto preparado con el agregado del concreto demolido tenía una baja resistencia a la compresión.

Por otra parte, con resistencia a la flexión del concreto con agregados de concreto demolido era mayor que la de las mezclas de control. Si se usaban agregados finos, de concreto, el contenido de cemento tenía que aumentar excesivamente.

A nivel latinoamericano, el reciclaje de los residuos de construcción y demolición es una idea cada vez más aceptada, existiendo casos en los que se ha hecho uso de agregados reciclados en la construcción de bases y sub bases de carreteras, y presentándose cada vez un mayor interés en el comportamiento que generan dentro del concreto.

En 1987, la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo elaboró un informe que se centraba en el estudio de la población, en el suministro de alimentos, en la extinción de especies, en los recursos genéticos, en la energía, en la industria y en los asentamientos. Interrelacionando todos estos factores, y sin posibilidad de tratamiento individual de cada uno de ellos, se elaboró el concepto de Desarrollo

Sostenible o Sustentable. La Comisión consideró que existían unos límites para el uso de la energía, del agua y de los demás recursos que ofrecía la Tierra, llamados materias primas. Sin embargo, estas cotas son difíciles de delimitar, ya que el desarrollo sostenible se tiene que producir antes de alcanzar dichos límites, no una vez alcanzados. Además, este desarrollo sostenible debe asegurar el reparto equitativo de los recursos, y tiene que reorientar la tecnología para reducir las tensiones que puedan existir entre el medio ambiente y el progreso, y viceversa: Tiene que asegurar el estudio de nuevas técnicas de reciclaje, reutilización y gestión. Por otro lado, esa Comisión indicó que los ecosistemas no pueden mantenerse intactos, debido a los cambios que produce el crecimiento económico.

La Comisión Brundtland señaló que uno de los objetivos principales de las prácticas de desarrollo sostenible debía ser conservar y mejorar los recursos básicos. Esta optimización de recursos implica que los no usados son desechos o residuos, y que sólo se considera óptimo su aprovechamiento si se usan para beneficio del hombre. Este punto de vista no tiene en cuenta la existencia de otros seres vivos que también dependen del medio ambiente, y que la intervención del hombre, en muchos casos, puede tener unos efectos nefastos sobre ellos. Quizás el reto más importante para el desarrollo sustentable es valorar de forma aceptable las acciones que no se puedan cuantificar en términos económicos. El hombre siempre intenta utilizar los recursos de la forma más amplia posible, agotando su capacidad, y los cambios se deben producir por la redistribución de los que están disponibles en ese momento. Resulta muy fácil de decir pero muy difícil de definir la capacidad disponible, cuando parte de la población no tiene cubiertas sus necesidades para subsistir. En 1992, en Manitoba, en la Mesa Redonda sobre el Medio Ambiente y Economía, se definió el desarrollo sostenible como una filosofía que sirviera de guía para un comportamiento individual y colectivo correcto con respecto al medio ambiente. Se asimilaron los límites ecológicos a la capacidad que tiene la Tierra para sostener y asimilar el desarrollo humano, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

- a. Producir más por menos mediante un uso más eficaz y efectivo de los recursos.
- b. Reutilización, reciclado y recuperación de los efluentes de actividades humanas.
- c. Asegurar procesos de producción respetuosos con el medio ambiente en todos los sectores.
- d. Aumentar la productividad por innovación tecnológica y por política institucional y social.
- e. Recuperar y restaurar espacios degradados.
- f. Conservar o sustituir los recursos esenciales por otros.

Cuando se habla de construcción, se refiere a diversas formas y combinaciones de cómo hacer o crear varios tipos de estructuras. Existen varios métodos de construcción, las estructuras están compuestas de acero, concreto, ladrillo, bloques de piedra, adobe, prefabricados con estructuras metálicas, madera, prefabricados de concreto, yeso/cartón. En la Universidades del Perú, por medio de la Facultad de Ingenierías, se han ejecutado varios trabajos de investigación y ensayos referentes a los diferentes materiales utilizados en la construcción, dando alternativas a las construcciones civiles.

El concreto se ha empleado como material constructivo desde tiempos remotos. Los egipcios emplearon morteros de yeso y de cal en sus construcciones monumentales. En la antigua Grecia, hacia el año 500 A.C. (antes de Cristo) se mezclaban compuestos de caliza calcinada con agua y arena, añadiendo piedras trituradas, tejas rotas o ladrillos, dando origen al primer concreto de la historia, usando tobas volcánicas. Los antiguos romanos emplearon tierras o cenizas volcánicas, conocidas también como puzolana, que contienen sílice y alúmina, que al combinarse químicamente con la cal daban como resultado el denominado cemento puzolánico.

El desarrollo del presente trabajo trata de utilizar los residuos de la construcción clasificados, para de ellos obtener agregados y volverlos a utilizar en la producción de concretos de baja y mediana resistencia. En la actualidad en la ciudad de Juliaca los residuos de estructuras de concreto son abandonados en ciertos lugares donde están produciendo impactos ambientales negativos; siendo interés de trabajo que desarrollamos utilizarlos nuevamente para de esa forma minimizar los impactos ambientales antes referidos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1.EL CONCRETO

La palabra concreto viene del latín “concretus” que significa compuesto. Consiste en una mezcla de agregados pétreos graduados unidos con una pasta de cemento y agua. Los agregados generalmente se clasifican en dos tipos: finos y gruesos. Los agregados finos son las arenas que pueden ser naturales o productos de trituración cuyas partículas tienen menos de $\frac{1}{4}$ de pulgada de tamaño; los agregados gruesos son los que tienen más de $\frac{1}{4}$ de pulgada. La pasta se compone de cemento, agua y a veces aire incluido. Generalmente esta pasta constituye el 20 al 35 % del volumen total del concreto.

. La resistencia mecánica del concreto se debe a las reacciones de hidratación del cemento. Los componentes del cemento se cristalizan progresivamente para formar un gel o pasta el cual rodea los agregados uniéndolos para producir un conglomerado. La resistencia mecánica como la permeabilidad del concreto están regidos por la relación agua/cemento (a/c), así mientras más alta es la resistencia es menos permeable.

TABLA N° 1: COMPONENTES DEL CONCRETO

Material	Ejemplo de variables
Cemento	Tipo de cemento Propiedades especiales
Agregados	Normales, ligeros, pesados. Naturales, chancados. Gradación, forma, textura.
Agua	Límites de componentes dañinos al concreto
Adiciones	Microsílice, ceniza volante, etc. Pigmentos. Fibras
Aditivos	Plastificantes, superplastificantes. Acelerantes, retardantes, etc.

FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Edit. Perú. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 20

A. CEMENTO PORTLAND.

Producto obtenido por la pulverización del clinker por-tland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos que no excedan del 1% en peso del total siempre que la norma correspondiente establezca que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el clinker. NORMA ITINTEC 334.001.

- **Tipo I:** De fraguado normal
- **Tipo II:** De propiedades modificadas
- **Tipo III:** De fraguado rápido
- **Tipo IV:** De fraguado lento
- **Tipo V:** Resistente a los sulfatos

En la región Puno los cementos comercialmente disponibles son el tipo I y el tipo IP, ambos producidos por la fábrica de Cemento Yura S.A. y Cemento Sur S.A. ambos cementos cumplen con las normas ASTM y NTP.

1. PROPIEDADES QUÍMICAS

a. Composición química.

Las materias primas constituyentes del cemento son principalmente cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Durante el proceso de producción del cemento estos compuestos interactúan para luego formar una serie de productos más complejos (silicatos cálcicos, aluminatos cálcicos y ferritos) que alcanzan un estado de equilibrio químico, con la excepción de un residuo de cal no combinada la cual no ha tenido suficiente tiempo para reaccionar esta es denominada como cal libre. Para obtener una idea general de la composición del cemento, ver la tabla 2.

TABLA N° 2: LÍMITES DE COMPOSICIÓN PARA CEMENTO PÓRTLAND

Oxido	Contenido, %
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	03-ago
Fe ₂ O ₃	0.5-6.0
MgO	0.1-4.0
Álcalis	0.2-1.3
SO ₃	01-mar

FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 21

- 1. Silicato tricálcico(C3S):** También denominado Alita, es la fase principal en la mayoría de los clinker Portland, y se compone de 73.7% de cal y 26.3% de ácido silícico. ya que proporciona resistencia a corto y mediano plazo.
- 2. Silicato dicálcico(C2S):** También denominado Belita, es la segunda fase en importancia en el clinker, y se compone de 65.1% de cal y 34.9% de ácido silícico. proporciona resistencia a mediano y largo plazo
- 3. Aluminato tricálcico(C3A):** El aluminato tricálcico se compone de 62.3% de cal y 37.7% de alúmina. este compuesto se hidrata con mayor rapidez, por lo que proporciona mayor velocidad de fraguado y el desarrollo de calor de hidratación.
- 4. Ferroaluminatotetracálcico(C4AF):** El ferro aluminato tetra cálcico se compone de 46.1% de cal, 21% de alúmina y 32.9% de óxido de hierro. Su presencia no contribuye a la resistencia, es más útil como fundente durante la calcinación del clinker.

b. Características químicas de los cementos YURA.

TABLA N° 3: ESPECIFICACIONES QUÍMICAS PARA EL CEMENTO PÓRTLANDYURA TIPO I

DESCRIPCION	YURA I
Dióxido de Silicio + RI ($\text{SiO}_2 + \text{Ri}$)	21.72
Oxido de Aluminio, Al_2O_3	3.97
Oxido Ferrico, Fe_2O_3 %	3.41
Oxido de calcio, CaO %	64.9
Oxido de magnesio, MgO , %	2.21
Trioxido de Azufre, SO_3 , %	2.04
Perdida por calcinación, PF. %	0.59
Residuo Insoluble, R.I., %	0.7
Cal libre	0.9

FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 25

TABLA N° 4: ESPECIFICACIONES QUÍMICAS PARA EL CEMENTO PÓRTLANDYURA TIPO IP

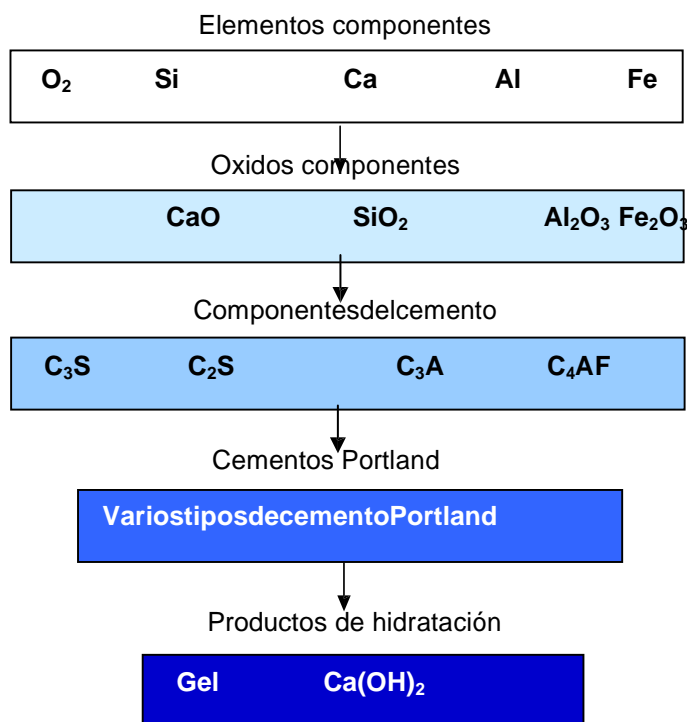
DESCRIPCION	YURA IP
Dióxido de Silicio + RI ($\text{SiO}_2 + \text{Ri}$)	36.64
Oxido de Aluminio, Al_2O_3	7.14
Oxido Ferrico, Fe_2O_3 %	3
Oxido de calcio, CaO %	44.75
Oxido de magnesio, MgO , %	1.75
Trioxido de Azufre, SO_3 , %	1.75
Perdida por calcinación, PF. %	1.41
Residuo Insoluble, R.I., %	-
Cal libre	-

FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 25

c. Hidratación del cemento.

La reacción mediante la cual el cemento Portland se transforma en un agente de enlace, se produce en una pasta de cemento y agua, generada por los procesos químicos responsables de la formación de compuestos. En otras palabras, en presencia del agua los silicatos y aluminatos forman productos de hidratación, los cuales, con el paso del tiempo, producen una masa firme y dura que se conoce como pasta de cemento endurecida. Se puede observar la secuencia de la formación e hidratación del cemento Portland.

FIGURA N° 1: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA FORMACIÓN E HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PÓRTLAND.



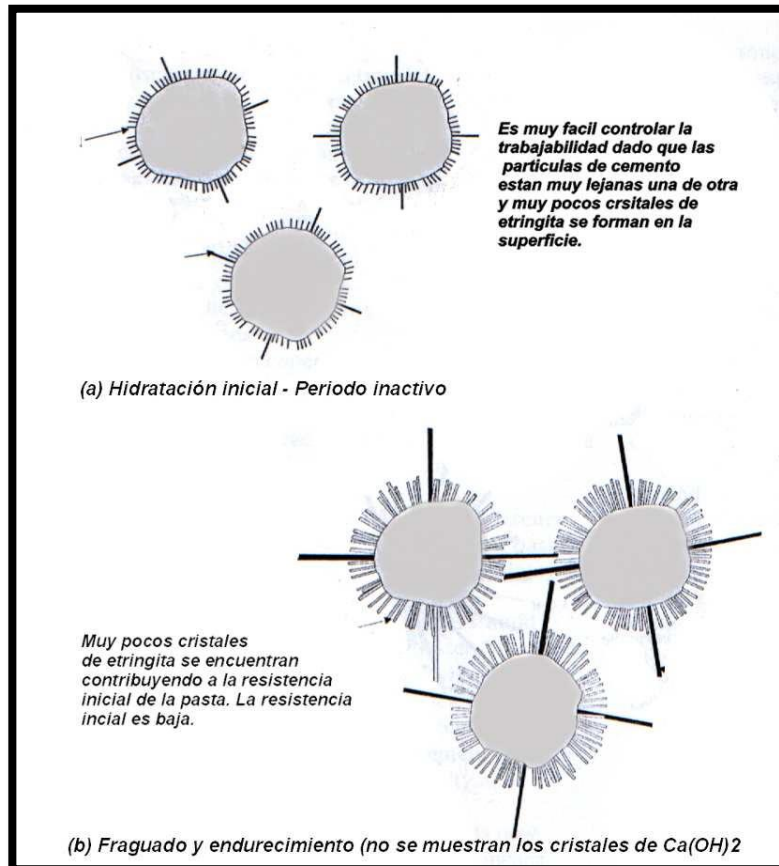
FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 31

La hidratación comienza en los granos de cemento después de cierto tiempo de estar en contacto con el agua en la superficie de las partículas de cemento, similarmente a la corrosión de un metal. Luego con el tiempo, esta superficie de reacción se mueve gradualmente más profundamente en el interior de la partícula de cemento.

d. Estructura de la pasta de cemento fresca:

La estructura de la pasta de cemento fresca tiene los mayores efectos en la estructura y propiedades de la pasta endurecida. La estructura inicial parece depender de las fracciones volumétricas, granulometría, composición química y la presencia de aditivos. Esta estructura hace plástica a la pasta, sin perder continuidad y reteniendo una forma. Esto porque las partículas de cemento y las burbujas de aire están dispersas en una solución acuosa, y especialmente porque las fuerzas interparticulares tienden a unir las partículas. Esto también causa un estado de floculación en la pasta de cemento. Específicamente, el estado plástico es debido a la coexistencia de fuerzas de atracción y repulsión entre las partículas de cemento. La atracción es debida a un amplio rango de fuerzas intermoleculares conocidas como fuerzas de Van der Waals. Las fuerzas de repulsión son debidas a:

FIGURA N° 2: DESVENTAJAS DEL USO DE UN CEMENTO PÓRTLAND CON BAJO CONTENIDO C3A CON UNA ALTA RELACIÓN A/C.



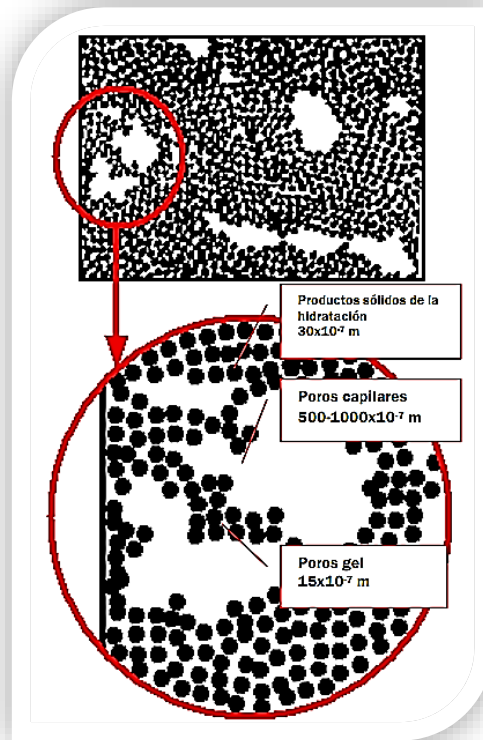
FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 35

e. Estructura de la pasta de cemento endurecido:

Muchas de las propiedades mecánicas del cemento y del concreto endurecidos parecen depender no tanto de la composición química del cemento hidratado, sino más bien de la estructura física de los productos de hidratación, vistos a nivel de sus dimensiones coloidales. Por esta razón, es importante tener una imagen clara de las propiedades físicas del gel de cemento.

La pasta de cemento fresco es una red de partículas de cemento en agua, pero una vez que la pasta ha fraguado, su volumen aparente o bruto permanece aproximadamente constante. En cualquier etapa de hidratación la pasta endurecida consta de hidratos de varios compuestos, denominados colectivamente como gel de cristales de Ca(OH)_2 , algunos componentes menores, cemento no hidratado y residuos de los espacios rellenos de agua en la pasta fresca. Estos huecos se denominan poros capilares, pero dentro del gel mismo existen huecos intersticiales llamados poros de gel. Por lo tanto, en una pasta deshidratada hay dos clases distintas de poros, que se representan en forma esquemática en la figura 3.

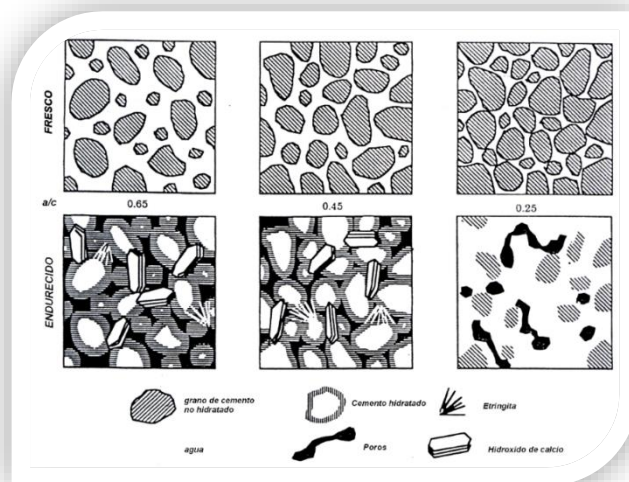
FIGURA N° 3: ESTRUCTURA DE LA PASTA



FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 38

La auto desecación causa una hidratación menor, comparada con la de una pasta curada en humedad, este último concepto adopta especial importancia en los concretos con bajas relaciones agua/cemento, es por esta razón que se adicionan otros materiales, para reducir la cantidad de cemento y lograr una adecuada estabilidad volumétrica.

FIGURA N° 4: HIDRATACIÓN PARA VARIAS RELACIONES A/C



FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 39

2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.

Las propiedades físicas y mecánicas del cemento Pórtland permiten complementar las propiedades químicas y conocer otros aspectos de su bondad como material cementante.

a. **Peso específico:**

El peso específico del cemento corresponde al material en estado compacto. Su valor suele variar para los cementos Pórtland normales entre 3.0 y 3.2. En el caso de cementos adicionados el valor es menor de 3.0 y depende de la finura del material adicionado.

Es por su menor peso específico que los cementos Pórtland adicionados proporcionan una mayor cantidad de pasta para un mismo peso de cemento, esto mejora las características de trabajabilidad de los concretos elaborados con estos cementos.

b. **Fraguado:**

Este es el término utilizado para describir la rigidez de la pasta del cemento, aun cuando la definición de rigidez de la pasta puede considerarse un poco arbitraria. En términos generales el fraguado se refiere a un cambio del estado fluido al estado rígido. Aunque durante el fraguado la pasta adquiere cierta resistencia, para efectos prácticos es conveniente distinguir el fraguado del endurecimiento, pues este último término se refiere al incremento de resistencia de una pasta de cemento fraguada.

El proceso de fraguado va acompañado de cambios de temperatura en la pasta del cemento: el fraguado inicial corresponde a un rápido aumento en temperatura y el final, al máximo de temperatura. En este momento también se produce una fuerte caída en la conductividad eléctrica, por lo que se han realizado algunos intentos de medir el fraguado por medios eléctricos.

c. **Resistencias mecánicas:**

La resistencia mecánica del cemento endurecido es la propiedad del material que posiblemente resulta más obvia en cuanto a los requisitos para usos estructurales. Por lo tanto, no es sorprendente que las pruebas de resistencia estén indicadas en todas las especificaciones del cemento.

