

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**"DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
DEL CONCRETO RECICLADO PARA CONSTRUCCIONES
ECOEFICIENTES EN LA CIUDAD DE TACNA, 2022"**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. SEBASTIÁN ALONZO ARAGÓN CÁCERES

Bach. LUCIANA ROSA MONTOYA MALDONADO

TACNA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**"DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
DEL CONCRETO RECICLADO PARA CONSTRUCCIONES
ECOEICIENTES EN LA CIUDAD DE TACNA, 2022"**

Tesis sustentada y aprobada el 18 de Junio del 2022; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTA: Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES

SECRETARIO: Mag. YVAN MANUEL AROSQUIPA NINA

VOCAL: Mag. MARTÍN PAUCARA ROJAS

ASESOR: Mtro. SANTOS TITO GOMEZ CHOQUEJAHUA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo *Sebastián Alonzo Aragón Cáceres*, en calidad de: Bachiller en Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado (a) con DNI 71041202.

Yo *Luciana Rosa Montoya Maldonado*, en calidad de: Bachiller en Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado (a) con DNI 70555509.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada:
"Determinación de la resistencia a la compresión del concreto reciclado para construcciones ecoeficientes en la ciudad de Tacna, 2022"
La misma que presentamos para optar:
Título profesional de ingeniero civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *la Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a *la Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

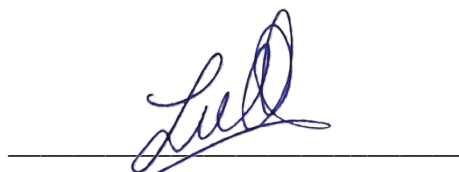
De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 18 de Julio del 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Sebastián', is written above a horizontal line.

Bach. Sebastián Alonzo
Aragón Cáceres

DNI. 71041202

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luciana', is written above a horizontal line.

Bach. Luciana Rosa
Montoya Maldonado

DNI. 70555509

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a mis padres, Cecilia y Carlos, quienes fueron mi ejemplo de perseverancia y esfuerzo, confiando siempre en mí y brindándome su apoyo y sacrificio incondicional, a mi hermana Karla, quien es la persona que me motiva día a día a seguir creciendo y también a mis familiares quienes estuvieron siempre alentándome para persistir.

Sebastián Alonzo Aragón Cáceres

Dedico esta tesis a mi Papito Dios, por bendecir mi vida y permitirme cumplir una meta más. A mis padres Rosario y Ubaldo, quienes me brindaron su apoyo emocional durante mi etapa universitaria. A mis abuelos Ana y Mario, mi linda inspiración para superarme siempre. A mi hermana Marisol, por su compañía constante y a mis amigos de Ingeniería Civil porque fueron pieza fundamental para mi continuo proceso en la carrera, siempre los recordaré.

Luciana Rosa Montoya Maldonado

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a la Universidad Privada de Tacna, a la Facultad de Ingeniería, a la Escuela de Ingeniería Civil y a nuestros docentes quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que podamos crecer día a día como estudiantes, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia y dedicación.

También, queremos expresar nuestro más grande y sincero agradecimiento a nuestros amigos, Ing. Jorge Liendo Sánchez e Ing. Hernán Apaza Cori, quienes con su conocimiento, experiencia y motivación nos apoyaron durante todo este proceso.

Finalmente, agradecemos a nuestro asesor, el Ingeniero Santos Tito Gomez Choquejahuá, por su guía en la elaboración de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Justificación e Importancia.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.5.1. Hipótesis general	4
1.5.2. Hipótesis específicas.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.1.1. A nivel internacional	5
2.1.2. A nivel nacional.....	5
2.1.3. A nivel local.....	6
2.2. Bases teóricas	7
2.2.1. Concreto convencional.....	7
2.2.1.1. Resistencia del concreto frente a sollicitaciones uniaxiales.....	7
2.2.2. Cemento	9
2.2.3. Agregados.....	11
2.2.3.1. Clasificación.....	12
2.2.4. Concreto reciclado	13
2.2.5. Agua	14
2.2.5.1. Usos del agua	14

2.2.5.2. Aguas recomendables.....	15
2.2.6. Ensayos de laboratorio.....	15
2.2.6.1. Contenido de humedad.....	15
2.2.6.2. Peso unitario de los agregados.....	16
2.2.6.3. Peso específico y absorción de los agregados.....	18
2.2.6.4. Análisis granulométrico de agregados.....	20
2.2.6.5. Abrasión Los Ángeles.....	21
2.2.6.6. Asentamiento del concreto “Slump”.....	22
2.2.6.7. Elaboración en el laboratorio de muestras de concreto.....	24
2.2.6.8. Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos.....	25
2.2.7. Método ACI.....	26
2.3. Definición de términos.....	33
2.3.1. Concreto.....	33
2.3.2. Concreto reciclado.....	33
2.3.3. Agregado.....	33
2.3.4. Diseño de mezcla.....	33
2.3.5. Método del American Concrete Institute (A.C.I.).....	33
2.3.6. Resistencia a la compresión.....	33
2.3.7. Construcciones ecoeficientes.....	34
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	35
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	35
3.2. Muestra de estudio.....	35
3.3. Operacionalización de variables.....	35
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	35
3.4.1. Ensayo de granulometría.....	36
3.4.2. Ensayo de contenido de humedad.....	38
3.4.3. Ensayo de peso unitario.....	41
3.4.4. Ensayo de peso específico y absorción.....	42
3.4.5. Ensayo de abrasión de Los Ángeles.....	45
3.4.6. Elaboración de probetas de concreto.....	47
3.4.7. Ensayo de resistencia a la compresión.....	49
3.4.8. Costo de obtención de concreto reciclado.....	51
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	51
3.5.1. Resultados del ensayo de granulometría.....	51
3.5.2. Resultados de módulo de fineza.....	55
3.5.3. Resultados del ensayo de contenido de humedad.....	56
3.5.4. Resultados del ensayo de peso unitario.....	57