La resistencia de un cemento es función de su fineza, composición química, grado de hidratación, así como del contenido de agua de la pasta. La velocidad de desarrollo de la resistencia es mayor durante el periodo inicial de endurecimiento y tiende a disminuir gradualmente en el tiempo. El valor de la resistencia a los 28 días se considera como la resistencia del cemento.

d. Compacidad de los cementos:

La compacidad es una característica usualmente asociada a la mecánica de suelos, sin embargo la particularidad de las mezclas de concreto de usar materiales granulares abarcan este concepto, el cual ha sido recientemente usado para caracterizar a los cementos y su interacción con los aditivos plastificantes y super plastificantes. La compacidad y porosidad de los materiales finos como el cemento no puede ser medida en seco como en caso de las gravas y arenas. En efecto es indispensable tomar en cuenta la floculación generada en presencia del agua, y el efecto defloculante de los super plastificantes o plastificantes que son utilizados en el concreto.

Para esto se desarrolló el ensayo de demanda de agua, bajo el principio siguiente: en una mezcla de peso (P_p) de cemento con una cantidad de agua (P_e) necesaria para hacer pasar la mezcla de un estado de tierra húmeda a un estado de pasta homogénea, esta cantidad de agua es considerada como la cantidad que llena la porosidad del acomodo de los granos. En este caso, la compacidad (o demanda de agua) de los materiales cementicios es determinada por la ecuación siguiente:

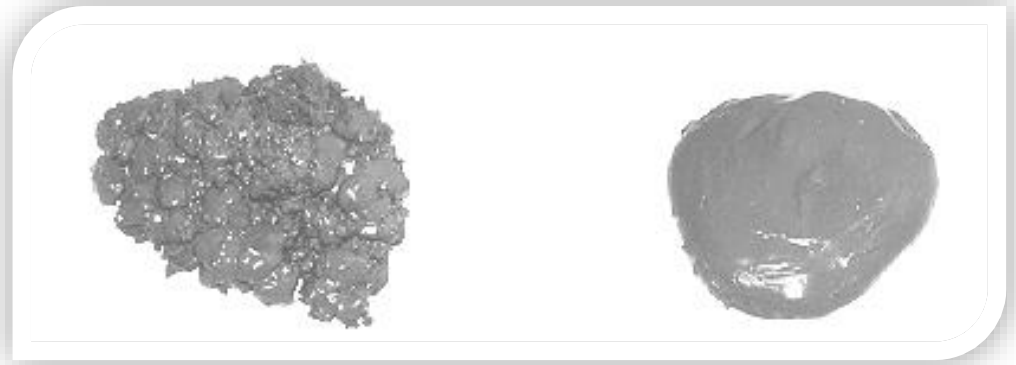
$$C = \frac{1000}{1000 + d * \frac{P_c}{P_p}}$$

Donde:

d: peso específico del cemento en kg/m³

La dificultad de este método reside en el reconocimiento visual del cambio al estado de pasta homogénea. Las fotos de la figura 5. presentan la diferencia en los estados obtenidos, en el momento del ensayo de demanda de agua en un cemento. Pasamos de un material del tipo de tierra húmeda, a un estado de pequeños floculos brillantes, entonces bruscamente por el incremento de una pequeña cantidad de agua, obtenemos una pasta homogénea.

FIGURA N° 5: ESTADO DE FLOCULÓS HÚMEDOS AL ESTADO DE PASTA HOMOGÉNEA



FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 45

Sin embargo para ciertos ultras finos como la microsíllice, la medida puede ser un poco más delicada. En efecto, el estado intermedio de pequeños floculós húmedos no es visible y es reemplazado por una pasta aglomerada heterogénea. Un aumento de agua permite el paso al estado de una pasta compacta pero homogénea. Este es el punto que corresponde a la demanda de agua. Un aumento más de agua producirá un material con aspecto de un gel, pero que no fluye.

TABLA N° 5: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO

NORMA ASTM C-150	I	II	III	IV	V
Contenido de aire, volumen% Máx.	12	12	12	12	12
Fineza, superficie específica, M²/Kg:					
Blaine, min.	280	280	---	280	280
Expansión de autoclave, Máx. %	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Resistencia, mínima: Kg./cm²					
1 día	---	---	124	---	---
3 días	124	103	241	---	83
7 días	193	172	---	69	152
28 días	---	---	---	172	207
Opcional, resistencia 28 días:	276	276 221*	---	---	---
Tiempo de fraguado:					
Vicat (hr.) Inicial, mín. Final, máx.	0:45 6:15	0:45 6:15	0:45 6:15	0:45 6:15	0:45 6:15

FUENTE: Tecnología del Concreto A. M. Neville pág. 26

B. AGREGADOS.

Si bien los agregados son los componentes inertes del concreto, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la norma NTP 400.037 y ocupan entre el 60 % a 80 % del volumen total del concreto es notable; sin embargo durante varios años su estudio fue descuidado, debido principalmente, al bajo costo comparativo con el costo del cemento, además de los bajos requerimientos de resistencia, en los cuales los agregados no tienen gran influencia, hoy en día se conoce la influencia del agregado en las propiedades del concreto tanto en estado fresco y endurecido. Los agregados deben cumplir las normas como la ITINTEC 400.037. Y ASTM C33, caso contrario se deberá comprobar su eficiencia en el concreto. Es recomendable que en una obra, todas las mezclas empleen los mismos agregados.

1. CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS.**1.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU PROCEDENCIA.**

De acuerdo con el origen de los agregados, según su procedencia ya sea de fuentes naturales o a partir de productos industriales, se pueden clasificar de la siguiente manera:

FIGURA N° 6: AGREGADOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO



FUENTE: ACI. Boletín Técnico.

<http://www.acimexicosnem.org/online/destacados/boletin-tecnico-01-2012/> .
México, 2012, pág. 01

1.1.1 AGREGADOS NATURALES.

Son aquellos procedentes de la explotación de fuentes naturales tales como: depósitos de arrastres fluviales (arenas y gravas de río) o glaciares (cantos rodados) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Pueden usarse tal como se hallen o variando la distribución de tamaños de sus partículas, si ello se requiere. Todas las partículas que provienen de los agregados tienen su origen en una masa mayor la que se ha fragmentado por procesos naturales como intemperismo y abrasión, o mediante trituración mecánica realizada por el hombre, por lo que gran parte de sus características vienen dadas por la roca madre que le dió su origen.

a. Rocas Ígneas:

La mayor parte de la corteza terrestre está formada por rocas ígneas y las demás proceden de ellas, por lo que se les llama rocas originales, endógenas ó magmáticas por proceder del magma. En la figura N° 7 se presenta la clasificación de las rocas ígneas según la velocidad de solidificación del magma y el lugar de la corteza terrestre donde ocurre esta consolidación.

FIGURA N° 7: MUESTRA DE ROCA ÍGNEA



FUENTE: ING. GERARDO A. RIVERA L., Concreto Simple, Universidad del Cauca-Colombia, 2013, pág. 42

b. Rocas Sedimentarias:

Son las más abundantes en la superficie terrestre (75%); están formadas por fragmentos de rocas ígneas, metamórficas u otras sedimentarias. Su origen puede darse por dos procesos: por descomposición y desintegración de las rocas mencionadas, en un proceso de erosión, transporte, depositación y consolidación; o por precipitación o depositación química (carbonatos). Los agentes que transportan y depositan se describen en la figuraN°8.

FIGURA N° 8: MUESTRA DE ROCA SEDIMENTARIA



FUENTE: ING. GERARDO A. RIVERA L., Concreto Simple, Universidad del Cauca-Colombia, 2013, pág. 43

c. Rocas Metamórficas:

FIGURA N° 9: MUESTRA DE ROCA METAMÓRFICAS



FUENTE: ING. GERARDO A. RIVERA L., Concreto Simple, Universidad del Cauca-Colombia, 2013, pág. 44

Elas provienen de rocas ígneas y sedimentarias, las cuales experimentan modificaciones en sólido debido a grandes presiones que sufren los estratos profundos, temperaturas elevadas que hay en el interior, y emanaciones de los gases del magma; según la incidencia de estos factores el metamorfismo pueden ser:

Metamorfismo de contacto:

Debido a la intrusión del magma y al calor aportado por éste, la formación de la roca es originada por transformación iónica y porque se presenta una fluidez que permite modificar sin fragmentar los cristales que se alargan y adelgazan.

Metamorfismo regional o dinámico:

Se denomina regional porque generalmente ocupa grandes extensiones y se presenta a gran profundidad en condiciones de altas presiones de confinamiento, combinadas con reacciones químicas que originan una reagrupación molecular para conformar una roca más densa en su estructura. Según el grado de metamorfismo, se obtienen estructuras foliadas (esquistadas) o masivas, las cuales inciden en la forma, tamaño y textura de las partículas del agregado.

1.1.2 FABRICACIÓN DE AGREGADO LIGEROS.

Los áridos ligeros deben presentar una superficie bien cerrada y muy impermeable. Una condición para que esto se cumpla es que, después de la inclusión de aire, los granos tengan ya el tamaño deseado y no deban triturarse posteriormente. Según la materia prima disponible, son corrientes los siguientes procesos de preparación:

FIGURA N° 10: MUESTRA DE AGREGADO LIGERO



FUENTE: ING. GERARDO A. RIVERA L., Concreto Simple, Universidad del Cauca-Colombia, 2013, pág. 46

a. Preparación por la vía seca.

En la obtención de la pizarra expandida, el material se tritura hasta el punto preciso para que los granos después de la inclusión de aire alcancen el tamaño deseado.

b. Preparación por la vía húmeda.

En éste proceso de preparación de arcilla expandida, de pizarra arcillosa expandida y de arcilla pizarrosa expandida, se tritura el material en varias etapas, se homogeniza y se hace una masa plástica moldeable.

1.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU DENSIDAD.

Depende de la cantidad de masa por unidad de volumen y del volumen de los poros, ya sean agregados naturales o artificiales. Esta distinción es necesaria porque afecta la densidad del concreto (ligero, normal o pesado) que se desea producir, como lo indica la tabla N° 6.

TABLA N° 6: CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN SU MASA UNITARIA

TIPO DE CONCRETO	MASA UNITARIA APROX. DEL CCTO. kg/m ³	MASA UNITARIA DEL AGREGADO kg/m ³	EJEMPLO DE UTILIZACIÓN	EJEMPLO DE AGREGADO
Ultraligero	500 – 800		Concreto para aislamiento.	Piedra pómez Ag. Ultraligero.
Ligero	950 – 1350 1450 – 1950	480 – 1040	Rellenos y mampostería no estruct. Ccto. Estructural	Perlita Ag. Ultraligero.
Normal	2250 – 2450	1300 – 1600	Ccto. Estruct. Y noestruct.	Agregado de río o triturado.
Pesado	3000 – 5600	3400 – 7500	Ccto. Para proteger de radiación gamma ó X, y contrapesos	Hematita, barita, coridón, magnetita.

FUENTE: ING. GERARDO A. RIVERA L., Concreto Simple, Universidad del Cauca-Colombia, 2013, pág. 52

1.3 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU TAMAÑO.

La forma más generalizada de clasificar los agregados es según su tamaño, el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros de sección; ésta distribución del tamaño de las partículas, es lo que se conoce con el nombre de GRANULOMETRÍA.

1.4 CLASIFICACIÓN DE SEGÚN SU FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL.

La presencia de partículas alargadas o aplanadas puede afectar la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad de las mezclas, porque tienden a orientarse en un solo plano lo cual dificulta la manejabilidad; además debajo de

las partículas se forman huecos de aire y se acumula agua perjudicando las propiedades de la mezcla endurecida.

TABLA N° 7: CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO SEGÚN SU FORMA

FORMA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
Redondeadas	Totalmente desgastada por el agua o completamente limada por frotamiento.	Grava de río o playa, arena del desierto, playa.
Irregular	Irregularidad natural, o parcialmente limitada por frotamiento y con orillas redondeadas.	Otras gravas, pedernales del suelo o de excavación.
Escamosa	Material en el cual es pequeño en relación a las otras dos dimensiones.	Roca laminada.
Angular	Posee orillas bien definidas que se forman en la intersección de caras más o menos planas.	Rocas trituradas de todo tipo, escoria triturada.
Alongadas	Material normalmente angular en el cual la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.	

FUENTE: ING. GERARDO A. RIVERA L., Concreto Simple, Universidad del Cauca-Colombia, 2013, pág. 54

Por otro lado, la textura superficial de las partículas del agregado influye en la manejabilidad y la adherencia entre la pasta y el agregado, por lo tanto, afecta la resistencia (en especial la resistencia a la flexión).

La textura depende de la dureza, el tamaño del grano y las características porosas de la roca original (las rocas densas, duras y de grano fino generalmente tienen superficies con fracturas suaves), así como del grado en que las fuerzas que actúan sobre la superficie de la partícula han modificado sus características

TABLA N° 8: CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO SEGÚN SU TEXTURA SUPERFICIAL

TEXTURA	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLO
Vítrea	Fractura concoidal.	Pedernal negro, escoria vítrea.
Lisa	Desgastada por el agua, o liso debido a la fractura de roca laminada o de grano	Gravas, pizarras, mármol, algunas reolitas.
Granular	Fractura que muestra granos más o menos uniformemente redondeados.	Arenisca.
Áspera	Fractura áspera de roca con granos finos o medianos que contienen constituyentes cristalinos no fácilmente visibles.	Basalto, felsita, pórfido, caliza.
Cristalina	Contiene constituyentes cristalinos fácilmente visibles.	Granito, Gabro, Gneis.
Apanalada	Con poros y cavidades visibles	Pómez, escoria espumosa, arcilla expandida.

FUENTE: ING. GERARDO A. RIVERA L., Concreto Simple, Universidad del Cauca-Colombia, 2013, pág. 54

2. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.

Luego pues, la explicación a sus diversos comportamientos siempre responde a alguna de estas leyes; y la no obtención de los resultados esperados, se debe al desconocimiento de la manera cómo actúan en el material, lo que constituye la

utilización artesanal del mismo (por lo que el barco de la práctica sin el timón de la ciencia nos lleva a rumbos que no podemos predecir) o porque durante su empleo no se respetaron o se obviaron las consideraciones técnicas que nos da el conocimiento científico sobre él.

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 aglomeramiento 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, conductibilidad, durabilidad etc.

2.1 PROPIEDADES QUÍMICAS.

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

a. Epitaxia.

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

b. Reacción álcali-agregado.

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

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

también existe otra reacción similar entre algunos tipos de caliza dolomítica y los álcalis del cemento, en lo que se llama una reacción álcali-carbonato, que es menos frecuente.

2.2 PROPIEDADES FÍSICAS.

Asociadas a estas propiedades 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:

2.2.1 GRANULOMETRÍA

Es 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 representativa del agregado en fracciones de igual tamaño de partículas; la medida de la cuantía de cada fracción se denomina como granulometría.

El análisis granulométrico consiste en hacer pasar el agregado a través de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben de ajustarse a la Norma ITINTEC400.037. Actualmente la designación de tamices se hace de acuerdo a la abertura de la malla, medida en milímetros o en micras.

REQUISITOS OBLIGATORIOS:

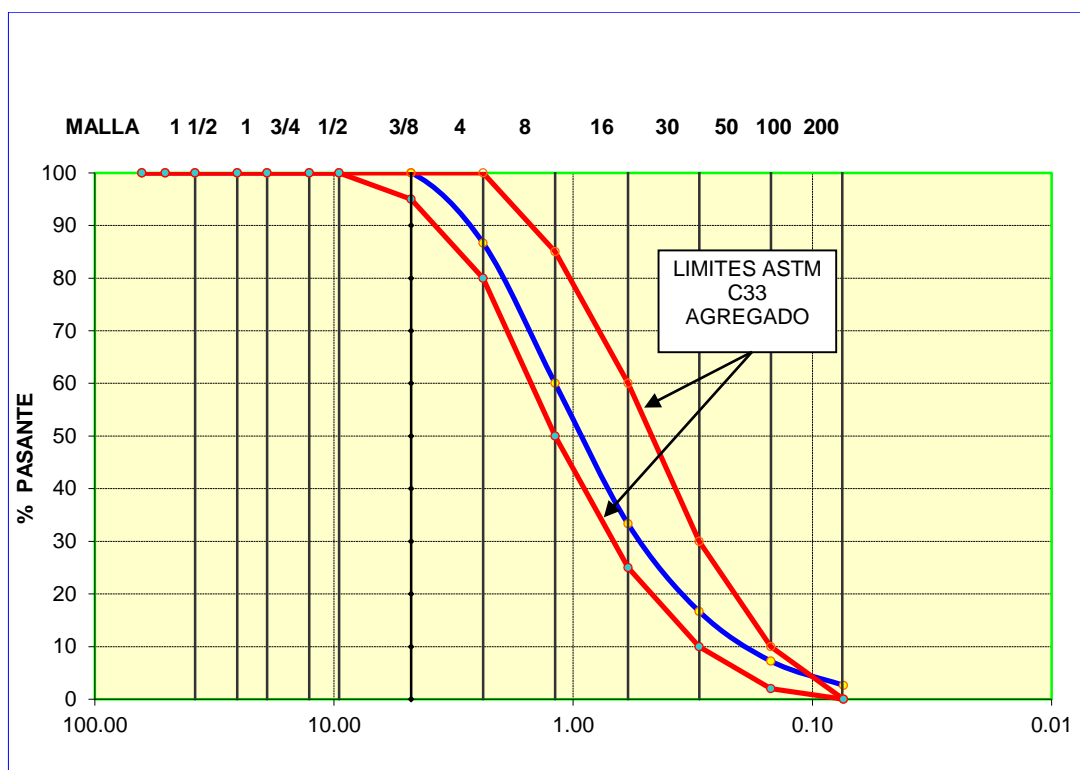
a. Granulometría del agregado fino

Se hace necesario aclarar inicialmente que no existe una curva granulométrica ideal, cada combinación de agregados tendrá la propia suya, la influencia de la forma y textura superficial.

TABLA N° 9: PORCENTAJE PASANTE DEL AGREGADO FINO.

TAMIZ	% PASANTE
9.5 mm (3/8 - in)	100
4.75 mm (N° 4)	95 - 100
2.36 mm (N° 8)	80 - 100
1.18 mm (N° 16)	50 - 85
600 micr (N° 30)	25 - 60
300 micr (N° 50)	10 - 30
150 micr (N° 100)	0 - 10

TABLA N° 10: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.



b. Granulometría de los agregados gruesos

- El RNC especifica 10 series granulométricas similares a las normalizados por el ASTM
- La elección de una serie granulométrica debe efectuarse de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado grueso
- El RNC prescribe que el tamaño máximo nominal del agregado no debe ser mayor de:
 - o 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado
 - o 1/3 del peralte de la losa
 - o 3/4 del espaciamiento mínimo entre varillas

TABLA N° 11: PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS DEL AGREGADO GRUESO

TAMAÑO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
	100 mm	90 mm (3 1/2)	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°3)	1,18 mm (N°16)
90 mm a 37,5 mm (3 1/2 a 1 1/2)	100	90 a 100	.....	25 a 60	.....	0 a 15	.....	0 a 5	.....	.....	.....	.....	.....

63 mm a 37,5 mm (2 1/2 - 1 1/2 )	..... .	.....	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	..... .	0 a 5	.....	.....	.....	.....	.....
50 mm a 25,0 mm (2 a 1 )	..... .	.....	.....	100	90 a 0	35 a 70	0 a 15	.....	0 a 5	.....	.....	.....	.....
50 mm a 4,75 mm (2 a N° 4 )	..... .	.....	.....	100	95 a 100	.....	35 a 70	.....	0 a 30	.....	0 a 5	.....	.....
37,5 mm a 19,0 mm (1 1/2 a 3/4 )	..... .	.....	.....	.....	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	.....	0 a 5	.....	.....	.....
37,5 mm a 4,75 mm (1 1/2 a N° 4 )	..... .	.....	.....	.....	100	95 a 100	.....	5 a 0	.....	10 a 30	0 a 5	.....	.....
25,0 mm a 12,5 mm (9 a 1/2 )	..... .	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	.....	.....	.....
25,0 mm a 9,5 mm (1 a 3/8 )	..... .	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	.....	.....
25,0 mm a 4,75 mm (1 a N° 4 )	..... .	.....	.....	.....	.....	100	35 a 100	.....	25 a 60	.....	0 a 10	0 a 5	.....
19,0 mm a 9,5 mm (3/4 a 3/8 )	..... .	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	.....	.....
19,0 mm a 4 mm (3/4 a 4 )	..... .	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	.....	20 a 55	0 a 10	0 a 5	.....
12,5 mm a 4,75 mm (1/2 a N° 4 )	..... .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	.....
9,5 mm a 2,36 mm (3/8 a N° 8 )	..... .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

FUENTE: PINZUAR LTDA. LABORATORIO DE METROLOGIA (ING: FELIPE JESUS CACERES PINEDA) PUNO-PERU-2015

2.2.2 DENSIDAD.

Las partículas del agregado están conformadas por masa del agregado, vacíos que se comunican con la superficie llamados poros permeables o saturables y vacíos que no se comunican con la superficie, es decir que quedan en el interior del agregado llamados poros impermeables o no saturables; de acuerdo con lo anterior tenemos tres densidades a saber:

a. Densidad real:

Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo sus poros permeables o saturables y los no saturables o impermeables.

b. Densidad nominal:

Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo únicamente los poros permeables o saturables.

c. Densidad aparente:

Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, incluyendo tanto poros permeables o saturables como poros impermeables o no saturables (volumen aparente o absoluto).