3.5.5.	Resultados del ensayo de peso específico.....	60
3.5.6.	Resultados del ensayo de absorción.....	61
3.5.7.	Resultados del ensayo de abrasión de Los Ángeles	62
3.5.8.	Cantidad de muestras de ensayo.....	63
3.5.9.	Diseño de mezcla – Agregado convencional.....	64
3.5.10.	Diseño de mezcla – Agregado de concreto reciclado.....	66
3.5.11.	Sin reemplazo.....	69
3.5.12.	Reemplazo al 100 %.....	70
3.5.13.	Reemplazo al 75 %.....	71
3.5.14.	Reemplazo al 50 %.....	72
3.5.15.	Reemplazo al 25 %.....	73
3.5.16.	Reemplazo al 15 %.....	74
3.5.17.	Costo de obtención de concreto reciclado.....	75
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS	82
4.1.	Resistencia a la compresión del reemplazo completo del agregado grueso	82
4.1.1.	Sin Reemplazo: Resultado de diseño de mezcla – 100 % agregado grueso convencional.....	82
4.1.2.	Con Reemplazo: Resultado de diseño de mezcla – 100 % concreto reciclado como agregado grueso	83
4.2.	Resistencia a la compresión del reemplazo parcial del agregado grueso	85
4.2.1.	Con Reemplazo: Resultado con diseño de mezcla – 75 % concreto reciclado como agregado grueso	85
4.2.2.	Con Reemplazo: Resultado con diseño de mezcla – 50 % concreto reciclado como agregado grueso	87
4.2.3.	Con Reemplazo: Resultado con diseño de mezcla 25 % concreto reciclado como agregado grueso	88
4.2.4.	Con Reemplazo: Resultado con diseño de mezcla – 15 % concreto reciclado como agregado grueso	90
4.3.	Costo de obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones .	91
	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	92
	CONCLUSIONES.....	96
	RECOMENDACIONES.....	97
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación entre la resistencia a la compresión del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días	9
Tabla 2. Clasificación de agregados según su tamaño	12
Tabla 3. Usos de acuerdo a la procedencia del concreto de demolición	13
Tabla 4. Sustancias presentes en el agua	15
Tabla 5. Resistencia promedio requerida.....	27
Tabla 6. Asentamientos recomendados según tipo de construcción	27
Tabla 7. Asentamiento según consistencia	28
Tabla 8. Requerimientos de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados	29
Tabla 9. Relación agua-cemento	30
Tabla 10. Porcentaje de aire atrapado	31
Tabla 11. Módulo de fineza del agregado fino	31
Tabla 12. Resultados de granulometría para el agregado fino	52
Tabla 13. Resultados de granulometría para el agregado grueso convencional	53
Tabla 14. Resultados de granulometría para el agregado grueso de concreto reciclado	54
Tabla 15. Resultados de módulo de fineza para el agregado fino	55
Tabla 16. Resultados de módulo de fineza para el agregado grueso convencional	55
Tabla 17. Resultados de módulo de fineza para el agregado grueso concreto reciclado	56
Tabla 18. Resultados de contenido de humedad para el agregado fino	56
Tabla 19. Resultados de contenido de humedad para el agregado grueso convencional.....	57
Tabla 20. Resultados de contenido de humedad para el agregado grueso concreto reciclado	57
Tabla 21. Resultados de peso unitario suelto del agregado fino	58
Tabla 22. Resultados de peso unitario compactado del agregado fino	58
Tabla 23. Resultados de peso unitario suelto del agregado grueso convencional..	58
Tabla 24. Resultados de peso unitario compactado del agregado grueso convencional.....	59
Tabla 25. Resultados de peso unitario suelto del agregado grueso concreto reciclado	59
Tabla 26. Resultados de peso unitario compactado del agregado grueso concreto reciclado	59

Tabla 27. Resultados de peso específico del agregado fino	60
Tabla 28. Resultados de peso específico del agregado grueso convencional.....	60
Tabla 29. Resultados de peso específico del agregado grueso concreto reciclado	61
Tabla 30. Resultados de absorción del agregado fino.....	61
Tabla 31. Resultados de absorción del agregado grueso convencional.....	62
Tabla 32. Resultados de absorción del agregado grueso concreto reciclado	62
Tabla 33. Resultados de abrasión de Los Ángeles del agregado grueso convencional	62
Tabla 34. Resultados de abrasión de Los Ángeles del agregado grueso concreto reciclado	63
Tabla 35. Diseños de mezcla a realizar	63
Tabla 36. Cantidad de muestras a realizar.....	64
Tabla 37. Datos de los agregados para la elaboración del diseño de mezcla con agregado grueso convencional.....	64
Tabla 38. Dosificación del diseño de mezcla con agregado grueso convencional..	66
Tabla 39. Datos de los agregados para la elaboración del diseño de mezcla con agregado grueso concreto reciclado	67
Tabla 40. Dosificación del diseño de mezcla con agregado grueso concreto reciclado	69
Tabla 41. Dosificación con el 100 % de agregado grueso convencional (sin desperdicio).....	69
Tabla 42. Dosificación con el 100 % de agregado grueso convencional (con desperdicio).....	70
Tabla 43. Dosificación con el 100 % de agregado grueso concreto reciclado (sin desperdicio).....	70
Tabla 44. Dosificación con el 100 % de agregado grueso concreto reciclado (con desperdicio).....	71
Tabla 45. Dosificación con el 75 % de agregado grueso concreto reciclado (sin desperdicio).....	71
Tabla 46. Dosificación con el 75 % de agregado grueso concreto reciclado (con desperdicio).....	72
Tabla 47. Dosificación con el 50 % de agregado grueso concreto reciclado (sin desperdicio).....	72
Tabla 48. Dosificación con el 50 % de agregado grueso concreto reciclado (con desperdicio).....	73
Tabla 49. Dosificación con el 25 % de agregado grueso concreto reciclado (sin desperdicio).....	73

Tabla 50. Dosificación con el 25 % de agregado grueso concreto reciclado (con desperdicio)	74
Tabla 51. Dosificación con el 15 % de agregado grueso concreto reciclado (sin desperdicio)	74
Tabla 52. Dosificación con el 15 % de agregado grueso concreto reciclado (con desperdicio)	75
Tabla 53. Cálculo del rendimiento del cargador frontal	76
Tabla 54. Cálculo del rendimiento del volquete.....	77
Tabla 55. Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 100 % de agregado grueso convencional.....	82
Tabla 56. Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 100 % de agregado grueso convencional.....	82
Tabla 57. Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 100 % de agregado grueso convencional.....	83
Tabla 58. Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 100 % de concreto reciclado	84
Tabla 59. Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 100 % de concreto reciclado	84
Tabla 60. Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 100 % de concreto reciclado	84
Tabla 61. Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 75 % de concreto reciclado	85
Tabla 62. Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 75 % de concreto reciclado	86
Tabla 63. Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 75 % de concreto reciclado	86
Tabla 64. Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 50 % de concreto reciclado	87
Tabla 65 Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 50 % de concreto reciclado	87
Tabla 66. Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 50 % de concreto reciclado	88
Tabla 67. Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 25 % de concreto reciclado	88
Tabla 68. Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 25 % de concreto reciclado	89

Tabla 69. Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 25 % de concreto reciclado	89
Tabla 70. Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 15 % de concreto reciclado	90
Tabla 71. Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 15 % de concreto reciclado	90
Tabla 72. Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 15 % de concreto reciclado	91
Tabla 73. Resumen del costo de obtención de concreto reciclado.....	91
Tabla 74. Costo de obtención de concreto reciclado.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Protección del cemento.....	10
Figura 2. Molde y varilla metálica para ensayo de peso unitario	17
Figura 3. Varillado en ensayo de peso unitario compactado	18
Figura 4. Comprobación del estado saturado superficialmente seco en agregados fino	19
Figura 5. Tamices de ensayo de granulometría	20
Figura 6. Máquina de Los Ángeles para ensayo de degradación	22
Figura 7. Molde de ensayo para asentamiento	23
Figura 8. Verificación de asentamiento del concreto	23
Figura 9. Molde cilíndricos y medidas estándares para elaboración de briquetas ..	24
Figura 10. Procedimiento de ensayo de compresión para briquetas	26
Figura 11. Molde de ensayo para asentamiento	36
Figura 12. Agitado del juego de tamices	37
Figura 13. Agregado fino	37
Figura 14. Agregado grueso convencional.....	38
Figura 15. Agregado grueso – concreto reciclado.....	38
Figura 16. Colocación de muestras en el horno	39
Figura 17. Contenido de humedad de agregado fino	39
Figura 18. Contenido de humedad de agregado grueso	40
Figura 19. Contenido de humedad de concreto reciclado	40
Figura 20. Proceso de varillado para peso unitario compactado	41
Figura 21. Verificación de estado saturado superficialmente seco de agregado fino	42
Figura 22. Agregado fino en estado saturado superficialmente seco	43
Figura 23. Proceso para eliminación de vacíos de agregado fino	43
Figura 24. Llenado de probeta con agregado grueso convencional	44
Figura 25. Llenado de probeta con agregado grueso de concreto reciclado	44
Figura 26. Muestras tamizadas para ensayo de abrasión de Los Ángeles.....	45
Figura 27. Muestras para ensayo de abrasión de Los Ángeles.....	45
Figura 28. Vaciado de muestras en máquina de Los Ángeles.....	46
Figura 29. Retiro de esferas de acero para estudio de la muestra	46
Figura 30. Tamizado de muestra por malla N°12.....	47
Figura 31. Elaboración de mezcla de concreto	48
Figura 32. Elaboración de ensayo de asentamiento.....	48
Figura 33. Elaboración de briquetas de concreto	49

Figura 34. Eliminación de partículas de agua	49
Figura 35. Traslado de briquetas junto al equipo de compresión	50
Figura 36. Ingreso de briqueta para ensayo de compresión.....	50
Figura 37. Curva granulométrica de agregado fino	52
Figura 38. Curva granulométrica de agregado grueso convencional.....	53
Figura 39. Curva granulométrica de agregado grueso concreto reciclado.....	54
Figura 40. Análisis de precios unitarios partida 01.01	78
Figura 41. Análisis de precios unitarios partida 01.02	78
Figura 42. Cuadro de tarifa técnica interna de maquinarias pesadas y equipos GPBS – MPT 2020	79
Figura 43. Análisis de precios unitarios partida 01.03	80
Figura 44. Cuadro de tarifa técnica interna de maquinarias pesadas y equipos GPBS – MPT 2020	80
Figura 45. Análisis de precios unitarios partida 01.04	81
Figura 46. Curva de la resistencia del concreto con 100 % de agregado grueso convencional.....	83
Figura 47. Curva de la resistencia del concreto con 100 % de agregado grueso reciclado	85
Figura 48. Curva de la resistencia del concreto con 75 % de agregado grueso convencional.....	86
Figura 49. Curva de la resistencia del concreto con 50 % de agregado grueso convencional.....	88
Figura 50. Curva de la resistencia del concreto con 25 % de agregado grueso convencional.....	89
Figura 51. Curva de la resistencia del concreto con 15 % de agregado grueso convencional.....	91
Figura 52. Comparación de resultados de 100 % agregado grueso reciclado y convencional.....	92
Figura 53. Comparación de resultados con sustitución parcial del agregado grueso convencional.....	94
Figura 54. Comparación de costos de agregado grueso convencional y reciclado	95