FIGURA N° 11: ENSAYO DE DENSIDAD DE AGREGADO FINO



FUENTE: ING. GERARDO A. RIVERA L., Concreto Simple, Universidad del Cauca-Colombia, 2013, pág. 64

2.2.3 ABSORCIÓN Y HUMEDAD.

La absorción (porcentaje de agua necesaria para saturar los agregados o el hormigón expresada con respecto a la masa de los materiales secos) y la humedad, deben determinarse de acuerdo con las normas NTC 176, 237 y 1776, de manera que la cantidad de los materiales en la mezcla pueda controlarse y se establezca las masas correctas de cada uno de ellos.

La estructura interna de las partículas de un agregado está conformada por materia sólida y por poros o huecos los cuales pueden contener agua o no. Las condiciones de humedad en que se puede encontrar un agregado serán:

- a. **Seco:** Ningún poro con agua.
- b. **Húmedo No Saturado:** Algunos poros permeables con agua.
- c. **Saturado y Superficialmente Seco (S.S.S):** Todos los poros permeables llenos de agua y el material seco en la superficie.

- d. Húmedo Sobresaturado:** Todos los poros permeables contienen agua y además el material tiene agua en la superficie (agua libre).

2.2.4 PESO ESPECÍFICO.

El peso específico de los agregados depende tanto de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. El peso específico cobra especial importancia en los concretos de alto desempeño, dado que por requerimientos de resistencia es usual requerir un agregado con peso específico adecuado y no menor de lo convencional, pues agregados con bajas densidades generalmente indican material poroso, poco resistente y de alta absorción. Sin embargo, estas características de bajo peso específico pueden ser requeridas para concretos ligeros de alto desempeño.

El peso específico aparente del agregado depende de la densidad de los minerales que los componen, así como de la cantidad de poros que contengan. La mayoría de los agregados naturales tienen una densidad relativa del orden de 2.5 a 2.7, y el rango de valores aparece en la tabla 12. Los valores para agregados artificiales se extienden desde mucho más abajo hasta mucho más arriba de este.

TABLA N° 12: PESOS ESPECÍFICOS APARENTES DE DIVERSOS GRUPOS DE ROCAS

Grupo de la roca	Peso específico promedio	Amplitud de densidades
Basalto	2.8	2.6 - 3.0
Pedernal	2.54	2.4 - 2.6
Granito	2.69	2.6 - 3.0
Arenisca	2.69	2.6 - 2.9
Hornfelsa	2.82	2.7 - 3.0
Caliza	2.66	2.5 - 2.8
Pórfido	2.73	2.6 - 2.9
Cuarcita	2.62	2.6 - 2.7

FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo Da Vinci. 2005, pág. 64

2.2.5 POROS.

Cuando se habló de la densidad de los agregados, se mencionó la presencia en ellos de poros internos y, de hecho, las características de dichos poros son muy importantes en el estudio de sus propiedades. La porosidad de los agregados, su impermeabilidad y absorción influyen en las propiedades como la

adherencia entre el agregado y los materiales cementicios, la resistencia del concreto a la congelación y al deshielo, así como la estabilidad química y la resistencia a la abrasión. Como se mencionó anteriormente, la densidad aparente de los agregados depende también de la porosidad y, como consecuencia de esto, se ve afectado el rendimiento del concreto para determinado peso del agregado.

TABLA N° 13: POROSIDAD DE ALGUNAS ROCAS

Grupo de roca	Porosidad, porcentaje
Arenisca	0.0-48.0
Cuarcita	1.9-15.1
Caliza	0.0-37.6
Granita	0.4-3.8

FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 67

2.2.6 PESO UNITARIO, COMPACIDAD Y POROSIDAD:

a) 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 estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo. La Norma ASTM C-29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen. El valor del peso unitario para agregados normales oscila entre 1,500 y 1,700 kg/m³.

b) Compacidad (ϕ)

Se define como compacidad del agregado, al volumen de sólidos en un volumen unitario.

$$\phi = \frac{\text{Peso Unitario}}{\text{Peso Especifico}}$$

c) Porosidad.

Se define porosidad o contenidos de vacíos, al espacio no ocupado por las partículas de agregado en un volumen unitario, $\pi = \Phi - 1$, la porosidad la podemos calcular con la siguiente expresión:

$$\pi = \frac{\text{Peso.Específico} - \text{Peso.Unitario}}{\text{Peso.Específico}} * 100$$

Estas tres definiciones dependen de los siguientes parámetros principales:

- La gravedad específica de los agregados.
- El tamaño de los granos, descritos por la curva granulométrica.
- La forma y textura de los granos.
- El grado de compactación, la manera de la cual es realizado el acomodo.
- El efecto pared ejercido por el recipiente donde se realiza la prueba.

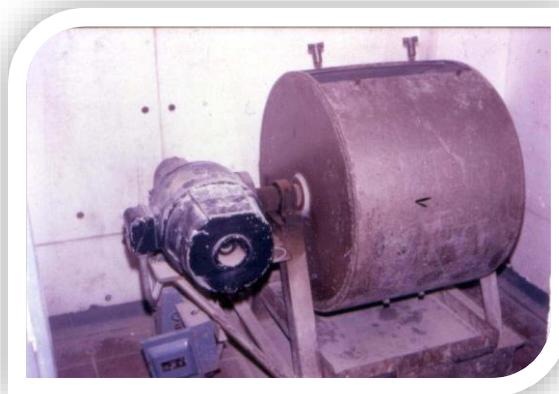
2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS.

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

a) Resistencia.

La resistencia al desgaste de un agregado se usa con frecuencia como indicador general de la calidad del agregado; esta característica es esencial cuando el agregado se va usar en concreto sujeto a desgaste como en el caso de los pavimentos rígidos.

FIGURA N° 12: MÁQUINA DE LOS ÁNGELES



FUENTE: ING. GERARDO A. RIVERA L., Concreto Simple, Universidad del Cauca-Colombia, 2013, pág. 64
Agregados normales con Peso específico entre 2.5 a 2.7, tienen resistencias en compresión del orden de 750 a 1,200 Kg/cm².

Los agregados ligeros con Peso específico entre 1.6 a 2.5 usualmente manifiestan resistencias de 200 a 750 Kg/cm².

b) 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 angularidad 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.

c) 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 $5,000 \pm 25$ 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. Las normas ASTM aplicables son la C-131 y C-535.

Agregados con altos valores de desgaste a la abrasión (> 50 %) producen concretos con características resistentes inadecuadas en la mayoría de casos.

2.4 PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS AGREGADOS.

Condicionan el comportamiento de los agregados ante el efecto de los cambios de temperatura. Estas propiedades tienen importancia básica en el concreto pues el calor de hidratación generado por el cemento, además de los cambios térmicos ambientales actúan sobre los agregados provocando dilataciones expansiones retención o disipación de calor según sea el caso. Las propiedades térmicas están afectadas por la condición de humedad de los agregados, así como por la porosidad, por lo que sus valores son bastante variables. son:

a. Coeficiente de expansión.

Cuantifica la capacidad de aumento de dimensiones de los agregados en función de la temperatura. Depende mucho de la composición y estructura interna de las rocas y varía significativamente entre los diversos tipos de roca. En los

agregados secos es alrededor de un 10% mayor que en estado parcialmente saturado. Los valores oscilan normalmente entre 0.9×10^{-6} a $8.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

b. Calor específico.

Es la cantidad de calor necesaria para incrementar en 1°C la temperatura. No varía mucho en los diversos tipos de rocas salvo en el caso de agregados muy ligeros y porosos. Es del orden de $0.18\text{Cal}/\text{gr}.\text{c}$.

c. Conductividad Térmica.

Es la mayor o menor facilidad para conducir el calor. Está influenciada básicamente por la porosidad siendo su rango de variación relativamente estrecho. Los valores usuales en los agregados son de 1.1 a $2.7 \text{Btu}/\text{pie}.\text{hr}.\text{F}$.

d. Difusividad.

Representa la velocidad con que se pueden producir cambios térmicos dentro de una masa Se expresa como el cociente de dividir la conductividad entre el producto del calor específico por la densidad.

2.5 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y MORFOLÓGICAS.

La forma y textura de las partículas de agregados influyen grandemente en los resultados a obtenerse en las propiedades del concreto.

Por un lado existe un efecto de anclaje mecánico que resulta más o menos favorable en relación con el tamaño, la forma, la textura superficial y el acomodo entre ellas.

Por otro, se producen fenómenos de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, condicionados también por estos factores, que redundan en el comportamiento resistente y en la durabilidad del concreto.

a) Forma.

Por naturaleza los agregados tienen una forma irregularmente geométrica compuesta por combinaciones aleatorias de caras redondeadas y angularidades. Bryan Mather, establece que la forma de las partículas está controlada por la

redondez o angularidad y la esfericidad, dos parámetros relativamente independientes.

La redondez o angularidad se puede definir numéricamente como la relación entre el radio de curvatura promedio de los bordes de la partícula entre el radio del máximo círculo inscrito.

En términos meramente descriptivos, la forma de los agregados se define en:

- Angular : Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Sub-angular : Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
- Sub-redondeada : Considerable desgaste en caras y bordes.
- Redondeada : Bordes casi eliminados.
- Muy redondeada : Sin caras ni bordes.

b) Textura.

Representa qué tan lisa o rugosa es la superficie del agregado. Es una característica ligada a la absorción pues agregados muy rugosos tienen mayor absorción que los lisos, además que producen concretos menos plásticos pues se incrementa la fricción entre partículas dificultando el desplazamiento de la masa.

C. AGUA.

Debido a que el agua ocupa un papel predominante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido de un concreto, la presente sección pretende dar una visión generalizada acerca de las características que debe tener desde un punto de vista de la tecnología del concreto.

El agua representa aproximadamente entre 10 y 20% del volumen del concreto recién mezclado. Esto le concede una influencia importante a la calidad de: agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, puede tener efectos adverses significativos en el concreto.

1. Requisitos de calidad.

No todas las aguas que son adecuadas para beber son convenientes para el mezclado y que, igualmente, no todas las aguas inadecuadas para beber son inconvenientes para preparar concreto.

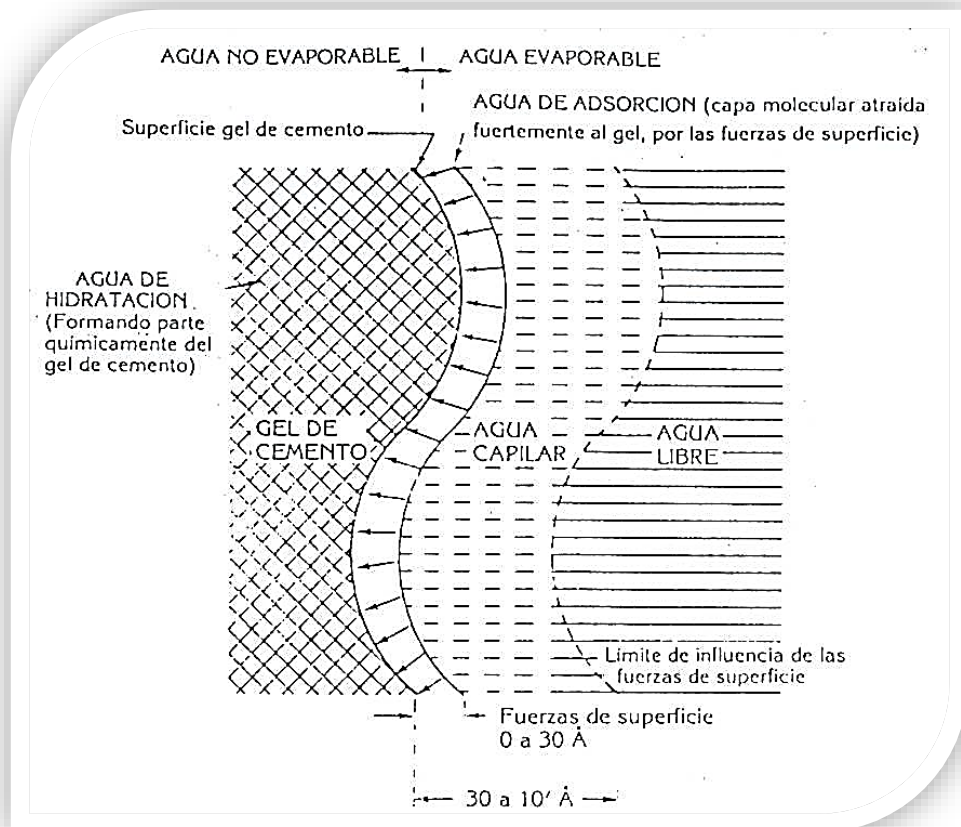
El agua a ser empleada debe cumplir con los requisitos dados por las normas como la NTP 339.088, y ser de preferencia potable. Si se hace necesario el uso de agua no potable, se deben realizar estudios comparándola con agua potable manteniendo la similitud en los procedimientos. En la siguiente tabla se dan los valores máximos permisibles de diferentes compuestos presentes en el agua, sin embargo es necesario destacar que no existen criterios uniformes en cuanto a estos valores.

TABLA N° 14: CONTENIDO MAXIMO DE AGENTES DAÑIÑOS

SUSTANCIA	VALOR MÁXIMO
Cloruros	330 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	500 ppm
Ph	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 92

FIGURA N° 13: ESQUEMA DE LA UBICACIÓN DEL AGUA EN LA PASTA DE CEMENTO HIDRATADO



FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 92

2. El agua para el concreto.

Ya hemos visto que 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 al concreto.

Complementariamente, al evaluar el mecanismo de hidratación del cemento vimos como añadiendo agua adicional mediante el curado se produce hidratación adicional del cemento, luego esta agua debe cumplir también algunas condiciones para poderse emplear en el concreto.

3. El agua de mezcla.

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 de concreto es normalmente por razones de trabajabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento.

El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de éstas, que ocasionan reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento.

Una regla empírica que sirve para estimar si determinada agua sirve o no para emplearse en la producción de concreto, consiste en establecer su habilidad para el consumo humano, ya que lo que no daña al hombre no daña al concreto.

Como dato interesante, es una evidencia que en el Perú muy pocas "aguas potables" cumplen con las normas vigentes, sobre todo en lo que se refiere al contenido de sulfatos y carbonatos, sin embargo sirven para el consumo humano y para el concreto, por lo que no debe cometerse el error de establecer especificaciones para agua que luego no se pueden satisfacer en la práctica.

No existe un patrón definitivo en cuanto a las limitaciones en composición química que debe tener el agua de mezcla, ya que incluso aguas no aptas para el consumo humano sirven para preparar concreto y por otro lado depende mucho del tipo de cemento y las impurezas de los demás ingredientes.

Curiosamente, ni el ACI ni el ASTM establecen requisitos para el agua de mezcla para concreto, sin embargo, en una iniciativa realmente importante, la norma Nacional ITINTEC 339.088 sí establece requisitos para agua de mezcla y curado.

Existe evidencia experimental que el empleo de aguas con contenidos individuales de cloruros, sulfatos y carbonatos sobre las 5.000 ppm ocasiona reducción de resistencias hasta del orden del 30 % con relación a concretos con agua pura.

4. El agua para el curado.

El criterio que establece la Norma ITINTEC 339.088 y el Comité ACI-318, para evaluar la habilidad de determinada agua para emplearse en concreto, consiste en preparar cubos de mortero de acuerdo con la norma ASTM C-109, usando el agua dudosa y compararlos con cubos similares elaborados con agua potable. Si la resistencia en compresión a 7 y 28 días de los cubos con el agua en prueba no es menor del 90% de la de los cubos de control, se acepta el agua como apta para su uso en concreto.

Un caso particular lo constituye el agua de mar, con la que normalmente se puede preparar concreto no reforzado ya que con contenidos de sal.

En general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para el 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.

- El agua de lavado puede superar los límites de cloruros y sulfatos si se demuestra que la concentración calculada en el agua de mezcla total incluyendo el agua de mezcla en los agregados y otras fuentes, no excede los límites establecidos.
- Para proyectos en que se permite el empleo de cloruro de Calcio como acelerante, los límites de cloruros pueden ser obviados por el propietario.

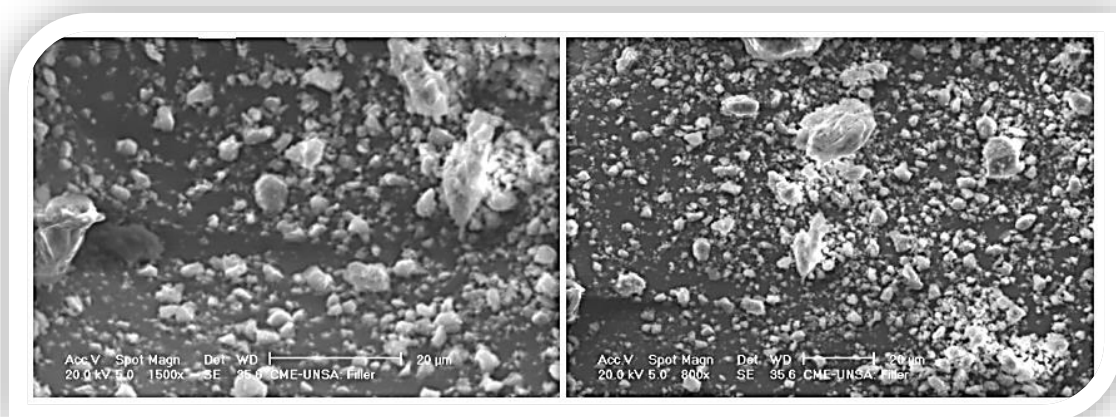
D. ADICIONALES MINERALES (Microsílice).

El uso de adiciones minerales en el concreto, no es una tecnología reciente, Maliowski reporta un viejo ejemplo que data de 5000 a 4000 años A. C., la cual fue una mezcla de limos y una puzolana natural, los viejos escritos del ingeniero romano Marcus VitruviusPollio, reportan cementos hechos por los griegos y romanos, los que describe como de durabilidad superior, el indica que los romanos desarrollaron técnicas superiores mediante el uso de una combinación de limos y puzolanas. Actualmente, el uso de adiciones minerales al concreto y al cemento, se ha difundido mundialmente, estando en boga el uso de materiales como la ceniza volante y el filler calizo, este incremento en el uso de estos materiales se debe principalmente a las mejoradas propiedades del concreto tanto en estado endurecido como en estado fresco; este incremento de trabajabilidad, durabilidad y según sea el caso de resistencia, hacen que el uso de adiciones ya sean naturales o artificiales sea muy recomendado para el concreto.

1. FILLER.

Los filleres son materiales inorgánicos minerales naturales o artificiales, especialmente seleccionados que mediante adecuada preparación, con adecuada distribución de partícula, mejoran las propiedades del cemento (tales como la trabajabilidad y retención de agua). Pueden ser inertes o poseer propiedades ligeramente hidráulicas, hidráulicas latentes o puzolanicas. En las siguientes imágenes obtenidas por microscopía se muestran los diferentes materiales usados como adición en el concreto.

FIGURA N° 14: PARTÍCULAS DE FILLER CALIZO.



FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 75

2. PROPIEDADES FÍSICAS.

Las microsílces presentan características comunes; tipo amorfo, diámetro promedio muy pequeño, alto contenido de sílice, condensación por vapores de óxido de silicio, etc.

a. Color.

La microsílce varía de color gris claro a oscuro, dando una lechada de color negro. Debido a que el SiO₂ es incoloro, el color es determinado por los componentes no silicios, los cuales incluyen el carbón y óxido de hierro. En general al igual que en otros productos derivados de la calcinación por carbón, cuánto más alto es el contenido de carbón, más oscuro es el color.

b. Densidad.

La densidad de las microsílces es usualmente reportada como 2.2, sin embargo este valor puede variar según el productor, un alto contenido de carbón en la microsílce será reflejada en una menor densidad.

c. Peso unitario no densificado.

El peso unitario suelto de microsílces. Colectadas de la producción de metales silíceos y/o aleaciones de ferrosilicón. es del orden de 130 a 430 kg/m³, un valor promedio de 300 kg/m³ es aceptado. Los silos los cuales pueden contener una masa dada de cemento portland, puedan contener únicamente el 25% de microsílces.

d. Superficie específica.

La microsílce es un conjunto de partículas vítreas muy finas. De perfil esférico y diámetro muy pequeño, cuya superficie específica está en el orden de 200.000 cm²/gr. cuando es determinada empleando las técnicas de absorción de nitrógeno. La distribución por tamaños indica partículas con diámetro promedio de 0.1 micrómetros, el cual es aproximadamente 100 veces menor que el de las partículas de cemento promedio.

Así, esta alta superficie específica y el gran contenido de dióxido de sílice amorfa proporcionan excepcionales propiedades puzolánicas. En la tabla siguiente se muestran los rangos para los valores de superficie específica de algunos materiales.