RESUMEN

La presente investigación "Determinación de la resistencia a la compresión del concreto reciclado para construcciones ecoeficientes en la ciudad de Tacna, 2022", se realizó con la finalidad de determinar la viabilidad del uso de concreto reciclado para conseguir construcciones ecoeficientes en la ciudad de Tacna, se emplearon concretos con un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ originario, modificando su dimensión mediante un proceso de reducción a los tamaños normativos para su uso como reemplazo total y parcial del agregado grueso convencional para determinar su resistencia. Se realizaron ensayos de laboratorio a los agregados, los cuales, al conocer sus propiedades físicas, se elaboraron diseños de mezcla a una resistencia de 210 kg/cm^2 mediante el método de diseño ACI 211; considerando porcentajes de reemplazo del 100 %, 75 %, 50 %, 25 % y 15 % con respecto al agregado grueso convencional. Se concluyó que la sustitución del 100 %, 75 % y 50 % no alcanzaron la resistencia de diseño, sin embargo, el 15 % y 25 % de reemplazo en el agregado grueso por concreto reciclado si lo hicieron, con una resistencia promedio de 230.06 kg/cm^2 y 231.75 kg/cm^2 respectivamente, siendo este último la sustitución óptima, por lo tanto, la más recomendable. Además, se determinó que existe una influencia económica negativa, esto debido al elevado costo en la obtención del concreto reciclado con respecto a los precios del agregado grueso convencional, pero sí existirá un beneficio ambiental debido a la reducción de desperdicios provocados por las demoliciones en la ciudad de Tacna.

Palabras claves: Concreto reciclado, agregado grueso, diseño de mezcla, resistencia a la compresión, influencia económica.

ABSTRACT

The present research "Determination of the compressive strength of recycled concrete for eco-efficient constructions in the city of Tacna, 2022", was carried out with the purpose of determining the feasibility of the use of recycled concrete to achieve eco-efficient constructions in the city of Tacna, concrete with an original $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ were used, modifying their dimension through a process of reduction to regulatory sizes for use as a total and partial replacement of conventional coarse aggregate to determine its resistance. Laboratory tests were carried out on aggregates, which, knowing their physical properties, mixing designs were developed at a resistance of 210 kg/cm^2 using the ACI 211 design method; considering replacement percentages of 100 %, 75 %, 50 %, 25 % and 15 % with respect to conventional coarse aggregate. It was concluded that the replacement of 100 %, 75 % and 50 % did not reach the design strength, however, 15 % and 25 % replacement in the coarse aggregate for recycled concrete if they did, with an average resistance of 230.06 kg/cm^2 and 231.75 kg/cm^2 respectively, the latter being the optimal replacement, therefore, the most recommended. In addition, it was determined that there is a negative economic influence, due to the high cost in obtaining recycled concrete with respect to conventional coarse aggregate prices, but there will be an environmental benefit due to the reduction in waste caused by demolitions in the city of Tacna.

Keywords: Recycled concrete, thick aggregate, mixing design, compressive strength, economic influence.

INTRODUCCIÓN

A raíz del constante crecimiento de actividades en las construcciones, es que se generan grandes volúmenes de concreto a eliminar, procedentes de las mismas mediante las demoliciones convirtiéndose así en un problema de gran contaminación ambiental. La presente tesis busca evaluar la viabilidad del uso de concreto reciclado mediante la determinación de la resistencia a la compresión para obtener construcciones ecoeficientes en la ciudad de Tacna.

De esta manera, por medio de los ensayos de laboratorio se obtendrán los parámetros de diseño, se realizarán los distintos diseños de mezcla con el uso de concreto reciclado para su evaluación, asimismo se buscará determinar la diferencia económica con el análisis de las actividades de producción del material. Esta investigación es importante para el aprovechamiento de los residuos y con el propósito de incentivar el uso del concreto reciclado.

La presente tesis se constituye por cinco capítulos, estos se indican a continuación: El capítulo I abarca el planteamiento del problema donde se pormenoriza la formulación del problema, el porqué de la investigación y la enunciación de los objetivos principales y específicos. El capítulo II abarca el marco teórico donde se relaciona a los antecedentes más coincidentes a la investigación, las bases teóricas correspondiente a las dos variables, siendo la variable independiente, los niveles de concreto reciclado y la variable dependiente, la resistencia a la compresión. El capítulo III, marco metodológico, precisa el tipo y diseño de investigación, la muestra de estudio, las técnicas de recolección de datos y los análisis de datos a aplicar. El capítulo IV detalla los resultados, referidos a cada objetivo específico, posterior al haber desarrollado las actividades para la obtención de estos. El capítulo V hace referencia a la discusión donde se interpretan los resultados respecto a los objetivos e hipótesis planteados. Finalmente, se puntualizan las conclusiones y recomendaciones que culminan esta tesis.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En todo el mundo, el continuo crecimiento de la industria de la construcción, que, al restaurar o demoler alguna edificación genera una gran cantidad de residuos que, son una fuente importante de desperdicio para cualquier proyecto, causando inconvenientes medioambientales en cada ciudad o específicamente en cada zona donde se lleva a cabo. Es por eso que, uno de los problemas principales que se origina, es la invasión de espacios o zonas extensas debido a su volumen, a su vez también se forma la degeneración del mismo lugar al rebosar de forma desenfrenada e ilegal ya que, su producción se incrementa con el tiempo. Los residuos producidos no se administran o ejecutan individualmente, debido a que cualquier residuo tiene como rumbo final, los botaderos, que teniendo conocimiento en nuestro país existen pocos que son legales.

A su vez, el tratamiento de los residuos sólidos es un tema que, por ley, corresponde a los gobiernos locales o municipalidades pero que no se ha brindado la importancia suficiente para gestionarlo. De la misma forma la Norma Técnica Peruana (NTP 400.053:1999 "*Manejo de residuos de la actividad de la construcción. Reciclaje de concreto de demolición*") no se ha evaluado o modificado nuevamente y sigue siendo vigente hasta la fecha.

Entonces para que este residuo sólido como es el concreto reciclado logre la viabilidad, debe ser factible en demostrar que alcanza una resistencia solicitada de 210 kg/cm². De esta manera, esta tesis desarrolla el reciclaje y la reutilización del concreto demolido como agregado grueso mediante diferentes propuestas de diseños de mezcla para analizar su resistencia a la compresión, siendo esta la principal particularidad mecánica del concreto, y posteriormente utilizarlo para construcciones ecoeficientes.

Como segundo problema se comprende que, para el planeamiento de un nuevo proyecto, este recorre distintas etapas para su aprobación, y por lo mismo es habitual que se encuentren deficiencias en los expedientes técnicos de obra específicamente en los metrados, análisis de precios unitarios y por consiguiente el presupuesto, lo cual puede requerir una nueva opción de material como es el concreto reciclado detallando el proceso de su obtención para constatar si este es factible económicamente.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto reciclado para construcciones ecoeficientes en la ciudad de Tacna, 2022?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿De qué manera influye el uso de concreto reciclado al reemplazar completamente el agregado grueso en la resistencia a la compresión?
- b. ¿De qué manera influye el uso de concreto reciclado al reemplazar parcialmente el agregado grueso en la resistencia a la compresión?
- c. ¿De qué manera influye económicamente la obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones en la ciudad de Tacna, 2022?

1.3. Justificación e Importancia

Desde el punto de vista científico

Es importante conocer las alteraciones del uso del concreto reciclado, es por eso que es necesario llevar a cabo pruebas en laboratorio y obtener la resistencia a la compresión incorporando como agregado grueso a el concreto reciclado, de esta forma podremos comprobar su viabilidad e influencia.

Desde el punto de vista social

La ciudad de Tacna detenta con un sector para residuos de edificaciones; realizando esta acción en botaderos municipales, lotes baldíos e incluso en las calles de la ciudad, generando incomodidad y también riesgos en los pobladores tacneños pues se apropian de amplias zonas.

Desde el punto de vista económico

El costo de la obtención del concreto reciclado, representa la inversión de un material reutilizado respecto al costo del agregado convencional grueso, es decir, nos referimos a la piedra chancada.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la resistencia a la compresión del concreto reciclado para construcciones ecoeficientes en la ciudad de Tacna, 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la influencia del uso de concreto reciclado al reemplazar completamente el agregado grueso en la resistencia a la compresión.
- b. Determinar la influencia del uso de concreto reciclado al reemplazar parcialmente el agregado grueso en la resistencia a la compresión.
- c. Determinar la influencia económica de la obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones en la ciudad de Tacna, 2022.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

El uso de concreto reciclado alcanza la resistencia a la compresión para construcciones ecoeficientes en la ciudad de Tacna, 2022.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. El uso de concreto reciclado al reemplazar completamente el agregado grueso influye significativamente en la resistencia a la compresión.
- b. El uso de concreto reciclado al reemplazar parcialmente el agregado grueso influye significativamente en la resistencia a la compresión.
- c. Económicamente la obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones en la ciudad de Tacna 2022, influye negativamente respecto al agregado grueso convencional.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

Echeverry (2004), en su trabajo de investigación “Viabilidad técnica y económica del uso del concreto reciclado como agregado” tuvo como objetivo determinar viabilidad técnica y económica del uso del concreto reciclado como agregado en la elaboración de productos de concreto en la industria de los prefabricados, se siguieron varias etapas de carácter teórico y práctico, entre ellas revisiones bibliográficas, montaje de trituración de desechos de concreto, ensayos de laboratorio y ensayos industriales, de acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el concreto reciclado tiene características físicas y mecánicas que lo hacen apto para ser utilizado como agregado en la fabricación de concreto.

Martínez y Mendoza (2006), en su investigación “Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados” tuvo como objetivo determinar el desempeño de concretos fabricados con agregados reciclados obtenidos a partir de cilindros de concreto premezclado y diferentes consumos de cemento. Los resultados experimentales mostraron que el comportamiento del concreto con agregados reciclados es similar al del concreto con agregados naturales, lo que sugiere que puede ser utilizado como una concreta clase dos, de acuerdo con el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF).

2.1.2. A nivel nacional

Vega Bazán (2019), en su tesis “Agregado de concreto reciclado, su influencia en las propiedades mecánicas de concretos 210, 280 y 350 kg/cm², Lima – 2018” tuvo como objetivo determinar la influencia del agregado de concreto reciclado en las propiedades mecánicas de los concretos 210 kg/cm², 280 kg/cm² y 350 kg/cm², se tomó como población las mezclas de concreto elaboradas, dentro de esto se tomó como muestra las probetas de concreto elaboradas con dichas mezclas, se concluyó que el agregado de concreto reciclado influye positivamente en las propiedades mecánicas de los concretos 210, 280 y 350 kg/cm².