TABLA N° 15: SUPERFICIE ESPECÍFICA CARACTERÍSTICA DE MATERIALES USADOS COMO ADICIÓN Y DEL CEMENTO

MATERIAL	SUPERFICIE ESPECIFICA
Microsílices	200 000 cm ² /gr
Cenizas	4000 – 7000 cm ² /gr
Escorias	3500 – 6000 cm ² /gr
Cemento portland	3000 – 4000 cm ² /gr

FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 78

El índice de Reactividad se incrementa debido a la elevada superficie específica. El diámetro mínimo de las partículas y su alto contenido de sílice, la cual reacciona con el hidróxido de calcio, resultante de la hidratación del cemento, para producir cristales de silicato de calcio hidratado.

3. PROPIEDADES QUÍMICAS.

a. Composición química.

La microsílíce es un subproducto con composición química muy constante, aunque puede tener algunos cambios dependiendo de la aleación de silicio que se está produciendo y la naturaleza de las materias primas. En la composición química predomina el SiO₂ con el 90 al 96%.

b. Cloruros.

El contenido de cloruros soluble en ácido de microsílíces si y no densificadas se ha encontrado que varía entre 0.016 a 0.025 por masa. Las especificaciones europeas han establecido un límite superior para los cloruros en microsílíces de 0.1 á 0.3 en masa. Asumiendo un contenido de cemento de 390 kg/m³, una adición del 10% de microsílíce por masa, y un contenido de cloruros soluble en ácido de 0.20% en masa en la microsílíce, ésta deberá contribuir con 0.002% de ion cloruro por masa de cemento. En aquellos casos en que los límites de cloruros son críticos. La contribución por la microsílíce deberá ser incluida en el cálculo total.

c. PH.

El pH de las microsílíces y de las lechadas puede ser determinado. Este ensayo puede efectuarse sobre una muestra preparada por la adición de 20grs. de

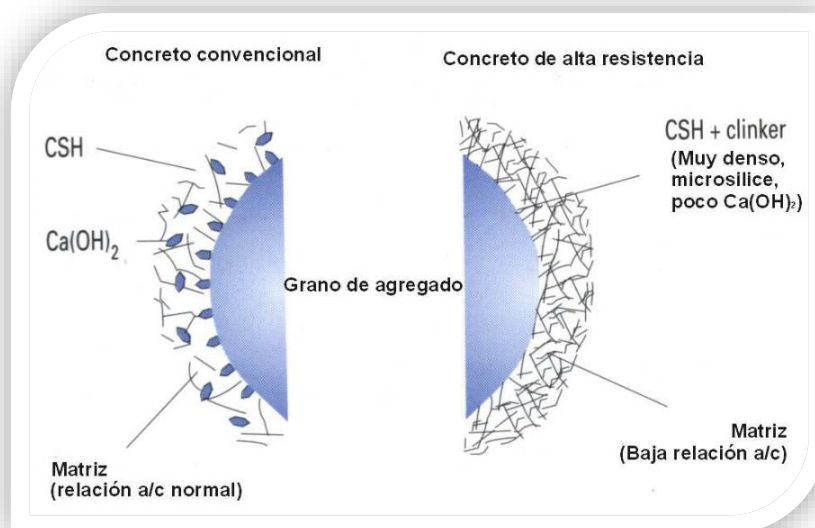
microsílice a 80grs. de agua libre de iones. Los valores típicos de una fuente de metasilicosa están entre 6.0 y 7.0.

4. MECANISMOS DE ACCIÓN DE LAS MICROSÍLICES.

En 1990 los investigadores Cohen, Olek y Dolch calcularon que por cada 15% de microsilice como reemplazo del cemento. Hay aproximadamente 2 millones de partículas de microsilice por cada grano de cemento portland en una mezcla de concreto. No hay por lo tanto demasiada sorpresa que la microsilice tengan un efecto pronunciado sobre las propiedades del concreto.

En general la resistencia en la zona de transición entre la pasta y las partículas de agregado grueso es menor que la del volumen de pasta. La zona de transición contiene más vacíos debido a la acumulación del agua de exudación y la dificultad de acomodar partículas sólidas cerca a la superficie. Relativamente más hidróxido de calcio (CH) se forma en esta región que en el resto.

FIGURA N° 15: EFECTO DE LA MICROSÍLICE EN LA AUREOLA DE TRANSICIÓN DEL AGREGADO, COMPARACIÓN ENTRE UN CONCRETO CONVENCIONAL Y UN CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO.



FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 81

De acuerdo a Mindess. En 1988, las microsilices incrementan la resistencia del concreto fuertemente, principalmente debido a su incremento de la resistencia por adherencia entre la pasta y las partículas de agregado. En 1986 Walg, entre otros investigadores, encontró que aún una pequeña adición del 2% al 5% de microsilice

produce una estructura densa en la zona de transición con un consecuente incremento en el microendurecimiento y la resistencia a la fractura. Igualmente Detwiler en 1990 encontró que la microsílíce incrementa la resistencia a la fractura de la zona de transición entre la pasta y el acero.

E. ADITIVOS QUÍMICOS.

1. Introducción.

Desde la década de 1930, el uso de aditivos en el concreto se ha difundido, pero no es hasta la década de 1970 cuando su uso se incrementó significativamente, sin embargo en el Perú su uso aún no es generalizado a pesar del incremento registrado en la pasada década. La definición actual del concreto como un material de 5 componentes tomara mayor fuerza en los próximos años dadas las nuevas tecnologías, en las cuales los aditivos químicos tienen un papel muy importante. Existe gran variedad de aditivos químicos sin embargo son los plastificantes y superplastificantes los aditivos químicos más comúnmente utilizados en el concreto; en la presente sección nos limitamos a la descripción de estos aditivos, dando especial atención a los policarboxilatos modificados los cuales fueron usados durante la investigación.

2. Clasificación según normaASTM.

Los aditivos plastificantes y superplastificantes han sido clasificados según la norma ASTM C-494, donde se encuentran combinados con la acción de aditivos reductores y aceleradores de fragua, en la siguiente tabla se muestra los diferentes tipos:

**TABLA N° 16: TIPOS DE ADITIVOS QUÍMICOS SEGÚN LA NORMA
ASTM C 494**

Tipo	Características
A	Actúan como reductores de agua.
B	Actúan como retardadores del tiempo de fraguado.
C	Actúan como acelerantes.
D	Actúan como reductores de agua y retardadores de fragua.
E	Actúan como reductores de agua y acelerantes.
F	Actúan como reductores de agua de alto rango.
G	Actúan como reductores de agua de alto rango y retardadores.

FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 85

A diferencia de los plastificantes (tipos A, D y E), los superplastificantes (tipos F y G) pueden reducir el contenido de agua de una mezcla hasta un orden del 40%.

3. Clasificación según norma ACI.

TABLA N° 17: TIPOS DE ADITIVOS QUÍMICOS SEGÚN LA NORMA ACI-212

N°	TIPO DE ADITIVO	EFFECTOS DESEADOS EN EL CONCRETO
01	Acelerantes	<ul style="list-style-type: none"> • Aceleran el desarrollo de resistencia.
02	Inclusores de aire	<ul style="list-style-type: none"> • Usualmente mejoran la manejabilidad. • Disminuye el sangrado. • Inducen control de los efectos por congelamiento y deshielo.
03	Reductores de agua y controladores de fraguado.	
	a) Reductor de agua simple	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye el contenido de agua.
	b) Retardantes	<ul style="list-style-type: none"> • Inducen un retardo controlado sobre el tiempo de fraguado.
	c) Retardante y reductor de agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Induce retardo en el tiempo de fraguado de agua. • Reducción en el contenido de agua.
	d) Acelerante y reductor de agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Acelera el desarrollo de resistencia. • Reducción en el contenido de agua.
	e) Reductor de agua de alto rango (plastificantes).	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce radicalmente el contenido de agua. • Puede incrementar el revenimiento sin incremento del agua. • Incrementa la fluidez de la mezcla.
	f) Reductor de agua de alto rango y retardante.	<ul style="list-style-type: none"> • Marcada reducción del contenido de agua. • Incrementa la fluidez de la mezcla.
04	Minerales finamente divididos.	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la resistencia contra el ataque por sulfatos. • Reduce la permeabilidad. • En algunos casos controla la reacción álcali-agregado. • Disminuye los efectos por lixiviación. • Producen disminución del calor de hidratación.
05	Diversos	
	a) Formadores de gas.	<ul style="list-style-type: none"> • Para producir concretos celulares.
	b) Para mezclas de inyección.	<ul style="list-style-type: none"> • Induce estabilidad, reduce la contracción en la mezcla.
	c) Para control de expansión.	<ul style="list-style-type: none"> • Regula la expansión.
	d) Adhesivos integrales.	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentan la adherencia de concreto nuevo con endurecido.
	e) Auxiliares de bombeo.	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementan la cohesión y viscosidad de la mezcla.
	f) Repelentes de humedad.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen la velocidad de penetración del agua en el concreto.
	g) Reductores de permeabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen la permeabilidad.
	h) Inhibidores de reacción tipo de álcali-agregado.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen las expansiones causadas por esta reacción.
	i) Inhibidores de la corrosión.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen la permeabilidad del concreto al acero.

FUENTE: ACI-212. <http://www.acimexico-snem.org/online/destacados/boletin-tecnico-01-2012/> . México, 2012, pág. 26

En el mercado peruano se puede encontrar diferentes marcas de aditivos químicos, la elección del tipo y marca se debe realizar según los requerimientos

específicos de calidad que son de mayor importancia en estos productos dado que un mal control de calidad en la elaboración de los diferentes compuestos, puede provocar inadecuadas propiedades del concreto elaborado con este producto.

2.2.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO

Se aprecia 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.

Un aspecto sumamente importante en la estructura del concreto endurecido reside en la porosidad o sistema de vacíos.

Gran parte del agua que interviene en la mezcla, sólo cumple la función de lubricante en el estado plástico ubicándose en líneas de flujo y zonas de sedimentación de los sólidos" de manera que al producirse el endurecimiento y evaporarse quedan los vacíos o poros, que condicionan el comportamiento posterior del concreto para absorber líquidos y su permeabilidad o capacidad de flujo a través de él.

A. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

1. Trabajabilidad.

Un hormigón fresco se considera trabajable cuando puede adaptarse fácilmente a cualquier forma de encofrado, con un mínimo de trabajo mecánico (vibración) aplicado. Cuantitativamente la trabajabilidad se mide mediante el Asentamiento del Cono de Abrams o el diámetro de Dispersión en la Mesa de Flujo; mientras mayor es el asentamiento o mayor es el diámetro de dispersión, el hormigón es más trabajable.

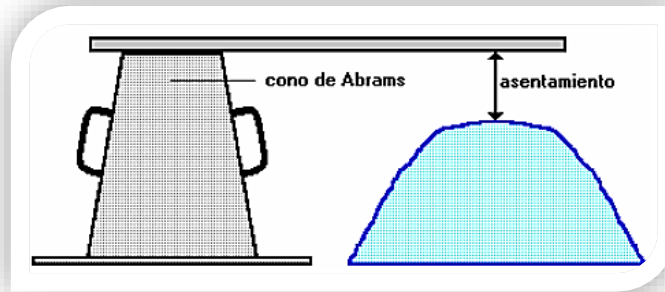
TABLA N° 18: DEFINICIONES DE TRABAJABILIDAD DE VARIAS INSTITUCIONES.

Institución	Definición
American Concrete Institute (ACI)	Es la propiedad del concreto o mortero en estado fresco la cual determina la facilidad y homogeneidad con la cual puede ser mezclado, colocado, compactado y terminado.
British Standards Institution	Es la propiedad del concreto o mortero en estado fresco, la cual determina la facilidad con la cual puede ser manejado y completamente compactado.

Association of Concrete engineers Japan	Es la propiedad de la mezclas de concreto o mortero que determina la facilidad con que puede ser mezclado, colocado y compactado, debido a su consistencia, la homogeneidad con la cual puede ser elaborado el concreto, y el grado con el cual puede resistir a la separación de los materiales.
---	---

FUENTE: Portugal Barriga, Pablo. Tecnología del concreto de alto desempeño. Perú. Edit. Leonardo DaVinci. 2005, pág. 200

FIGURA N° 16: ENSAYO DE ASENTAMIENTO CON EL CONO DE ABRAMS



FUENTE: Marcelo Romo Proaño, Hormigón armado. Escuela Politécnica del Ejército – Ecuador. 2008, pág. 25

El concreto es emplazado de la misma manera como en la prueba de slump estándar (ASTM C 143 / ITINTEC 339.035). En la tabla No. 4.1 se presentan valores de asentamientos recomendados para concretos de diferentes grados de trabajabilidad, según el tipo de obra y condiciones de colocación.

TABLA N° 19: ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple. Losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Media (plástica)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
Muy Húmeda	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo embudo tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración.
Super Fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

FUENTE: ING. GERARDO A. RIVERA L., Concreto Simple, Universidad del Cauca-Colombia, 2013, pág. 84

2. Estabilidad.

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

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

3. 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.

4. Movilidad.

Es la facilidad del concreto a ser desplazado mediante la aplicación de trabajo externo. Se evalúa en función a la viscosidad, cohesión o 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 adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, y la resistencia interna del corte la provee de habilidad de las partículas de agregados a rotar y desplazarse dentro de la pasta

5. Segregación.

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

6. Exudación.

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. 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 pudiera tener.

7. Contracción.

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia. Ya hemos visto que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química. y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible.

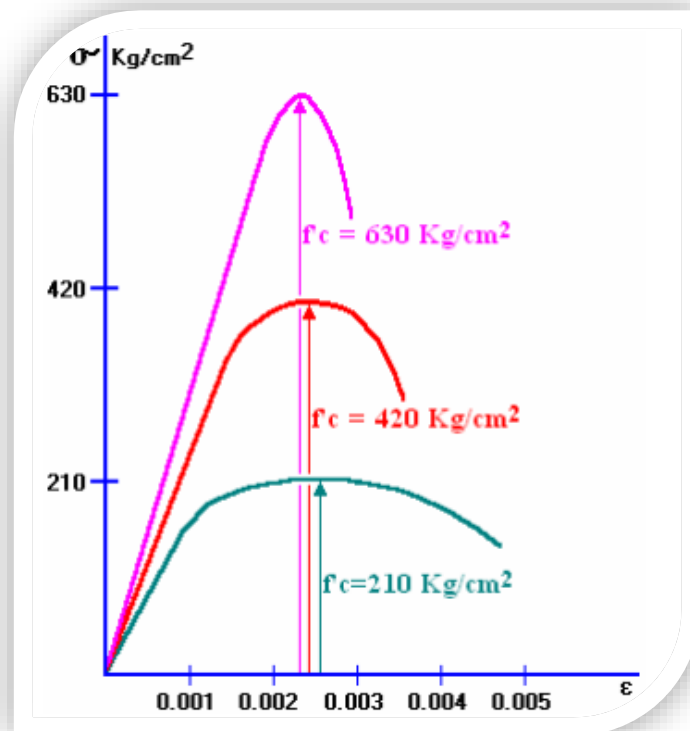
B. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

1. ELASTICIDAD

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

El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs., deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un "Módulo de elasticidad estático" del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión última.

FIGURA N° 17: CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL CONCRETO DE DIFERENTES RESISTENCIAS.



FUENTE: Marcelo Romo Proaño, Hormigón armado. Escuela Politécnica del Ejército – Ecuador. 2008, pág. 17

El Módulo de Elasticidad puede calcularse mediante la siguiente expresión.

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} \text{ RNE – E060}$$

Donde:

f'_c : Resistencia cilíndrica del concreto kg/cm^2

2. RESISTENCIA.

Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción y corte:

c. Resistencia a la compresión:

La resistencia a la compresión del hormigón 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, que duran unos pocos minutos. Esta resistencia se la mide luego de 28 días de fraguado bajo condiciones controladas de humedad.

FIGURA N° 18: PARTÍCULAS DE FILLER CALIZO.



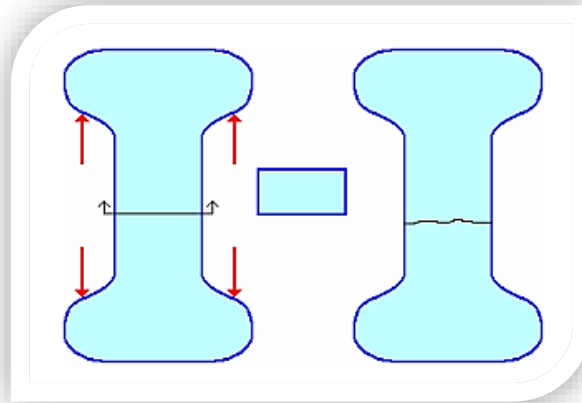
FUENTE: Marcelo Romo Proaño, Hormigón armado. Escuela Politécnica del Ejército – Ecuador. 2008, pág. 25

d. Resistencia a la tracción:

El hormigón es un material ineficiente resistiendo cargas de tracción; comparativamente esta resistencia representa hasta un 10% de su capacidad a la compresión. Es por ello que en el hormigón armado los esfuerzos de tracción son absorbidos por el acero de refuerzo.

El ensayo tradicional (Prueba Directa de Tracción) consiste en una pequeña muestra con sección transversal rectangular, que presenta un ensanchamiento en los extremos longitudinales, lo que permite que las abrazaderas del equipo utilizado en la prueba ejerzan fuerzas de tracción que romperán a la muestra en el sector central más débil (por tener menor sección transversal).

FIGURA N° 19: PRUEBA DIRECTA DE TRACCIÓN



FUENTE: Marcelo Romo Proaño, Hormigón armado. Escuela Politécnica del Ejército – Ecuador. 2008, pág. 21

La Norma Peruana, definen el Módulo de Rotura del concreto mediante la ecuación 1-3. El ACI utiliza esta ecuación para el cálculo de deflexiones en elementos de concreto armado. Sin embargo para elementos de concreto simple (sin armadura) sometidos a flexión el ACI-02 (artículo 22.5.1) especifica el valor dado por la ecuación 1-4.

$$f_r \approx 2 \sqrt{f'_c} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (1-3) \quad \text{ACI-02} \quad 9.5.2.3$$

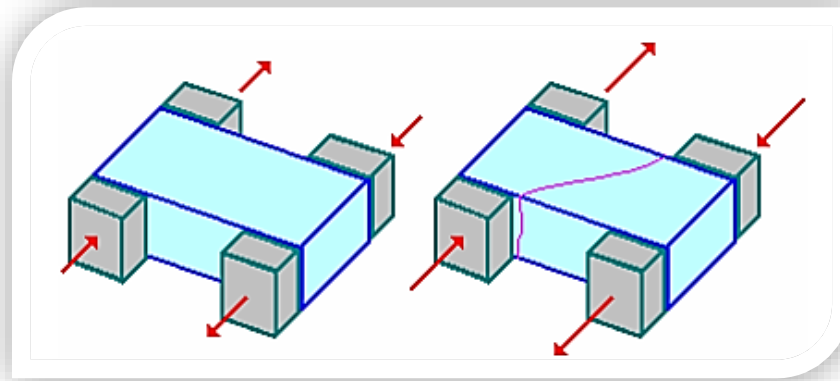
$$f_r \approx 1.3 \sqrt{f'_c} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (1-4) \quad \text{ACI-02} \quad 22.5.1$$

e. Resistencia al corte:

Debido a que las fuerzas cortantes se transforman en tracciones diagonales, la resistencia al corte del hormigón “vc” tiene órdenes de magnitud y comportamiento similares a la resistencia a la tracción.

El ensayo utilizado se conoce como la Prueba de Corte Directo, en el que se evita al máximo la introducción de esfuerzos de flexión.

FIGURA N° 20: PRUEBA DIRECTA DE CORTE.

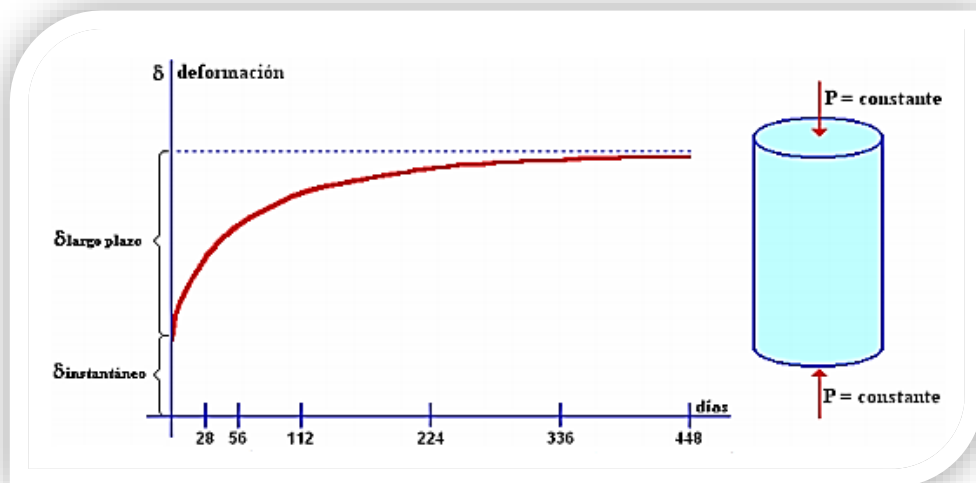


FUENTE: Marcelo Romo Proaño, Hormigón armado. Escuela Politécnica del Ejército – Ecuador. 2008, pág. 23

3. FLUJO PLÁSTICO.

Cuando se somete al concreto a cargas de larga duración, el material tiene una deformación instantánea en el momento inicial de la carga y una deformación adicional a largo plazo como producto del flujo plástico del concreto.