Rodrich y Silva (2018), en su tesis "Influencia del agregado de concreto reciclado sobre las propiedades mecánicas en un concreto convencional, Trujillo 2018" reemplazó al agregado grueso de un concreto convencional por agregado de concreto reciclado procedente de la demolición de una vereda en la ciudad de Trujillo, en diferentes cantidades, realizaron ensayos de caracterización a los agregados naturales y agregado reciclado; para los ensayos en estado endurecido se elaboraron un total de 270 probetas cilíndricas de 4 " x 8 ", evaluando la resistencia a compresión promedio a 3, 7 y 28 días de curado. De acuerdo a sus resultados determinaron que la mejor opción para la fabricación de concreto estructural es utilizar 30 % de agregado de concreto reciclado ya que a los 28 días de curado alcanzó una resistencia promedio de 225.86 kgf/cm² y para la fabricación de concreto no estructural se recomienda utilizar 15 % de agregado de concreto reciclado ya que a los 28 días de curado alcanzó una resistencia promedio de 190.87 kgf/cm².

Bazalar y Cadenillas (2019), en su tesis "Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con $f'c = 280$ kg/cm² en estructuras aperticadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental" tuvo como objetivo evaluar y comparar el comportamiento del concreto con diferentes proporciones de sustitución de agregado grueso natural por agregados de concreto reciclado, se evaluó mediante el análisis de las propiedades mecánicas y durabilidad de los tipos de mezclas, se concluyó que la mezcla de concreto con 40 % de agregado de concreto reciclado obtuvo mejores resultados en cuanto a la resistencia a la compresión con respecto a la obtenida en el concreto estándar, puesto que supera en 2.91 % a la de concreto estándar.

2.1.3. A nivel local

Carizaile y Anquise (2015), en su tesis "Viabilidad del uso de concreto reciclado para la construcción de viviendas en la ciudad de Tacna" realizaron 16 diseños de mezclas representativas, considerando porcentajes de reemplazo de 0 %, 20 %, 50 % y 100 % para resistencias a la compresión de 210 kg/cm² a 280 kg/cm² además de la inclusión de aditivos, según sus resultados determinan que las propiedades de un concreto reciclado son similares a las de un concreto convencional, sin embargo su costo de producción es más elevado a comparación de un concreto convencional debido a que el costo de este agregado reciclado es S/ 20 más a comparación de un agregado convencional.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto convencional

El concreto convencional generalmente es la composición de piedra, arena, agua, cemento y aditivos en algunos casos, ya que componen uno de los materiales constructivos más resistentes, al solidificarse.

Propiedades del concreto

Al analizar las propiedades del concreto, es fundamental no olvidar que están ligadas a las cualidades y cantidades de materiales; tanto su calidad, densidad y proporción de la pasta es definitiva para lograr dichas propiedades.

Trabajabilidad: Se refiere por la mayor o menor complicación tanto por la mezcla, transporte, instalación y compactación del concreto. Una mezcla trabajable idónea está compuesta por el volumen de agua y la equidad entre agregado fino y grueso.

Durabilidad: El concreto durante su servicio debe lograr tolerar la intemperie, la exposición a sustancias químicas y a la misma erosión. Algunos daños por el clima son debidos a las fases de congelación y descongelación, es por eso que se puede mejorar incrementando la impermeabilidad cubriendo su superficie con un incorporador de aire.

Impermeabilidad: Es una propiedad que puede restablecerse mediante la disminución del agua en la composición de concreto, debido a que el exceso de esta produce huecos y aberturas luego de evaporarse; si las cavidades se encuentran enlazadas o conectadas, es más accesible para el agua y podría atravesar el concreto.

2.2.1.1. Resistencia del concreto frente a sollicitaciones uniaxiales

Es de conocimiento que $f'c$ es la resistencia a la compresión teórica, empero, los testigos de prueba no tienen que fracturarse al mismo $f'c$ tan solo a una mayor resistencia nombrada $f'cr$, pues esta pende de la desviación estándar de la cantidad de pruebas llevadas a cabo.

a. Cuando no existe información:

Sólo para concretos de $f'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$

$$f'_{CR} = f'c + 85 \text{ kg/cm}^2$$

Para $f'c > 350 \text{ kg/cm}^2$ es fundamental hacer pruebas

b. Cuando existe menos de 15 pruebas:

Para concretos de $f'c \leq 210 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f'_{CR} = f'c + 70 \text{ kg/cm}^2$

Para concretos de $210 \leq f'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f'_{CR} = f'c + 85 \text{ kg/cm}^2$

Para concretos de $f'c > 350 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f'_{CR} = 1.1 f'c + 50 \text{ kg/cm}^2$

c. Cuando existe más de 15 pruebas, sin embargo menos de 30 el multiplicando de la desviación estándar se rectificará de esta manera:

15 pruebas: se multiplica por 1.16

20 pruebas: se multiplica por 1.08

25 pruebas: se multiplica por 1.03

30 pruebas o más: se multiplica por 1.00

Se calcula la desviación estándar por:

$$s = \left[\frac{\sum(x_1 - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (1)$$

Dónde:

x_1 = Resistencia individual de una prueba de 2 cilindros

\bar{x} = Promedio de n pruebas

n = Número de pruebas consecutivas

d. Cuando hay más de 30 pruebas:

Para $f'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f'_{CR} \geq f'c + 1.34 S \quad (5 - 1 \text{ ACI})$

$$f'_{CR} \geq f'c + 2.33 S - 35 \quad (5 - 2 \text{ ACI})$$

Para $f'c > 350 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f'_{CR} \geq f'c + 1.34 S \quad (5 - 1 \text{ ACI})$

$$f'_{CR} \geq 0.9 f'c + 2.35 S \quad (5 - 3 \text{ ACI})$$

Se sabe que, para obtener la resistencia del concreto, una duración de 28 días resulta muy extensa por lo cual los ensayos se realizan a los 7 días. De esta forma, la correlación de la resistencia determinada a los 7 días y 28 días, es alrededor de:

$$f'_{c7} = 0.67f'_{c28} \quad (2)$$

Experimentalmente se puede tomar:

$$f'_{c28} = f'_{c7} + 8\sqrt{f'_{c7}} \quad (3)$$

En la tabla 1 se presenta la proporcional relación entre la resistencia del concreto en distinta edad y cuál sería la resistencia alcanzada a los 28 días.