FIGURA N° 21: DEFORMACIONES EN EL CONCRETO BAJO CARGAS AXIALES A LARGO PLAZO.



FUENTE: Marcelo Romo Proaño, Hormigón armado. Escuela Politécnica del Ejército – Ecuador. 2008, pág. 24

La deformación a largo plazo depende de la resistencia del concreto, y es comparativamente mayor cuando se utilizan hormigones de menor resistencia.

En el caso de los concretos entre 210 y 280 Kg/cm² la deformación diferida es aproximadamente 2.2 veces mayor que la deformación instantánea.

El fenómeno del flujo plástico se produce por la migración de las partículas de agua que no alcanzan a combinarse con el cemento, y que debido a las altas presiones se mueven por las microporosidades del hormigón.

De manera análoga, si a un elemento de concreto se le somete a una deformación constante sostenida en el tiempo, la fuerza que se requiere para sostener tal deformación decrece progresivamente por relajación del material.

2.2.3. CAUSAS Y DETERIORO DEL CONCRETO.

A. CAUSAS MECÁNICAS DE FALLA DEL CONCRETO

Las estructuras de concreto se diseñan para tener un mecanismo de falla dúctil, sin embargo durante su vida útil pueden estar sometidas a acciones para las cuales no están diseñadas, como es el caso de sobrecargas, explosiones, sismos de gran intensidad, impactos accidentales etc.

B. DETERIORO POR CONGELAMIENTO Y DESHIELO DEL CONCRETO.

TABLA N° 20: MECANISMOS DE DETERIORO DEL CONCRETO

FACTORES QUE PUEDEN PRODUCIR DETERIORO PREMATURO	CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO	CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO	MANIFESTACIÓN DE DETERIORO
Heladas y deshielo	Ausencia de aire incorporado en la pasta de cemento ó agregado poroso ó ambas en el concreto	Humedad Heladas y deshielo	Expansión Interna
Ataque químico agresivo: a. Sulfatos b. Leaching	Excesiva cantidad de aluminatos de calcio hidratados en la pasta de cemento. Porosidad excesiva	Humedad, concentración excesiva de contenidos de sulfatos disueltos. Humedad de pH bajo y contenido bajo de cal disuelta	Expansión interna y rajaduras. Disolución y pérdida de componentes solubles
Abrasión	Baja resistencia a la abrasión	Abrasivo, muchas veces en ceros bajo el agua	Desgaste de superficie ó pérdida de materia
Corrosión del refuerzo	Metal corrosivo y frecuente presencia en el concreto de agentes que inducen a la corrosión.	Humedad cero. Humedad y agentes que inducen a la corrosión	Expansión interna y rajaduras en el concreto
Reacción Alkali-sílice	Cantidad excesiva de sílice soluble en agregados y álcalis en el cemento	Humedad cero. Humedad y álcalis	Expansión interna y rajaduras en el concreto
Otras: a. Cemento b. Fisuración plástica	Cantidad excesiva de CaO ó MgO no hidratados en el cemento. Falta de contenido de humedad sostenida en el periodo de curado especificado.	Humedad Alto índice de evaporación de la humedad.	Expansión interna y rajaduras. Fisuración en edad temprana.

FUENTE: Tecnología del Concreto. Edit. P.A. Ing. Civil UNI-Lima

El concreto es muy sensible a los cambios de temperatura y puede no perdonar cuando la temperatura cae bajo cero. Cuanto más fino es el cemento usado, más alta es su reactividad y por lo tanto, más alto el calor de hidratación, lo que es bueno en climas fríos. Sin embargo, esto no es tan simple. En losas suspendidas, se podría tener que calentar el piso inferior para calentar el encofrado metálico de arriba sobre el cual se colocará el concreto. Del concreto utilizado en estructuras y pavimentos, se espera que tenga una vida larga y un mantenimiento bajo. Debe tener buena durabilidad para resistir condiciones de exposición anticipadas.

El factor de intemperismo más destructivo es la congelación y el deshielo mientras el concreto se encuentra húmedo, particularmente cuando se encuentra con la presencia de agentes químicos descongelantes. Con la inclusión de aire es sumamente resistente a este deterioro, durante el congelamiento, el agua se desplaza por la formación de hielo en la pasta se acomoda de tal forma que no resulta perjudicial; las burbujas de aire en la pasta suministran cámaras donde se introduce el agua y así se alivia la presión hidráulica generada.

1. Efecto en la pasta de cemento:

Al producirse el descongelamiento o deshielo, se liberan las tensiones y al repetirse este ciclo muchas veces se produce la rotura por fatiga de la estructura de la pasta.

2. Efecto en los agregados:

El tamaño máximo de agregado tiene una influencia importante, estimándose que para cada tipo de material existe un tamaño máximo por debajo del cual se puede producir el congelamiento confinado dentro del concreto sin daño interno en los agregados.

3. Efecto entre la pasta y los agregados:

Se considera un efecto mixto de los agregados sobre la pasta; ya que al congelarse el agua dentro de ellos se deforma elásticamente sin romperse por tener una estructura más resistente que la del cemento y ejercen presión directa sobre la pasta generando tensiones adicionales a las ocasionadas en el cemento independientemente.

4. Control de la durabilidad frente al congelamiento y deshielo:

- a. El principio de los incorporadores de aire, consiste en introducir una estructura adicional de vacíos no interconectados, que permiten asimilar los

desplazamientos generados por el congelamiento eliminando las tensiones. Para que sea realmente efectivo el control del efecto de congelamiento y deshielo, se requiere que la distancia máxima que debe existir entre las partículas de la pasta y los vacíos introducidos por el incorporador de aire, sea de 0.2 mm, al cual se le denomina "Factor de espaciamiento".

El aire incorporado, al aumentar la porosidad de la pasta, causa reducción en las resistencias mecánicas del concreto; pero el incremento de la trabajabilidad permite disminuir los contenidos de agua y agregado fino de mezcla, reduciendo así la pérdida de resistencia.

- b.** Para que el concreto tenga un desarrollo normal de resistencia en el tiempo, debe curarse, como referencia, a una temperatura de por lo menos 13°C para un elemento de 30cm. de espesor y 5°C para espesores del orden de 1.80m.; por lo que debe procurarse mantener la temperatura adecuada mediante elementos aislantes que impidan que pierden calor y/o se evapore el agua, o se congele hasta que haya desarrollado al menos 35Kg/cm².
- c.** Los diseños de mezcla deben realizarse buscando concretos con la menor permeabilidad posible, lo cual se logra reduciendo la relación agua/cemento al mínimo compatible con la trabajabilidad para lo cual se recomienda relaciones entre 0.45 y 0.50.

Finalmente podemos concluir:

- Un periodo de secado antes de la exposición a la congelación y el deshielo beneficia la resistencia a la congelación y deshielo del concreto con aire incluido, pero no beneficia de manera significativa al concreto sin aire incluido.
- El concreto con una relación Agua/Cemento baja es más durable que el concreto con una relación Agua/Cemento alta.
- El concreto con aire incluido es mucho más resistente a los ciclos de congelación y deshielo que el concreto sin aire incluido.

C. AMBIENTE QUÍMICO AGRESIVO SOBRE EL CONCRETO.

El concreto es químicamente inalterable al ataque de agentes químicos que se hallan en estado sólido, es un material que en general tiene un comportamiento satisfactorio ante diversos ambientes químicamente agresivos.

Para que exista posibilidad de agresión, el agente químico agresivo debe estar en solución en una cierta concentración y además tener la facilidad de ingresar en la estructura de la pasta durante un cierto tiempo, es decir debe haber un cierto flujo de la solución hacia el interior del concreto y este flujo debe mantenerse un tiempo suficiente para que se produzca la reacción.

1. Efecto de compuestos químicos sobre el concreto:

En la tabla 2.2.20 se detalla el efecto de varias sustancias químicas sobre el concreto simple, comprobándose que son muy pocas las que realmente le causan un daño importante. Dentro de esta visión, los compuestos que por su disponibilidad en el medio ambiente producen la mayoría de casos de ataque químico al concreto están constituidos por cloruros y sulfatos.

TABLA N° 21: EFECTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN EL CONCRETO

VELOCIDAD DE ATAQUE A TEMPERATURA AMBIENTE	ACIDOS INORGÁNICOS	ACIDOS ORGÁNICOS	SOLUCIONES ALCALINAS	SOLUCIONES SALINAS
Rápida	Clorhídrico Fluorhídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Fórmico Láctico	-----	Cloruro de Aluminio
Moderada	Fosfórico	Tánico	Hidróxido de Sodio > 20 %	Nitrato de Amonio Sulfato de Amonio Sulfato de Sodio Sulfato de Magnesio Sulfato de Calcio
Lenta	Carbónico	-----	Hidróxido de Sodio 10 % a 20 % Hipoclorito de Sodio	Cloruro de Amonio Cloruro de Magnesio Cloruro de Sodio
Insignificante	-----	Oxálico Tartárico	Hidróxido de Sodio < 10 % Hidróxido de amonio	Cloruro de Calcio Cloruro de Sodio Nitrato de Zinc Cromato de Sodio

FUENTE: Materiales de Construcción” EditUNI–Lima

2. Reacciones químicas en los agregados:

La mayor parte de problemas de durabilidad química se deben a reacciones entre la sílice reactiva en los agregados y los álcalis del cemento.

Esta reacción puede causar grietas repentinas tipo estallidos y dejar marcas profundas. El yeso natural causará ataques por sulfato si está presente en cantidades apreciables. Pequeñas cantidades de zinc ocasionalmente son halladas en los agregados y esto podría retrasar grandemente la fragua y el endurecimiento del concreto.

3. control de la agresión química:

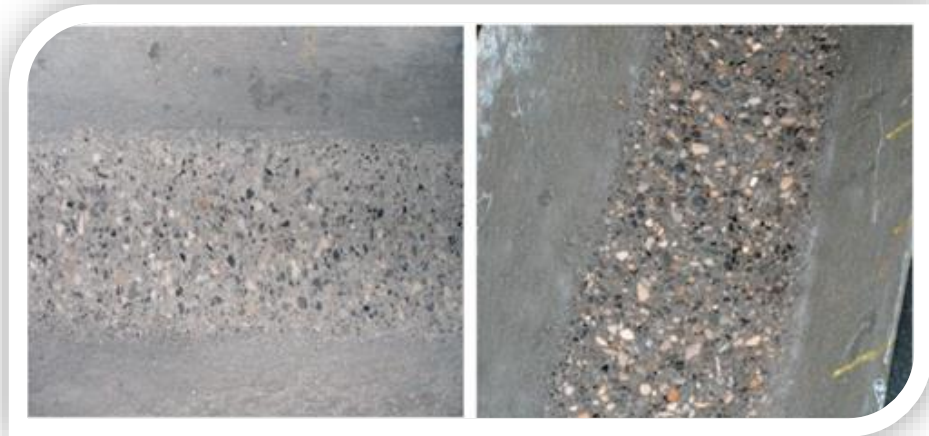
Se tomaría la opción de evitar construir en un ambiente agresivo, pero esto no siempre es factible, por lo que como regla general se debe procurar usar alguna barrera que evite el contacto de los cloruros y sulfatos en solución de concreto. Esta protección puede hacerse mediante aplicación de pinturas bituminosas, hechas a base de caucho o pinturas especialmente diseñadas para este tipo de agresión (normalmente de tipo epóxico).

Una medida en ese sentido consiste en emplear rellenos granulares de Tamaño máximo no menor de 1" de granulometría abierta, que limita la posibilidad de flujo por capilaridad entre el concreto y el material de relleno. Lo básico para que el concreto reduzca las posibilidades de ser deteriorado por agresión química consiste en; que el diseño de mezcla considere una relación agua/cemento baja de modo que reduzca su permeabilidad; emplear agregados densos y utilizar cementos resistentes a los sulfatos tales como los Tipo II, Tipo V, Tipo IP, Tipo IPM o añadiendo específicamente Puzolanas.

D. ABRASIÓN EN EL CONCRETO

Es la habilidad de una superficie de concreto a ser desgastada por roce y fricción. Esto se origina de varias maneras, siendo las más comunes las condiciones de servicio, como son el tránsito de peatones sobre las veredas y vehículos sobre las losas, el efecto del viento cargado de partículas sólidas y el desgaste producido por el flujo continuo de agua. Mayormente, el desgaste por abrasión no ocasiona problemas estructurales, no obstante puede traer consecuencias en el comportamiento bajo las condiciones de servicio o indirectamente propiciando el ataque de algún otro enemigo de la durabilidad (agresión química, corrosión, etc), siendo esto en estructuras hidráulicas.

FIGURA N° 22: EFECTO DE ABRASION EN UN CONCRETO



FUENTE: Andrés Eduardo Torres Abello, Juan Dionisio Zambrano Ramírez. Art. Ensayo de abrasión del concreto para alcantarillado. Colombia. 2009.

1. Factores que afectan con abrasión en el concreto:

El factor principal reside en qué tan resistente es desde el punto de vista estructural o mecánico, la superficie expuesta al desgaste.

El mejor indicador es evaluar principalmente factores como la resistencia en compresión, las características de los agregados, el diseño de mezcla, la técnica constructiva y el curado, los ensayos de laboratorio son muy relativos, pues no pueden reproducir las condiciones reales del uso de las estructuras.

2. control de la abrasión en el concreto:

En la medida que desarrollemos las capacidades resistentes de la capa de concreto que soportará la abrasión, lograremos controlar el desgaste. Se estima que la superficie debe tener una resistencia en compresión mínima de 280 kg/cm² para garantizar una durabilidad permanente respecto a la abrasión, lo cual indica que es necesario emplear relaciones a/c bajas, el menor slump compatible con la colocación eficiente, agregados bien graduados y que cumplan con los límites ASTM C-33 para gradación y abrasión, así como la menor cantidad posible de aire atrapado.

2.3. MARCÓ CONCEPTUAL

2.3.1. GENERACIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO

El hombre en todas sus acciones y afán de satisfacer sus necesidades para tratar de tener una vida cómoda genera una gran cantidad de residuos, la industria de la construcción no es la excepción, estudios alrededor de varios países del mundo señalan con gran énfasis las estimaciones anuales en peso de este tipo de desechos, como es el caso de: Alemania que genera 44 millones de toneladas de este tipo de residuos al

año, Estados Unidos que estima 140 millones de toneladas anuales de los residuos de construcción y demolición (RCD).

FOTOGRAFIA N° 3: RCD DE LA OBRA DEL JR. APURIMAC - PUNO



FUENTE: Elaboración propia.

Si bien en el Perú no se cuentan con indicadores directamente relacionados al manejo de los residuos sólidos, si podemos considerar que existe un impacto en el medio ambiente, ya que indicadores como que el 70 % de los residuos se dispone en las calles, áreas de esparcimiento, ribera de ríos y botaderos informales, nos da cuenta que hay una alta probabilidad de que esto ocurra (DIGESA 1998). Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- **TIPO DE ACTIVIDAD QUE ORIGINA LOS RESIDUOS:** construcción, demolición reparación/ rehabilitación. □
- **TIPO DE CONSTRUCCIÓN QUE GENERA LOS RESIDUOS:** edificios residenciales, industriales, deservicios, carreteras, obras hidráulicas, etc. □
- **EDAD DEL EDIFICIO O INFRAESTRUCTURA:** que determina lost ipos y calidad e los materiales obtenidos en los casos de demolición o reparación. □
- **VOLUMEN DE ACTIVIDAD EN EL SECTOR DE L A CONSTRUCCIÓN EN UN DETERMINADO PERÍODO:** que afecta indudablemente ala cantidad de RCD generados. □
- **POLÍTICAS VIGENTES EN MATERIA DE VIVIENDA:** que condicionan la distribución relativa de las actividades de promoción de nuevas construcciones y rehabilitación de existentes o consolidación de cascos antiguos.

2.3.2. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.

La gestión de los RCD (al igual que la de otros tipos de residuos) presenta en la actualidad un panorama muy diverso en función del ámbito geográfico que se trate.

FIGURA N° 23: CICLO ÓPTIMO DE RCD.



FUENTE: Tierradentro Sierra, Fernando. Residuo Solido. <http://gruposolidos2013.blogspot.com/>. Colombia, 2013, pág. 10

En general, son los países que poseen una mayor tradición en el planteamiento estratégico de los temas medioambientales y aquellos en los que algunas de las materias primas utilizadas en el sector de la construcción (en particular, los áridos) son bienes escasos, los que han adoptado las principales iniciativas tendentes a regular dicha gestión, haciendo especial hincapié en las posibilidades de reutilización, reciclado y/o generación en materiales secundarios.

En lo que se refiere al campo de la demolición (y sobre todo la de edificios), ha sido práctica tradicional en algunos países el retirar de forma previa a la demolición propiamente dicha aquellos materiales fácilmente extraíbles que pudieran tener cierto valor en el mercado de la reutilización o reciclado. En el caso de los metales (tuberías, conducciones, etc.), madera (puertas y ventanas, suelos, etc.) y algunos materiales cerámicos (tejas).

En algunos países (y para ciertas fracciones como para madera y plásticos) se ha utilizado la alternativa de la incineración. Así, por ejemplo, se estima que en Holanda el 5% de los RCD producidos en 1990 se han incinerado, destinándose a vertido controlado el 35% y recuperándose o reutilizándose el resto (60%).

Por otra parte, existe una tendencia generalizada a incrementar en lo posible las cantidades de RCD que se recuperan para diversos usos (directos o indirectos), así

como a habilitar instalaciones específicas para el vertido controlado de las fracciones no recuperadas.

En lo que se refiere a las tierras de excavación, es mucho más habitual su empleo como material de relleno en la misma obra o en otras cercanas, o, en su defecto, destinarlas a vertederos, donde son utilizadas como material para las cubiertas temporales. Tanto en un caso como en el otro los costos de eliminación suelen ser nulos o insignificantes.

2.3.3. RECUPERACIÓN, REUTILIZACIÓN Y RECICLADO DE LOS RCD.

Se efectúa en primer lugar una somera revisión de las posibilidades genéricas de aprovechamiento de los RCD o sus fracciones para posteriormente entrar a considerar las limitaciones y obstáculos con los que habitualmente se encuentran las actividades de recuperación, reutilización y reciclado.

En una primera aproximación, los materiales contenidos en los RCD que técnicamente son aprovechables se pueden clasificar de la siguiente forma:

A. Procedimiento para la obtención del agregado grueso.

Regularmente, las operaciones de reciclado se realizan manualmente alimentada por lo RCD que se recogieron de la obras de la salida al cuscobypass, Jr. Apurímac y Jr. Moquegua que comprende de concreto no armado; en ocasiones, una vez triturado, se hará un tamizado. Si existen varillas de acero de refuerzo por lo general, se quitan manualmente.

En la actualidad, existe tecnología disponible para la eliminación de los contaminantes del concreto, por lo que es factible construir plantas de reciclado que acepten, no solamente el escombros de concreto no contaminado, sino también escombros que sí lo está.

FOTOGRAFIA N° 4: OBTENCIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS MANUALMENTE.



FUENTE: Elaboración propia.

En cuanto a las condiciones de almacenaje, es recomendable limpiar con frecuencia los silos metálicos de depósito sobre todo en climas de humedad relativa alta, pues se produce hidratación parcial del cemento adherido a las paredes, y que con el uso del silo ocasiona que se desprendan trozos endurecidos y se mezclen con el cemento fresco causando problemas en la uniformidad de la producción del concreto. En el caso de cemento en bolsas el concepto es similar en cuanto a protegerlas de la humedad, bien sea aislándolas del suelo o protegiéndolas en ambientes cerrados.

B. Limpieza preliminar y reducción de tamaño

El escombros que se lleva al sistema de reciclado está compuesto en su mayor parte por trozos de concreto con incrustaciones de varillas de refuerzo o de mallas de alambre. Además, contiene cantidades considerables de madera y de tabique, así como pequeñas cantidades de yeso, plástico y vidrio. En la etapa de limpieza preliminar se usan uno o más bulldozers para levantar las piezas grandes de escombros que no son de concreto.

Es necesario reducir el tamaño de los trozos de concreto que son demasiado grandes para que puedan ser introducidos en el sistema de reciclado. Esto se logra

en las plantas por medio de uno o más martillos hidráulicos montados en retroexcavadoras (sin cucharones). La mayoría de los sistemas existentes no aceptan varillas de refuerzo de más de 7 centímetros de longitud; las que son más largas deben cortarse mediante cortadoras de varillas.

C. Materiales reutilizables:

Constituidos fundamentalmente por piezas de acero estructural, elementos de maderas de calidad y/o recuperados en buen estado, piezas de fábricas (ladrillo, bloque, mampostería), tejas (cerámicas y de pizarra) y tierras de excavación. En ciertos casos, la mezcla de residuos de demolición no seleccionados pero libres de "impurezas" puede ser directamente utilizada como material de relleno, sub-bases de carreteras o pavimento en vías temporales de tránsito de vertederos.

D. Materiales reciclables:

Constituidos fundamentalmente por metales (férreos y no férreos), plásticos y vidrio. Estas fracciones, en la medida que pueden recuperarse libres de impurezas, son susceptibles de incorporarse al mercado del reciclado para dar lugar a los mismos o similares productos que originaron el residuo.

E. Materiales destinados a la fabricación de productos secundarios:

Aparte de los metales, plásticos y vidrio que, además de reciclarse se pueden destinar a este fin, son fundamentalmente los materiales pétreos, cerámicos (ladrillos), hormigón y pavimentos bituminosos los que pueden dedicarse a la fabricación de productos secundarios.

La investigación en este terreno se encuentra en continua evolución. De forma genérica, la principal aplicación de estos productos es la producción de áridos que a su vez pueden ser destinados a fabricar hormigón o servir directamente como bases en obras de carreteras.

Una condición habitualmente requerida para la producción de áridos a partir de RCD es que éstos se encuentren libres de cantidades significativas de acero (estructural o de armaduras), madera, vidrio, plásticos, cal, yeso, etc., lo cual obliga bien a proceder a una demolición selectiva, bien a separar las fracciones indeseables de forma previa a la producción de áridos.

En cuanto a la madera, hecha la excepción de piezas valiosas y/o bien conservadas, los porcentajes de recuperación varían entre 0 y 50% de unas zonas a otras, pudiendo adoptarse una estimación media del 20% como cifra orientativa.

2.3.4. CONDICIONES DE CARÁCTER TÉCNICO.

Que básicamente se refieren a dos aspectos:

La influencia que las técnicas y prácticas de demolición utilizadas tienen en la calidad de los residuos obtenidos y, consecuentemente, en las posibilidades de aprovecharlos en condiciones económicamente viables.

Como norma general, la capacidad de aprovechamiento de un RCD (o fracción del mismo) es mayor cuanto mayor es la pureza del mismo y menor la presencia de elementos indeseables para el futuro uso que se pretende.

En este sentido, el sector de demolición viene desarrollando desde hace años nuevos procedimientos (como la demolición selectiva) en la línea descrita. En todo caso, la aplicabilidad real de los mismos queda condicionada por aspectos económicos (incremento de los costos de demolición, existencia de cláusulas de penalización por demora en el plazo de demolición, etc.).

Las limitaciones de las técnicas de separación de fracciones del residuo bruto, que son especialmente relevantes cuando se trata de conseguir un alto grado de reutilización o reciclado.

2.3.5. CONDICIONANTES DE TIPO NORMATIVO O LEGISLATIVO.

Que se traducen por una parte en la regulación de la utilización de materiales reciclados o secundarios como Norma Técnica Peruana NTP 400.050:1999 MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN y por otra, en el establecimiento de una clara estrategia política de promoción de estas actividades a través de diversos mecanismos.

En el primer caso, la existencia de normas puede limitar la recuperación de materiales. Si bien algunas de estas normas responden a razones técnicas justificadas (como por ejemplo, evitar el uso de áridos de demolición con un contenido significativo

de sulfatos solubles en la fabricación de concreto), otras reflejan más la calidad de los materiales vírgenes habitualmente usados que las necesidades del usuario.

En el segundo caso, en la medida que una política clara está ausente de un determinado ámbito geográfico, los costos de eliminación sin aprovechamiento de los RCD suelen ser bajos como para ejercer un efecto disuasorio sobre los productores y orientar la solución hacia la reutilización o reciclado.

2.3.6. CONDICIONANTES IMPUESTOS POR EL MERCADO DE PRODUCTOS RECUPERADOS

Incluso en condiciones económicas ventajosas para estos productos, pueden actuar en tres sentidos:

1. Por una parte, la calidad real o estimada de estos productos puede limitar su salida en el mercado por las razones anteriormente expuestas.
2. Por otra parte los materiales recuperados suelen ser mucho más sensibles a las fluctuaciones de la demanda en el mercado de los materiales vírgenes a los que pretenden sustituir, especialmente cuando las tendencias de aquélla son a la baja.
3. Finalmente, la demanda de estos materiales puede verse seriamente afectada si no exista suficiente información acerca de la disponibilidad de los mismos y de su adecuación para utilizarlos en la fabricación de productos secundarios.

FOTOGRAFIA N° 5: SE OBSERVA LA CLASIFICACIÓN EN GRADACIÓN DE LOS AGREGADOS RECICLADOS RECUPERADOS.



FUENTE: Elaboración propia.

2.3.7. CONDICIONANTES DIRECTAMENTE LIGADOS A LOS COSTOS DE TRANSPORTE.

Costos que limitan en buena medida la viabilidad económica de la recuperación propiamente dicha o cuando las distancias entre los lugares de producción, tratamiento y almacenamiento de los RCD y utilización final del producto resultante son tan grandes que superan el valor de éste para el usuario potencial.

2.3.8. CONDICIONANTES DERIVADOS DE LOS COSTOS DE ELIMINACIÓN DE LOS RCD.

Sin duda, éste es un aspecto clave a la hora de evaluar la viabilidad global de la recuperación de componentes de los RCD, dado que, en la medida que resulte más costoso "deshacerse" del material como residuo puro, mayor será el interés del productor en encontrar una vía alternativa que pase por algún tipo de aprovechamiento.

En este sentido, los países más avanzados en la materia han seguido políticas similares a la línea de penalizar económicamente la eliminación de los RCD sin aprovechamiento, lo cual se ha traducido además en disminuciones de las cantidades totales de RCD producidas.

2.3.9. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

Aparte de las ya conocidas repercusiones ambientales asociadas a los trabajos de construcción y demolición (producción de ruidos y vibraciones, polvo, contaminación atmosférica, interferencias en el tráfico rodado o peatonal, etc.), conviene recordar aquí otros aspectos ligados al transporte, tratamiento y/o eliminación de los RCD.

A este respecto, el transporte de RCD presenta efectos similares a los de cualquier otro transporte pesado, como la contaminación del aire por los gases de escape, la producción de ruido y vibraciones, el consumo de recursos energéticos y sus efectos derivados, etc.

En este área, la recuperación y reciclado de RCD tiene repercusiones beneficiosas en cuanto a disminuir los impactos ambientales asociados al transporte, debido básicamente a las reducciones de las cantidades de materiales a eliminar en lugares de vertido más distantes y de las cantidades de materiales vírgenes que son sustituidos por los recuperados.

En cuanto a la eliminación de los RCD, y dejando de lado los impactos de las fracciones incineradas, el vertido controlado puede causar impactos positivos siempre y cuando se realice con la finalidad de recuperar zonas degradadas o como material de cubierta en vertederos o similares.

No obstante, el vertido de RCD puede también causar impactos negativos si se realiza de forma incontrolada o en zonas de alto valor ecológico y/o económico, por no mencionar los problemas de inestabilidad geotécnica frecuentes en estos lugares de vertido.

Por otro lado, las actividades de recuperación de RCD presentan aspectos ambientales positivos y negativos. Entre los primeros cabe destacar la prolongación de la vida útil de los espacios de vertido, los ahorros de consumo de materiales vírgenes o importados y de consumo energético asociado a la fabricación de productos a los que sustituyen, así como la preservación de espacios naturales debida a una menor necesidad de explotación de recursos minerales

Finalmente son dignos de mención los posibles impactos sobre la salud causados por el inadecuado manejo y/o protección frente a componentes peligrosos que pueden existir en los RCD (particularmente en algunos de demolición), como el amianto.

2.3.10. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CONCRETO RECICLADO.

A. TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO.

La trabajabilidad es uno de los factores más críticos en los concretos fabricados con agregados reciclados. Si bien es cierto, el asentamiento inicial del concreto en estado fresco decrece levemente con el aumento del nivel de reemplazo de agregados reciclados, difícilmente es afectado por el tipo de agregado.

Yang y Kim demostraron que la pérdida relativa de asentamiento del concreto fresco contra el tiempo transcurrido, puede ser aproximadamente expresada con la siguiente ecuación:

$$\frac{S_L}{(S_L)_i} = kT + 1$$

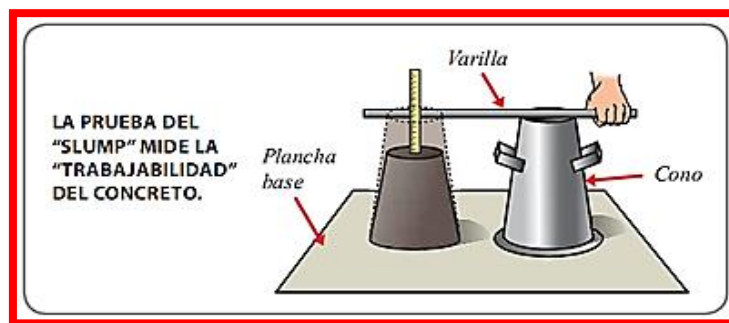
Donde

$(S_L)_i$ = es el asentamiento inicial en mm medido inmediatamente después del mezclado.

S_L = es el asentamiento medido a T minutos.

k = es la razón de pérdida de asentamiento en mm/minuto.

FIGURA N° 24: LA PRUEBA DEL SLUMP.



FUENTE: Acero Arequipa S.A., Manual del maestro constructor. <http://www.acerosarequipa.com/>. Peru, 2015, pág. 28

B. 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 resultará, lógicamente, en un concreto de menor peso unitario. Torben Hansen señala que un concreto con agregados reciclados posee una densidad 5% menor.

C. 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.

Los resultados obtenidos por Yang et al. Ratifican esta tendencia. Según dicho estudio, la exudación en concretos con agregados reciclados de alta absorción, podría empezar a desarrollarse pasadas las dos horas de mezclado, mientras que un concreto con agregado natural, iniciaría el sangrado a los treinta minutos aproximadamente.

Este factor implicaría un mayor cuidado en la hidratación del concreto, debido a que ante una evaporación del agua superficial rápida, una baja velocidad de exudación podría generar fisuras por contracción plástica

D. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PREPARADO CON AGREGADOS RECICLADOS.

Las propiedades del agregado de concreto reciclado has sido reportada por Ploger, Buck y Malhotra.

TABLA N° 22: PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS HECHOS A PARTIR DE CONCRETO RECICLADO.

Concreto Original		Absorción %		Densidad Relativa	
Descripción	Resistencia a la Compresión (MN / m ²)	Agregado Grueso	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agregado Fino
Ploger					
Agregado de grava y arena.	35 (90 días)	6.0	10.5	ND	ND
Agregado grueso de roca natural, mezclado con productos de demolición y agregado fino de arena natural.	34 (90 días)	4.5	ND	ND	ND
Buck					
Desechos de caminos (agregados de grava de sílice)	41 (años)	4.5	7.9	2.42	2.33
Viga desechada (agregado grueso de carbonato)	55 (9.5 meses)	3.9	ND	2.52	ND
Viga desechada (agregado grueso de granito)	13 (2.5 años)	2.3	7.9	2.59	2.36
Paneles de concreto (agregado de grava de sílice)	23 (8 meses)	4.4	7.5	2.36	2.27
Malhotra					
Cilindros de prueba desechados (agregado fino de caliza gruesa y arena)	Alta	4	7.9	2.53	Nd
	Media	3.9	3.9	2.53	2.31
	Baja	4.4	4.4	2.5	2.34

*MN/m² = 10.2 Kg/cm²

FUENTE: Jorge Arturo Cruz García y Ramón Velázquez Yáñez. Tesis, Concreto reciclado, Instituto Politécnico Nacional. Mexico, 2005, pág. 43

Buck estudio las resistencias a la compresión, del concreto que contiene agregados de concreto reciclado, con una relación constante agua / cemento (y trabajabilidad constante), excepto el caso de dos mezclas en las que la relación agua / cemento se redujo mediante el uso de un aditivo reductor de agua, así como por la adición de ceniza volante.

En general Buck encontró resistencias disminuidas, comparadas con las de una mezcla de control. Sin embargo pudo demostrar que la resistencia del concreto nuevo puede ser más alta que la resistencia original del concreto demolido que se incluye como agregado.

Malhotra preparo concreto con grados de resistencia alto, mediano y bajo, utilizando concreto demolido, procedente de cilindros de prueba desechadas, cuyo material poseía el nivel de resistencia adecuado. Sus resultados sobre la resistencia a la compresión se muestran en la tabla 6.

Malhotra, estudio los agregados de concreto reciclado. Mediante microscopia óptica y electrónica. Encontró que las partículas de concreto demolido tendían a adoptar formas más redondas y texturas de superficie más uniformes que la de los agregados frescos de caliza, utilizándolos como control. Se observaron grietas en la pasta de cemento hidratado adherida a las partículas de concreto demolido. Se pensó que estas grietas podían ser la causa del alto grado de absorción de este agregado.

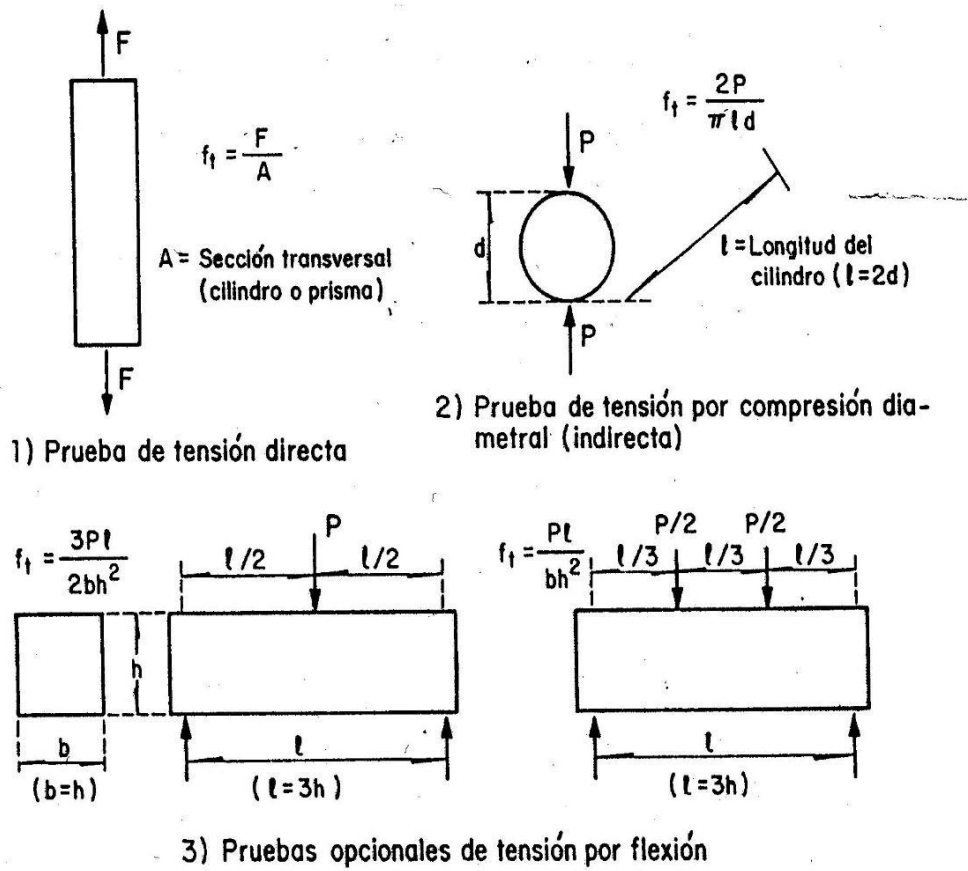
E. RESISTENCIA A TENSIÓN DEL CONCRETO.

El concreto endurecido se manifiesta en los ensayos bajo carga de corta duración como un material de tendencia frágil, pues su ruptura se produce con una deformación unitaria relativamente reducida: entre 100 y 200 millonésimas a tensión y entre 2000 y 4000 millonésimas a compresión, según su grado de resistencia; y esta diferente deformación a tensión y compresión puede verse como una manifestación de lo heterogéneo de su composición que le confiere el carácter de cuerpo anisótropo. De tal modo, al considerar que la ruptura del concreto se puede asociar a una deformación límite, resulta explicable el hecho de que su capacidad para resistir esfuerzos a tensión sea considerablemente menor que a compresión.

En concordancia con esta limitación, al diseñar las estructuras se procura que el concreto no trabaje a tensión directa; sin embargo, casi siempre es inevitable que el concreto en la estructura deba soportar ciertos esfuerzos a tensión, ya sea como consecuencia de determinadas condiciones de carga que involucran flexión y cortante, o como resultado de las contracciones que se producen en el concreto por secado o por temperatura, en condiciones que las restringen.

De igual manera que la resistencia del concreto a compresión, la de tensión también depende de las resistencias a tensión propias de la pasta de cemento y los agregados, y de la adherencia que se genera entre ambos, si bien la influencia relativa de estos factores puede variar en función de los procedimientos que se utilizan para determinar la resistencia del concreto a tensión, que son básicamente tres tal y como se representan esquemáticamente en la Fig. 2.3.2a:

FIGURA N° 25: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PROCEDIMIENTOS USUALES PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A TENSIÓN DEL CONCRETO.



FUENTE: Jorge Arturo Cruz García y Ramón Velázquez Yáñez. Tesis, Concreto reciclado, Instituto Politécnico Nacional. Mexico, 2005, pág. 44

CAPÍTULO III

3. PROPUESTA TÉCNICA DE LA INVESTIGACIÓN- PRODUCCIÓN DE CONCRETO

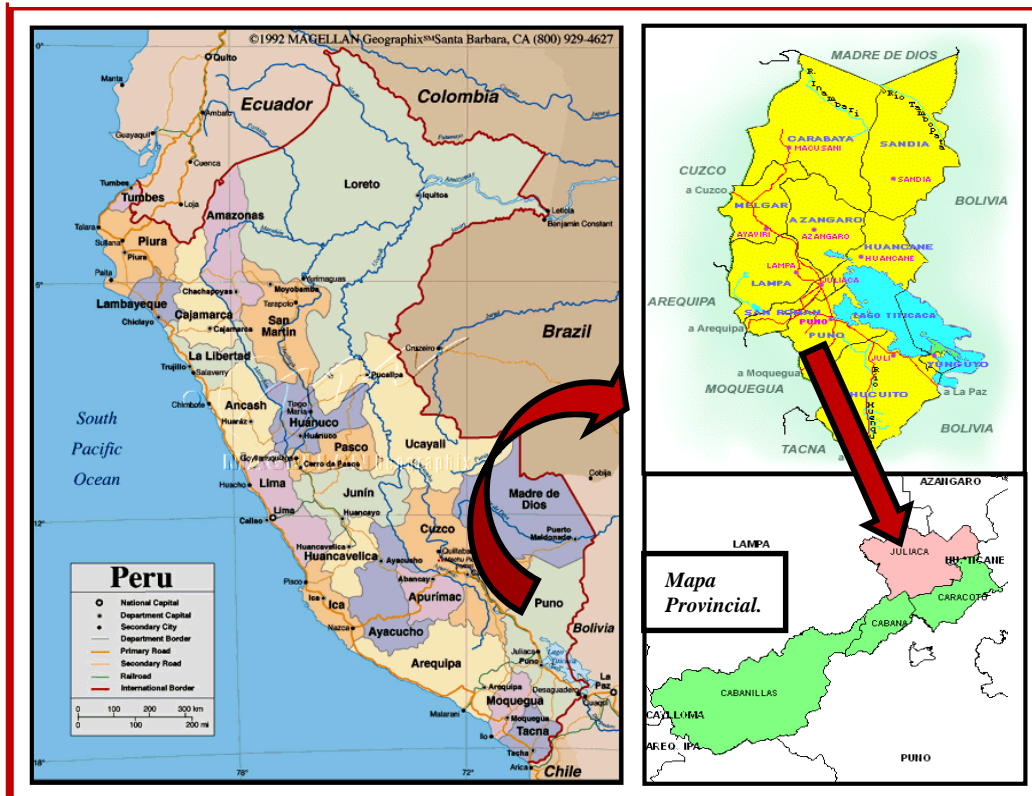
3.1 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA DEL MATERIAL NATURAL

3.1.1 LOCALIZACIÓN

Se encuentra ubicada en la salida lampa en el km 13+000 de la carretera asfaltada Juliaca-Lampa, en el sector del puente Unocolla en el río de Cabanillas Para lo cual extraemos una cierta cantidad de agregado para los diferentes ensayos en el laboratorio. Además sabemos que de la cantera isla mayormente sacan agregados finos y agregados gruesos para las diferentes obras de la localidad.

Se procedió a transportarlos al lugar donde se realizará la trituración de los mismos, donde se realizan las pruebas al concreto fresco y endurecido por medio de cilindros.

FIGURA N° 26: MACRO LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO



FUENTE: http://www.go2peru.com/spa/mapas_peru.htm. Peru, 2015.

FOTOGRAFIA N° 6: CANTERA DE AGREGADO NATURAL ISLA-JULIACA.



FUENTE: Elaboración propia.