Tabla 1

Relación entre la resistencia a la compresión del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días

Tiempo	7 días	14 días	28 días	90 días	6 meses	1 año	2 años	5 años
f'_{c7}/f'_{c28}	0,67	0,86	1,00	1,17	1,23	1,27	1,31	1,35

Nota. Tabla adaptada del libro: Diseño de Estructuras de Concreto Armado - Teodoro Harmsen.

2.2.2. Cemento

El cemento es un material que resulta de la combinación de arcilla triturada con materiales calizos pulverizados, que al entrar en contacto con el agua se solidifica y se endurece. Se utiliza principalmente para requerimientos en la construcción precisamente por la solidez de su revestimiento, como aglutinante y adhesivo. El cemento se considera un material conglomerante debido a su capacidad para conectar partes de muchos materiales y darles adherencia a través de diferentes cambios químicos en la masa.

Tipos de cemento

Cemento tipo I: Ampliamente empleado en albañilería y construcciones de concreto que no exijan propiedades especiales.

Cemento puzolánico IP: Tipo de cemento que tiene un añadido de hasta 15 % de puzolana, el cual es el responsable de darle su color rojo, y se elabora a partir de

arcilla cocida, ladrillos pulverizados o cenizas volcánicas. Reemplazar parcialmente el cemento por este material tiene como ventaja retener la humedad y por lo tanto permitir una mayor adherencia. También ralentiza el fraguado siendo útil cuando se necesita más tiempo, como frotachar pisos de concreto.

Cemento tipo II: Cemento de resistencia moderada al ataque de los sulfatos, recomendado para uso en entornos corrosivos. Referente a los sulfatos, estos son sustancias que se encuentran en aguas subterráneas o el suelo y que se descomponen cuando entran en conexión con el concreto.

Cemento tipo III: Cemento de rápido desarrollo en su resistencia. Su uso es recomendado cuando se debe desencofrar antes de tiempo. Al solidificarse genera mucho calor, debido a esto es apta para climas fríos.

Cemento tipo IV: Genera poco calor durante el fraguado y se recomienda para vaciar bloques de concreto de gran tamaño. Su uso común, por ejemplo, es en presas de concreto.

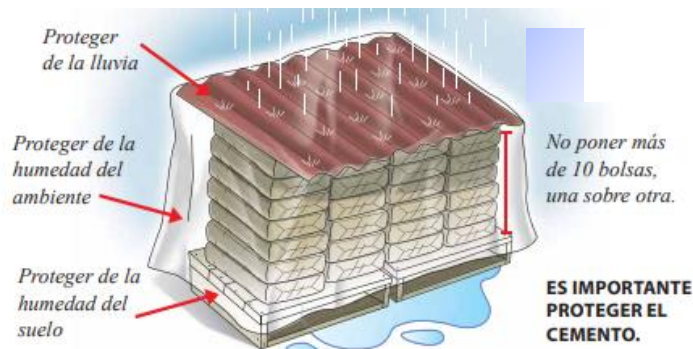
Cemento tipo V: Cemento muy resistente al ataque de sales, recomendado para uso cuando los elementos de concreto están expuestos al agua o ambientes salinos alcalinos.

Consideraciones para la protección del cemento

Comprar cemento con dos o más semanas de anticipación es un inconveniente. Se protege durante el almacenamiento para mantener sus propiedades. Por ello, es necesario cubrirlo que no quede expuesto a la humedad y aislarlo del suelo colocándolo sobre un pedestal de madera, como se puede mostrar en la Figura 1.

Figura 1

Protección del cemento



Nota. Figura adaptada de Aceros Arequipa.

La altura máxima al apilar cemento es de 10 sacos para que los sacos inferiores no se endurezcan bajo presión.

El período máximo recomendado de almacenamiento en el sitio es de un mes. Compruebe si hay grumos antes de usar. Si los hubiera, se puede usar cemento, siempre que se pueda separar fácilmente pellizcándolo con la punta de los dedos.

Al reaccionar con el agua, el cemento comienza a endurecerse y alcanza la resistencia especificada en el plan de construcción después de 28 días de mezclado, luego de lo cual la resistencia aumentará, pero en menor medida. Para ello, el cemento después del vaciado debe humedecerse varias veces al día durante la primera semana. Este proceso se llama curación.

2.2.3. Agregados

Los agregados conforman más del 70 % del volumen de un m³ de concreto, logrando que sea un componente de construcción muy económico (Sánchez, 1996; Rivva, 2000; Niño 2010).

Conforme Niño (2010), los agregados definen su calidad mediante el origen, distribución granulométrica, forma, densidad y superficie. Se catalogaron dos: agregado grueso y agregado fino, asignando en tamaño, el valor de 4,76 mm a 0,075 mm para el fino y 4,76 mm en adelante para el grueso.

Tamaño máximo

Se refiere al mínimo tamiz que pasa íntegramente la muestra de agregado.

Tamaño nominal máximo

Se refiere al mínimo tamiz que se origina el retenido primero.

Módulo de fineza

Erigido por Duff Abrams (1925) desde las granulometrías del material es posible captar una fineza promedio haciendo uso de la posterior expresión:

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

2.2.3.1. Clasificación

Según su origen

Los agregados consiguen ser naturales o artificiales, los naturales se consiguen de los acarrees glaciares, fluviales y de canteras de distintas rocas mientras que los artificiales se consiguen mediante tratamientos industriales, como las arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, otros (Sánchez, 1993; Niño, 2010).