TABLA N° 23: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS NATURALES DE LA CANTERA ISLA DE LA CIUDAD DE JULIACA

CANTERA	UBICACIÓN	ACCESO	MATERIALES	USOS	POTENCIA ESTIMADA (m ³)
Isla	Km 13+000	Izquierda del río unoccolla	Agregado grueso y fino	SBG, BG, MAF, MC P	80,000.00

FUENTE: PINZUAR LTDA. LABORATORIO DE METROLOGIA (ING: FELIPE JESUS CACERES PINEDA) PUNO-PERU-2015

3.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Los cilindros escogidos son los normados por las especificaciones ASTM C-31, que indica que la probeta estándar para la resistencia a compresión del concreto con agregado de dimensión máxima de 50 milímetros (2 pulgadas), o menor es un cilindro de 150 milímetros (6 pulgadas) de diámetro por 300 milímetros (12 pulgadas) de altura, además, fueron ensayados a 28 y 30 días.

FOTOGRAFIA N° 7: MOLDES CILÍNDRICOS Y PRISMÁTICOS HABILITADOS.



FUENTE: Elaboración propia.



3.2 PRODUCCIÓN DE CONCRETO CONVENCIONAL

3.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS NATURALES DE LA CANTERA ISLA DE LA CIUDAD DE JULIACA

TABLA N° 24: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS NATURALES DE LA CANTERA ISLA DE LA CIUDAD DE JULIACA

CARACTERÍSTICA FÍSICA	A. F.	A. G.
Peso específico de masa.	2.56 gr/cm ³ .	2.26 gr/cm ³ .
Peso seco compactado.	1620 Kg/m ³ .	1595 Kg/m ³ .
Peso seco suelto.	1655 Kg/m ³ .	1279 Kg/m ³ .
Absorción.	2.33%	9.99%
Humedad.	2.99%	4.55%

Módulo de fineza.	3.68	6.5
Módulo de fineza de la combinación.	5.34	

FUENTE: PINZUAR LTDA. LABORATORIO DE METROLOGIA (ING: FELIPE JESUS CACERES PINEDA) PUNO-PERU-2015

3.2.2 CARACTERÍSTICAS RESISTENTES DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA DE ISLA DE LA CIUDAD DE JULIACA.

TABLA N° 25: CARACTERÍSTICAS RESISTENTES DE AGREGADOS CANTERA: ISLA - JULIACA

CARACTERISTICA RESISTENTES	A. G.
Perfil.	Redondeado
Tipo de agregado.	Natural
Resistencia al desgaste.	60.20%
Perdida.	39.80%
AASTHO.	T - 26
ASTM.	C - 131

FUENTE: PINZUAR LTDA. LABORATORIO DE METROLOGIA (ING: FELIPE JESUS CACERES PINEDA) PUNO-PERU-2015

Mediante este ensayo de abrasión por medio de la Máquina de los Ángeles se puede conocer la resistencia del agregado al desgaste mecánico o físico por contacto directo con esferas de acero que giran junto con el material a la velocidad de 33 revoluciones por segundo, por 15 o 30 minutos, de acuerdo al tamaño de la grava originando desmenuzamientos del material. Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante. Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 (para agregados menores de 1 ½") y ASTM C-535 (para agregados mayores a ¾"), mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión.

3.2.3 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETOS.

El Comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas de las Tablas presentadas en los capítulos anteriores, permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto.

A. APLICACIÓN.

1. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.

Calcular las proporciones de los materiales integrantes de un concreto a ser empleado para determinar por la comparación de la resistencia a la comparación del concreto con fines de investigación, de los diferentes métodos. Las especificaciones a considerar son las siguientes:

- a. No existe limitaciones en el diseño no por congelación, ni presencia de cloruros y sulfatos.
- b. La resistencia en compresión de diseño especificada es de 175Kg/cm² a los 28 días. La desviación a considerar será de 10%de la resistencia.
- c. El concreto deberá tener una consistencia seca.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

a. Cemento.

- Portland ASTM, tipo IP Rumi.
- Peso específico. 3.00 gr/cm³.

b. Agua.

- De pozo, cumple con los requisitos de potabilidad, (los análisis se encuentra en parte de anexos).

3. AGREGADO FINO.

- Peso específico de masa. 2.56 gr/cm³.
- Absorción. 2.33 %
- Humedad. 2.99 %
- Módulo de fineza. (3.68 aprox. 3.70) 3.70 %

4. AGREGADO GRUESO.

- Perfil redondeado.
- Tamaño máximo nominal. 1"
- Peso específico de masa. 2.26
- Absorción. 9.99 %
- Humedad. 4.55 %
- Peso seco compactado. 1595 Kg/cm³.
- Módulo de fineza. 6.50

5. DESARROLLO.

Paso 1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO (f'_{cr})

- Resistencia del concreto establecido = 175 kg/cm².
- Desviación estándar (S) = 17 kg/cm².

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34(S) = 175 + 1.34(17) = 198 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33(S) - 35 = 175 + 2.33(17) - 35 = 181 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Se toma en cuenta el mayor : 198 kg/cm²

Paso 2. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO.

Establecido en las especificaciones de diseño

T.M.N.: 1"

Paso 3. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO.

Exigencia del diseño, en este caso se establece que la mezcla tenga consistencia seca.

S = 1" a 2"

Paso 4. DETERMINACION DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA.

- Asentamiento 1" a 2"
- Mezcla sin aire incorporado.
- Tamaño máximo nominal 1".

Agua: 179 lit. (m³)

Paso 5. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO.

- Concreto normal sin influencia de agente externo.
- Tamaño máximo nominal 1".

Aire atrapado: 1.5 %

Paso 6. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO.

- Concreto normal.
- Resistencia promedio: $198 \text{ kg/cm}^2 = 200 \text{ kg/cm}^2$.
- Sin aire incorporado.

POR RESISTENCIA.

$$A/C = 0.70$$

Paso 7. FACTOR CEMENTO.

- Cantidad de agua. = 179 lit.
- Relación agua /cemento = 0.70

$$\text{Cemento} = \text{agua} / a-c$$

$$179 / 0.70 = 255.71 = 256 \text{ kg.}$$

Cemento = 256 kg (6 bolsas)

Paso 8. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

- Tamaño máximo nominal : 1"
- Módulo de fineza de agregado fino : 3.70
- Peso seco compactado. : 1595 kg/m³.

$$\text{AG. (vol.)} = 0.68 \text{ m}^3.$$

$$\text{AG. (peso)} : 1595 (0.68) = 1084.6 = 1085 \text{ kg.}$$

$$\text{AG} = 1085 \text{ kg. (seco)}$$

Paso 9. CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS.

- Cemento. : $256/3000 = 0.0853 \text{ m}^3$.
 - Agua. : $179/1000 = 0.1790 \text{ m}^3$.
 - Aire atrapado.: 1.5 % = 0.0150 m³.
 - Agregado grueso.: $1085/2260 = 0.4801 \text{ m}^3$.
- $$\Sigma = 0.7594 \text{ m}^3.$$

Paso 10. CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

- Peso específico de masa AF. : 2.56
- Suma volúmenes absolutos : 0.7594 m³

$$\begin{aligned} \text{Volumen AF.} &= 1.0000 - 0.7594 = 0.2406 \text{ m}^3 \\ \text{Peso AF.} &= 2560 (0.2406) = 615.94 \end{aligned}$$

$$\text{Peso AF.} = 616 \text{ kg (seco)}$$

Paso 11. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

- Humedad A.F, : 2.99 %
- Humedad A.G. : 4.55 %

- Absorción A.F. : 2.33 %
- Absorción A.G. : 9.99 %
- Peso seco A.F. : 616 kg. (seco)
- Peso seco A.G. : 1085 kg. (seco)

Humedad superficial de los agregados.

$$\begin{aligned} \text{A.F.} &= 616 (1.0299) = 634.42 = 634 \text{ kg. (húmedo)} \\ \text{A.G.} &= 1085 (1.0499) = 1139.14 = 1139 \text{ kg. (húmedo)} \end{aligned}$$

Aporte de la humedad superficial.

$$\begin{aligned} \text{A.F.} &= 616 (0.0299 - 0.0233) = 4.07 \text{ lt.} \\ \text{A.G.} &= 1085 (0.0455 - 0.0999) = (-) 59.02 \text{ lt} \\ &\quad \underline{\Sigma = (-) 54.98 = 55.00 \text{ lt.}} \end{aligned}$$

$$\text{Agua neta} = 179 + 55 = 234 \text{ lt.}$$

Paso 12. PROPORCIÓN EN PESO PARA UN KILO DE CEMENTO.

Cemento	:	AF	:	AG	/	Agua
<u>256</u>		<u>616</u>		<u>1085</u>	/	<u>234</u>
256		256		256		256
1	:	2.44	:	4.23	/	0.91

Paso 13. CANTIDAD DE MATERIALES PARA UN M3 DE CONCRETO.

Cemento	:	256 kg.
Agregado fino	:	616 kg. Húmedo.
Agregado grueso	:	1085 kg. Húmedo.
Agua	:	234 lt.

3.3 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA A RECICLAR

3.3.1 LOCALIZACIÓN

La materia prima fue extraída de la obra de bypass en el sector salida a cusco, localizado en la Ciudad de Juliaca, donde se realizan las pruebas al concreto fresco por medio de cilindros.

Se procedió a transportarlos al lugar donde se realizará la trituración de los mismos.

**FOTOGRAFIA N° 8: SE OBSERVA GRAN CANTIDAD DE RCD. EN EL SECTOR
AV. CIRCUNVALACION**





FUENTE: Elaboración propia.

3.3.2 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Cuando se cuenta con material apilado y en disposición, la muestra representativa debe tomarse por lo menos de 45 kilogramos de cualquier tamaño, de cualquier material a examinar.

Debe efectuarse una selección de los apilamientos existentes y de esta forma tomar las muestras más representativas y con las características del agregado más grande. Para la presente investigación la muestra de agregado fino y grueso fue obtenida en una ferretería, por lo que se procedió a hacerle los estudios, para comprobar que esta apta para su uso.

Los cilindros escogidos son los normados por las especificaciones ASTM C-31, que indica que la probeta estándar para la resistencia a compresión del concreto con agregado de dimensión máxima de 50 milímetros (2 pulgadas), o menor es un cilindro de 150 milímetros (6 pulgadas) de diámetro por 300 milímetros (12 pulgadas) de altura, además, fueron ensayados a 28 y 30 días.

3.3.3 EQUIPO Y MAQUINARIA

El equipo a utilizar es una almádana de 10 libras y una placa de metal en la base del suelo para romper los cilindros de forma manual, y de allí llevar los residuos a un tamaño de partícula que pasara el tamiz de abertura 1 ½ de pulgada, para posteriormente clasificarlo por su tamaño de uso.

FOTOGRAFIA N° 9: SE OBSERVA TRITURADO DE CONCRETO RECICLADO PARA SU USO EN LOS ENSAYOS.



FUENTE: Elaboración propia.

3.3.4 MÉTODO DE TRITURACIÓN

El proceso de trituración es básico, semejante a la trituración de una roca, consiste inicialmente en la reducción de tamaño del cilindro de concreto original, mediante una trituración primaria de manera manual para fines de esta investigación, pero se puede proceder el mismo por un método mecánico por razones de eficiencia, luego, para la trituración secundaria, se pasa el material por los diferentes tamices hasta llegar a la forma comercial y requerida por las especificaciones usadas en los agregados naturales.

FOTOGRAFIA N° 10: SE OBSERVA TAMAÑOS DE PARTÍCULAS DE AGREGADO RECICLADO.



FUENTE: Elaboración propia.

3.4 PRODUCCIÓN DE CONCRETO RECICLADO

3.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS RECICLADO DE LOS RCD EN LA CIUDAD DE JULIACA

TABLA N° 26: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADO RECICLADOS DE LOS RCD EN LA CIUDAD DE JULIACA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	A. F.	A. G.
Peso específico de masa.	2.40 gr/cm ³ .	2.42 gr/cm ³ .
Peso seco compactado.	1470 Kg/m ³ .	1410 Kg/m ³ .
Peso seco suelto.	1490 Kg/m ³ .	1367 Kg/m ³ .
Absorción.	2.80%	1.90%
Humedad.	5.25%	2.82%
Modulo de fineza.	2.8	
Modulo de fineza de la combinación.	4.32	

FUENTE: PINZUAR LTDA. LABORATORIO DE METROLOGIA (ING: FELIPE JESUS CACERES PINEDA) PUNO-PERU-2015

3.4.2 CARACTERÍSTICAS RESISTENTES DE LOS AGREGADOS GRUESOS RECICLADOS DE LOS RCD DE LA CIUDAD DE JULIACA.

TABLA N° 27: CARACTERÍSTICAS RESISTENTES DE AGREGADOS GRUESOS RECICLADOS DE LOS RCD

CARACTERÍSTICA RESISTENTES	A. G.
Perfil.	Angular
Tipo de agregado.	Artificial
Resistencia al desgaste.	60.20%
Perdida.	30.80%
AASTHO.	T - 26
ASTM.	C - 131

FUENTE: PINZUAR LTDA. LABORATORIO DE METROLOGIA (ING: FELIPE JESUS CACERES PINEDA) PUNO-PERU-2015

3.4.3 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETOS DE MEDIANA RESISTENCIA CON EMPLEO DE AGREGADOS GRUESOS RECICLADOS.

A. APLICACIÓN.

1. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.

Calcular las proporciones de los materiales integrantes de un concreto a ser empleado para determinar por la comparación de la resistencia a la comparación del concreto con fines de investigación, de los diferentes métodos. Las especificaciones a considerar son las siguientes:

- a. No existe limitaciones en el diseño no por congelación, ni presencia de cloruros y sulfatos.
- b. La resistencia en compresión de diseño especificada es de 175Kg/cm² a los 28 días. La desviación a considerar será de 10% de la resistencia.
- c. El concreto deberá tener una consistencia seca.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

c. Cemento.

- Portland ASTM, tipo IP Rumi.
- Peso específico. 3.00 gr/cm³.

d. Agua.

- De pozo, cumple con los requisitos de potabilidad, (los análisis se encuentra en parte de anexos).

3. AGREGADO FINO.

- Peso específico de masa. 2.40 gr/cm³.
- Absorción. 2.80 %
- Humedad. 5.25 %

- Módulo de fineza. (3.68 aprox. 3.70) 2.80 %

4. AGREGADO GRUESO.

- Perfil angular.
- Tamaño máximo nominal. 1"
- Peso específico de masa. 2.42
- Absorción. 1.90 %
- Humedad. 2.82 %
- Peso seco compactado. 1410 Kg/cm³.
- Módulo de fineza. 6.50

5. DESARROLLO.

Paso 1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO (f'_{cr})

- Resistencia del concreto establecido = 175 kg/cm².
- Desviación estándar (S) = 17.5 kg/cm².

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34(S) = 175 + 1.34(17) = 198 \text{ kg / cm}^2$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33(S) - 35 = 175 + 2.33(17) - 35 = 181 \text{ kg / cm}^2$$

Se toma en cuenta el mayor : 198 kg/cm²

Paso 2. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMONOMINAL DEL AGREGADO GRUESO.

Establecido en las especificaciones de diseño

T.M.N.: 1"

Paso 3. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO.

Exigencia del diseño, en este caso se establece que la mezcla tenga consistencia seca.

S = 1" a 2"

Paso 4. DETERMINACION DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA.

- Asentamiento 1" a 2"
- Mezcla sin aire incorporado.
- Tamaño máximo nominal 1".

Agua: 179 lit. (m³)

Paso 5. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO.

- Concreto normal sin influencia de agente externo.
- Tamaño máximo nominal 1".

Aire atrapado: 1.5 %

Paso 6. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO.

- Concreto normal.
- Resistencia promedio: $198 \text{ kg/cm}^2 = 200 \text{ kg/cm}^2$.
- Sin aire incorporado.

POR RESISTENCIA.

$$A/C = 0.70$$

Paso 7. FACTOR CEMENTO.

- Cantidad de agua. = 179 lit.
- Relación agua /cemento = 0.70

$$\text{Cemento} = \text{agua}/a-c, \quad 179 / 0.70 = 255.71 = 256 \text{ kg.}$$

$$\text{Cemento} = 256 \text{ kg (6 bolsas)}$$

Paso 8. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

- Tamaño máximo nominal : 1"
- Módulo de fineza de agregado fino : 3.70
- Peso seco compactado. : 1410 kg/m³.

$$\text{AG. (vol.)} = 0.67 \text{ m}^3.$$

$$\text{AG. (peso)} : 1410 (0.67) = 944.70 = 945 \text{ kg.}$$

$$\text{AG} = 945 \text{ kg. (seco)}$$

Paso 9. CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS.

- Cemento. : $256/3000 = 0.0853 \text{ m}^3$.
 - Agua. : $179/1000 = 0.1790 \text{ m}^3$.
 - Aire atrapado.: 1.5 % = 0.0150 m³.
 - Agregado grueso.: $945/2420 = 0.3905 \text{ m}^3$.
- $$\Sigma = 0.6698 \text{ m}^3.$$

Paso 10. CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

- Peso específico de masa AF. : 2.40
- Suma volúmenes absolutos : 0.6698 m³

$$\text{Volumen AF.} = 1.0000 - 0.6698 = 0.3302 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso AF.} = 2560 (0.3302) = 792.48$$

$$\text{Peso AF.} = 616 \text{ kg (seco)}$$

Paso 11. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

- Humedad A.F, : 5.25 %

- Humedad A.G. : 2.82%
- Absorción A.F. : 2.80 %
- Absorción A.G. : 1.90 %
- Peso seco A.F. : 792 kg. (seco)
- Peso seco A.G. : 945 kg. (seco)

Humedad superficial de los agregados.

$$\begin{aligned} \text{A.F.} &= 792 (1.0525) = 833.58 = 834 \text{ kg. (húmedo)} \\ \text{A.G.} &= 945 (1.0282) = 971.65 = 972 \text{ kg. (húmedo)} \end{aligned}$$

Aporte de la humedad superficial.

$$\begin{aligned} \text{A.F.} &= 792 (0.0525 - 0.0282) = 19.25 \text{ lt.} \\ \text{A.G.} &= 945 (0.2282 - 0.0190) = 8.96 \text{ lt} \\ &\Sigma = 28 \text{ lt.} \end{aligned}$$

$$\text{Agua neta} = 179 + 28 = 151 \text{ lt.}$$

Paso 12. PROPORCIÓN EN PESO PARA UN KILO DE CEMENTO.

Cemento	:	AF	:	AG	/	Agua
<u>256</u>		<u>834</u>		<u>972</u>	/	<u>151</u>
256		256		256		256
1	:	3.26	:	3.80	/	0.59

Paso 13. CANTIDAD DE MATERIALES PARA UN M3 DE CONCRETO.

Cemento	:	256 kg.
Agregado fino	:	834 kg. Húmedo.
Agregado grueso	:	972 kg. Húmedo.
Agua	:	151lt.

3.5 ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO

3.5.1 OBJETIVO

- Determinar el asentamiento del concreto fresco en un rango desde 1/2" hasta 9"
- Verificar el cumplimiento de las especificaciones NTP 339.035 y ASTM C 143

FOTOGRAFIA N° 11: SE OBSERVA LA DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO.



FUENTE: Elaboración propia.

3.5.2 EQUIPO PARA MEDIR EL ASENTAMIENTO

- **Cono de Abrams**
 - ✓ Ø inferior 200 mm
 - ✓ Ø superior 100 mm
 - ✓ Altura 300 mm
 - ✓ Tolerancias ± 3 mm
 - ✓ Espesor mínimo 1.5 mm, 1.15 mm repujado

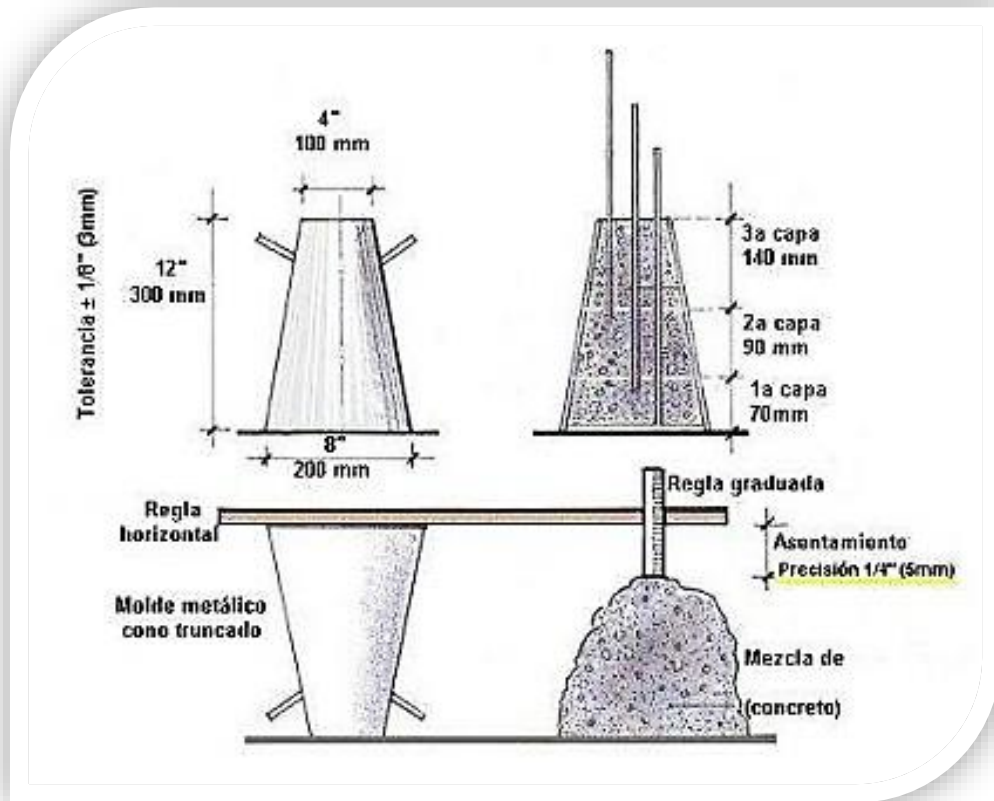
- **Barra compactadora**
 - ✓ Barra de acero liso con punta semiesférica
 - ✓ Ø 5/8" (16 mm) x 24" (600 mm)

- **Instrumento de medida**
 - ✓ Regla de metal rígido (Wincha)
 - ✓ Long ≥ 12 ", divisiones de 1/4" (5 mm)

- **Herramientas pequeñas**

3.5.3 PROCEDIMIENTO PARA MEDIR EL ASENTAMIENTO

FIGURA N° 27: PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DEL SLUMP.



FUENTE: Acero Arequipa S.A., Manual del maestro constructor. <http://www.acerosarequipa.com/>. Peru, 2015, pág. 29

3.5.4 NORMATIVA

TABLA N° 28: ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS

Especificaciones		Tolerancias ASTM C 94/C 94M NTP 339.114
Asentamiento nominal	2" (50 mm) y menos	± ½" (15 mm)
	2" a 4" (50 mm a 100 mm)	± 1" (25 mm)
	más de 4" (100 mm)	± 1 ½" (40 mm)
Asentamiento "máximo" o "no debe exceder"	3" (75 mm) o menos	En exceso 0" (0 mm)
		En defecto 1 ½" (40 mm)
	más que 3" (75 mm)	En exceso 0" (0 mm) En defecto 2 ½" (65 mm)
Tiempo de conservación en estos rangos (responsabilidad productor)		30 min desde llegada a obra

FUENTE: ING. GERARDO A. RIVERA L., Concreto Simple, Universidad del Cauca-Colombia, 2013, pág. 86

3.6 PESO UNITARIO DEL CONCRETO (DENSIDAD)

3.6.1 OBJETIVO

- Determinar el peso de 1m³ de concreto. El peso unitario normalmente está entre 2240kg/m³ a 2460kg/m³

- Verificar el cumplimiento de las especificaciones NTP 339.046 y ASTM C 138

3.6.2 EQUIPO PARA MEDIR EL PESO UNITARIO

- **Balanza**
 - ✓ Exactitud 45 g o dentro de 3% de peso de prueba
- **Varilla o vibrador**
 - ✓ Varilla de \varnothing 5/8" (16 mm) x 24" (600mm)
- **Recipiente cilíndrico**
 - ✓ Capacidad de acuerdo a TM
- **Placa de Enrasado**
 - ✓ Espesor \geq 1/4" (6mm),
 - ✓ Largo y ancho \varnothing recipiente + 2"
- **Mazo de goma**

FIGURA N° 28: EQUIPOS PARA LA PRUEBA DE PESO UNITARIO



FUENTE: Acero Arequipa S.A., Manual del maestro constructor. <http://www.acerosarequipa.com/>. Peru, 2015, pág. 32

3.6.3 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE PESO UNITARIO

- Determinar el peso del recipiente vacío (en kg) y humedecerlo
- Llenar y compactar en tres capas de igual volumen, en la tercera capa sobrellene el recipiente
- Se debe conocer el volumen

FOTOGRAFIA N° 12: SE OBSERVA EL LLENADO Y COMPACTADO EN TRES CAPAS DE IGUAL VOLUMEN DEL CONCRETO.



FUENTE: Elaboración propia.

- Enrasar la superficie del concreto y dar un acabado suave con la placa de enrasado
- Limpiar completamente el exterior del recipiente y determinar el peso (kg) de recipiente lleno con concreto.

FOTOGRAFIA N° 13: SE OBSERVA EL ENRASADO Y ACABADO.



FUENTE: Elaboración propia.

3.6.4 CALCULOS

- PESO UNITARIO DEL CONCRETO

Datos

- ✓ Volumen del molde $V = 3103 \text{ cm}^3$
- ✓ Peso del molde $P = 3091 \text{ gr}$
- ✓ Peso del Concreto + molde = 9815 gr (compactado)
- ✓ Peso del Concreto + molde = 9750 gr (suelto)

$$\text{P.U.C.} = \frac{(\text{Peso del concreto (compactado)} + \text{molde}) - \text{Peso del molde}}{(\text{Volumen del molde})}$$

$$\text{P.U.C.} = \frac{(9815 - 3091)}{(3103)} = 2.16694 \text{ gr} / \text{cm}^3 = 2166.94 \text{ kg} / \text{m}^3$$

3.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Jorge Muñoz, en 1975, afirmó que es posible obtener concretos aceptables de buena calidad usando desechos de concreto como agregado grueso cuya resistencia será del orden de 90% de la que se obtendría con un agregado normal para una relación agua/cemento determinada. Dicha afirmación se basó en ensayos realizados con un agregado grueso reciclado de 6.06 % de absorción.

En 1983, Torben C. Hansen, en su investigación "Strength of concrete made from crushed concrete coarse aggregate" afirmaba que técnicamente era factible producir concretos de baja resistencia sin importar la fuente de concreto de la cual se obtuvo el agregado reciclado, y que incluso se podía producir concretos de mayor resistencia que el concreto original, aunque aumentando ligeramente el contenido de cemento.

3.7.1 OBJETIVO

- Determinar de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto según el método ASTM D-422. El requerido está entre 175kg/cm³ a 210kg/cm³

FOTOGRAFIA N° 14: SE OBSERVA LA MEDICION DEL ESPECIMEN.



FUENTE: Elaboración propia.

3.7.2 EQUIPO PARA MEDIR EL PESO UNITARIO

- **Balanza**
 - ✓ Exactitud 45 g o dentro de 3% de peso de prueba
- **Equipo**
 - ✓ Máquina de compresión universal
- **Placa de Enrasado**
 - ✓ Espesor $\geq \frac{1}{4}$ " (6mm),
 - ✓ Largo y ancho \varnothing recipiente + 2"
- **Material**
 - ✓ mortero de azufre
 - ✓ cucharon

3.7.3 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

- **CABECEO DE ESPECIMENES CILINDRICOS.**- Es la preparación de las bases del espécimen cilíndrico con un mortero de cemento o de azufre para lograr planicidad y paralelismo entre las caras para su prueba.

FOTOGRAFIA N° 15: SE OBSERVA EL CABECEO DE ESPECÍMENES.



FUENTE: Elaboración propia.

- **COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.**-Luego de realizar el cabeceo en base a la prueba mencionada anteriormente, ya pasadas las 2 horas para que seque el mortero de azufre, se coloca el espécimen en una máquina de compresión universal.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO TANTO CONVENCIONAL Y RECICLADO.

4.1.1 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO.

El asentamiento es uno de los factores más críticos en los concretos fabricados con agregados reciclados. Si bien es cierto, el asentamiento inicial del concreto en estado fresco decrece levemente con el aumento del nivel de reemplazo de agregados reciclados, difícilmente es afectado por el tipo de agregado.

TABLA N° 29: RESULTADOS DE ENSAYOS DE ASENTAMIENTO DE CONCRETOS CON AGREGADOS NATURAL.

N°	f'c. Diseño kg/cm ²	FECHA VACIADO	ASENTAMIENTO mm	ASENTAMIENTO PROM. mm	%
1	175	26/10/2015	47.00		
2	175	26/10/2015	45.00		
3	175	26/10/2015	42.00		
4	175	26/10/2015	46.00		
5	175	26/10/2015	44.00	44.80	100

FUENTE: Elaboración propia.

TABLA N° 30: RESULTADOS DE ENSAYOS DE ASENTAMIENTO DE CONCRETOS CON AGREGADOS RECICLADOS.

N°	f'c. Diseño kg/cm ²	FECHA VACIADO	ASENTAMIENTO mm	ASENTAMIENTO PROM. mm	%
1	175	27/10/2015	51.00		
2	175	27/10/2015	49.00		
3	175	27/10/2015	50.00		
4	175	27/10/2015	51.00		
5	175	27/10/2015	50.00	50.20	100

FUENTE: Elaboración propia.

4.1.2 PESO UNITARIO DEL CONCRETO (DENSIDAD)

El concreto se dosifica por peso y se coloca por volumen, por tanto es importante determinar la masa unitaria del concreto para calcular el volumen o el rendimiento volumétrico producido por los pesos conocidos de cada uno de los materiales que lo constituyen y para determinar el contenido de cemento por metro cúbico de concreto.

TABLA N° 31: RESULTADOS DE ENSAYOS DE PESO UNITARIO DEL CONCRETOS CON AGREGADOS NATURAL – JULIACA.

N°	f ^c . Diseño kg/cm ²	FECHA VACIADO	VOLUMEN DE MOLDE cm ³	PESO DE MOLDE gr	PESO DEL CONCRETO + MOLDE (COMPACTADO) gr	P.U.C. gr/cm ³	P.U.C. kg/m ³	P.U.C. PROM. Kg/m ³
1	175	26/10/2015	3103	3091	10250	2.30712	2307.12	
2	175	26/10/2015	3103	3091	10251	2.30744	2307.44	
3	175	26/10/2015	3103	3091	10210	2.29423	2294.23	
4	175	26/10/2015	3103	3091	10278	2.31615	2316.15	
5	175	26/10/2015	3103	3091	10201	2.29133	2291.33	2303.25

FUENTE: Elaboración propia.

TABLA N° 32: RESULTADOS DE ENSAYOS DE PESO UNITARIO DEL CONCRETOS CON AGREGADOS RECICLADOS – JULIACA.

N°	f ^c . Diseño kg/cm ²	FECHA VACIADO	VOLUMEN DE MOLDE cm ³	PESO DE MOLDE gr	PESO DEL CONCRETO + MOLDE (COMPACTADO) gr	P.U.C. gr/cm ³	P.U.C. kg/m ³	P.U.C. PROM. kg/m ³
1	175	27/10/2015	3103	3091	9815	2.16694	2166.94	
2	175	27/10/2015	3103	3091	9810	2.16532	2165.32	
3	175	27/10/2015	3103	3091	9831	2.17209	2172.09	
4	175	27/10/2015	3103	3091	9817	2.16758	2167.58	
5	175	27/10/2015	3103	3091	9824	2.16984	2169.84	2168.35

FUENTE: Elaboración propia.

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 resultará, lógicamente, en un concreto de menor peso

unitario. Torben Hansen señala que un concreto con agregados reciclados posee una densidad 5% menor.

4.2 PRUEBAS AL CONCRETORRECICLADO EN ESTADO ENDURECIDO.

4.2.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS

Se ha efectuado la elaboración de concretos con agregados naturales de la cantera Isla – Juliaca y concretos con agregados artificiales procedentes de los RCD en las condiciones siguientes:

- a. Briquetas de concreto, con una resistencia de 175 kg/cm², utilizando agregados naturales de la cantera Isla de Juliaca.
- b. Briquetas de concreto con una resistencia de 175 kg/cm², utilizando agregados reciclados procedentes de los RCD de la ciudad de Juliaca.

FOTOGRAFIA N° 16: SE OBSERVA LA DETERMINACIÓN DEL ENSAYO A LA COMPRESION DEL CONCRETO PRODUCIDO CON AGREGADOS NATURAL.



FUENTE: Elaboración propia.

TABLA N° 33: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A CONCRETOS CON AGREGADOS NATURALES DE LA CANTERA ISLA – JULIACA.

N°	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	f'c. Diseño kg/cm2	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD dias	CARGA kg.	AREA cm2	ESFUERZO ROTURA kg/cm2	ESFUERZO ROTURA PROM. kg/cm2	%
1	Briqueta de prueba 15 x 30 cm.	175	26/10/2015	26/11/2015	30	33370	176.71	189		
2	Briqueta de prueba 15 x 30 cm.	175	26/10/2015	26/11/2015	30	34100	176.71	193		
3	Briqueta de prueba 15 x 30 cm.	175	26/10/2015	26/11/2015	30	34910	176.71	198		
4	Briqueta de prueba 15 x 30 cm.	175	26/10/2015	26/11/2015	30	33950	176.71	192		
5	Briqueta de prueba 15 x 30 cm.	175	26/10/2015	26/11/2015	30	35710	176.71	202	195	124

FUENTE: Elaboración propia.

FOTOGRAFIA N° 17: E OBSERVA LA DETERMINACIÓN DEL ENSAYO A LA COMPRESION DEL CONCRETO PRODUCIDO CON AGREGADOS RECICLADOS. LABORATORIO DE ASSU CONSTRUCTORES Y CONSULTORES S.A.C.



FUENTE: Elaboración propia.

TABLA N° 34: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A CONCRETOS CON AGREGADOS RECICLADOS PORCEDENTES DE LOS RCD.

N°	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	f'c. Diseño kg/cm2	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD dias	CARGA kg.	AREA cm2	ESFUERZO ROTURA kg/cm2	ESFUERZO ROTURA PROM. kg/cm2	%
1	Briqueta de prueba 15 x 30 cm.	175	30/10/2015	29/11/2015	30	31220	176.71	177		
2	Briqueta de prueba 15 x 30 cm.	175	30/10/2015	29/11/2015	30	32014	176.71	181		
3		175	30/10/2015	29/11/2015	30	32120	176.71	182		

	Briqueta de prueba 15 x 30 cm.									
4	Briqueta de prueba 15 x 30 cm.	175	30/10/2015	29/11/2015	30	31950	176.71	181		
5	Briqueta de prueba 15 x 30 cm.	175	30/10/2015	29/11/2015	30	33214	176.71	188	182	100

FUENTE: Elaboración propia.

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

No cabe duda que las características de los agregados reciclados generan una variedad de comportamientos en concretos fabricados con los mismos. Muchos investigadores concuerdan con que la primordial es la absorción, que se basa en la cantidad de pasta de cemento adherida al agregado, y determina la mayoría de propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

Frente a dicho consenso, se puede llegar a una serie de aseveraciones que deben ser tomadas en cuenta al emplear este tipo de agregado. Mayor absorción es sinónimo de: menos trabajabilidad, mayor pérdida de asentamiento en el tiempo, mayor demanda de agua, menor exudación, menor peso unitario, menor resistencia a la compresión, mayor contracción, menor módulo de elasticidad, mayor permeabilidad y por ende menor durabilidad, etc.

Todas estas características pueden ser predichas y controladas mediante el tipo de agregado y el manejo del porcentaje de reemplazo de agregado reciclado. Es decir, mientras mejor sea la calidad del agregado, y menor sea su nivel de reemplazo, menos evidentes serán las variaciones en las características del concreto.

Al obtener material para reciclaje de una fuente determinada, existe la necesidad de caracterizarlo para que de alguna manera pueda predecirse el comportamiento del nuevo concreto fabricado con el correspondiente agregado reciclado.

Un factor importante en cuanto al desarrollo de la resistencia está en que para agregados las resistencias a edades tempranas tienen una muy baja reducción de resistencia, lo que permitiría desencofrar los elementos en tiempos similares que con concretos convencionales. Si bien es cierto, la resistencia de diseño del concreto a los

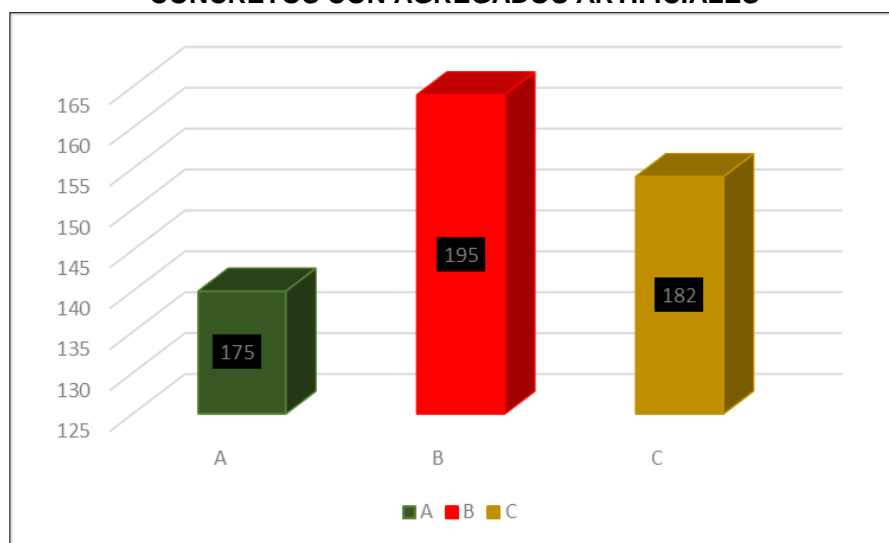
28 días si sufre una reducción que debe ser considerada (hasta 10%), sin embargo, hasta que el elemento sea sometido a su carga de diseño, pueden haber transcurrido varias semanas mientras se ejecutan las partidas de acabados y la operación de la estructura, en las que el concreto reciclado, con su desarrollo de resistencia tardío, posiblemente habrá alcanzado la resistencia requerida.

Es posible en la ciudad de Juliaca de producir concretos de mediana resistencia, con la utilización de agregados gruesos reciclados.

Para tal efecto se realiza el gráfico correspondiente con la información siguiente:

- Resistencia de diseño de concreto: 175 kg/cm².
- Resistencia promedio, con agregados naturales: 195 kg/cm².
- Resistencia Promedio, con agregados reciclados: 182 kg/cm².

TABLA N° 35: COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIAS DE CONCRETOS DE DISEÑO, CONCRETOS CON AGREGADOS NATURALES Y CONCRETOS CON AGREGADOS ARTIFICIALES



FUENTE: Elaboración propia.

A: RESISTENCIA DE DISEÑO	:175kg/cm².
B: CONCRETO CON AGREGADOS NATURALES	: 195kg/cm².
C: CONCRETO CON AGREGADOS RECICLADOS	: 182 kg/cm².

CONCLUSIONES

1. En la ciudad de Juliaca, cada cierto tiempo a removerse los pavimentos rígidos en los jirones, Avenidas, Parques, etc. los RCD se ubican en lugares fuera de la ciudad en calidad de abandono, ocasionando significativos impactos ambientales negativos, que se puede aprovechar con cierta ventaja para la obtención de agregados reciclados para la producción de concreto.
2. Los agregados reciclados, requiere de un proceso de selección a fin de ser destinados adecuadamente a la producción de concretos de mediana resistencia según el cumplimiento en el marco reglamento nacional de edificaciones E-060.pueden mejorarse con el solo hecho de realizar una rigurosa selección en los residuos a utilizar.
3. Las propiedades de los concretos reciclados, se encuentran en función a la calidad y nivel de reemplazo de los agregados reciclados.
4. La calidad de los agregados reciclados son dependientes de su porcentaje de absorción: A menor absorción, mejor será su calidad.

RECOMENDACIONES

1. En la actualidad en el mundo y particularmente en el Perú; se viene pensando con seriedad en los procedimientos de reciclaje, en este caso la utilización de los RCD en la obtención de agregados reciclados.
2. Se debe contar con el equipo mecánico requerido para el procedimiento de RCD, a fin de obtener agregados reciclados de buena calidad para la producción de concretos de mediana y baja temperatura.
3. Para alcanzar valores adecuados en las características físicas y resistentes, es necesario la selección de RCD procedentes de estructuras de concreto armado.
4. Los agregados reciclados hasta su utilización deben almacenarse adecuadamente a fin de evitar su contaminación.

REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA

TECNOLOGÍA DEL CONCRETO DE ALTA DESEMPEÑO, (2007) Pablo Portugal Barriga. Edit. Leonardo DaVinci, Primera edición, 348.

RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) Y DE RESIDUOS DE PROCESOS (RP) PROCQMA-Universidad Tecnológica Nacional, Suarez, C. Defagot, M. F. Carrasco, A. Marcipar, R. Miretti, H. Saus 2006. (11 y 12 de abril, San Rafael, Mendoza)

La Norma Técnica Peruana NTP 400.050:1999 MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN. Generalidades. 1ª Edición, se incluyó en el Plan de Revisión y Actualización de Normas Técnicas Peruanas que cumplieron 15 años de vigencia.

VALORIZACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS DE HORMIGÓN, Estudio experimental de laboratorio, Autor Ing. BEGLIARDO, HUGO FÉLIX, Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe, <http://www.edutecne.utn.edu.ar>

RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO Y VERIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS, Ernesto Iván Marroquín Muñoz, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, Guatemala, agosto de 2012

V Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería Civil, Loja - Ecuador 2008, ESTUDIO DE CONCRETOS RECICLADOS, Nuevas tecnologías, Ing. Ana Torre Carrillo, bel Tupac Quispe Cotrina, iguel Ángel Montrone Pisculich, Universidad Nacional de Ingeniería.

ASOCEM (1995) (Asociación de Productores de cemento – Lima) “Cemento” Boletines Técnicos. 01 a 42.

BIONDY SHAW A. (1993) “Tecnología del Concreto” Copia UNI – Lima.

CARRILLO FRANCISCO. (1974). “La Tesis Universitaria” Ed. UMSM

CASSINELLO PEREZ F. (1995). “Construcciones Hormigonería” Edit. Rueda – Madrid.

ANEXOS