- a. El agregado fino, se refiere al que pasa el tamiz 3/8 " y queda retenido en la malla N°200, siendo la arena, la más común, resultado de la disgregación de las rocas.
- b. El agregado grueso, se refiere al que queda retenido en el tamiz N°4 y se origina de la disgregación de las rocas; podría catalogarse en grava y piedra chancada.

Según su tamaño

Para clasificar los agregados naturales, el proceder más común es depende su tamaño tal como se muestra en la Tabla 2, conocido como granulometría variando desde fragmentos de milímetros incluso varios centímetros.

Tabla 2

Clasificación de agregados según su tamaño

Tamaño de las partículas en mm (Tamiz)	Denominación corriente	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
<0,002	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendable
0,002 – 0,074 (No. 200)	Limo		
0,075 – 4,76 (No. 200) – (No. 4)	Arena	Agregado fino	
4,76 – 19,1 (No. 4) – (3/4")	Gravilla	Agregado grueso	Material apto para producir concreto
19,1 – 50,8 (3/4") – (2")	Grava		
50,8 – 152,4 (2") – (6")	Piedra		
> 152,4 (6")	Rajón Piedra bola		

Nota. Tabla adaptada de Niño Hernández. Jairo René. Tecnología del concreto Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas.

Según su densidad

Conforme Sánchez (1996) la densidad pende de la medida de masa por unidad de volumen y del volumen de los poros, sea agregados naturales o artificiales. Se hace esta diferencia ya que afecta directamente la densidad del concreto que se elabora.

Forma de las partículas

Las clasificaciones de las partículas son redondas, irregulares, angular, escamosa, elongada y escamosa-elongada; pues la compactación de la mezcla solo no pende de la granulometría salvo del acomodamiento de estas fracciones.

2.2.4. Concreto reciclado

Según Norma Técnica Peruana NTP 400.053 (1999), se define al concreto reciclado como aquél cuyos áridos están compuestos por partículas de concreto, grava y arena parcial o totalmente reciclados. La obtención del concreto de demolición se hace mediante demolición manual o mecánica o mediante fresado de las construcciones civiles de concreto simple, andado o tensado. En la Tabla 3 se muestran los usos de acuerdo a la procedencia de elementos estructurales como edificaciones, muros de contención y/o sostenimiento, losas de pavimentos de concreto, etc.

Tabla 3

Usos de acuerdo a la procedencia del concreto de demolición

Usos	Procedencia		
	Concretos de mediana y baja resistencia	Losas de pavimentos	Concretos estructurales
Pavimentos de tráfico ligero	-	√	√
Ciclo vías	√	√	√
Losas deportivas	√	√	√
Veredas	√	√	√
Patios	√	√	√
Cimientos	√	√	√
Concreto simple masivo	√	√	√
Rellenos no portantes	√	√	√

Nota. Tabla adaptada de Norma Técnica Peruana 400.053 (1999).

2.2.5. Agua

El agua, un material importante en la elaboración del concreto, pues se relaciona con las propiedades como trabajabilidad, resistencia y también las del concreto endurecido.

Requisitos

El agua a usar en la mezcla requiere ser pulcra y estar exento de aceites, sales, álcalis, ácidos, material orgánico y cualquier sustancia que sea dañina.

2.2.5.1. Usos del agua

Agua para limpieza de agregados: Se refiere a la que se emplea en el procedimiento de trituración y eliminación residuos e impurezas de finos existentes. Debe encontrarse lo suficientemente lavado para no intervenir y contaminar los demás materiales que se tratan, tales como el exceso de partículas suspendidas que posteriormente perjudica la calidad del concreto.

Agua para mezcla: Se refiere a la que se adiciona con el cemento y los agregados. Para lograr la fluidez de la pasta esta pende de la medida de agua que se le adhiere, una vez endurecida, una fracción de agua permanecerá sujeta como parte de la estructura y la demás parte como agua libre. Entonces si la proporción de agua incrementa, la parte sujeta será la misma, pero acrecentará la libre y con esto su porosidad, pues como es sabido que, al pasar el tiempo, el agua libre procede a evaporarse y deja pequeños vacíos, lo que genera disminución de la resistencia y el concreto genera más permeabilidad.

Agua para curado: Se refiere a la que es necesaria para hidratar el concreto, cuando fragua, dependerá de la temperatura de ambiente porque a menor humedad, es mayor la evaporación; sabemos que el principal propósito del curado es mantener saturado al concreto.

2.2.5.2. Aguas recomendables

El agua utilizada para preparar y curar el concreto debe satisfacer los requerimientos de la norma NTP 334.088 y ser preferentemente potable; no existe un criterio uniforme para los límites aceptables de sustancias y sales en el agua a utilizar, es por eso, que podemos observar en la Tabla 4 a continuación los máximos valores aceptados para el agua que se usa en la realización del concreto.

Tabla 4

Sustancias presentes en el agua

Sustancias	PPM
Cloruros	300
Sulfatos	300
Sales de magnesio	150
Sales solubles totales	500
pH	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1,500
Materia orgánica	10

Nota. Se señala en la tabla los valores aceptados como máximos en partes por millón (PPM). Tabla adaptada de Materiales para el concreto – Enrique Rivva López (2000).

2.2.6. Ensayos de laboratorio

2.2.6.1. Contenido de humedad

Definición

La humedad del suelo o contenido humedad del suelo es la relación entre la masa de agua y la masa de sólidos para una determinada muestra de suelo, expresada como porcentaje.

Procedimiento

Tomar muestras de material de 400 a 600 gr, determinar la masa de agua removida y secar el suelo húmedo hasta masa constante en estufa controlada a 110 ± 5 °C por un período de 18 a 24 horas. El peso de la tierra que queda después del secado se usa como el peso de los gránulos. El peso del agua se considera como el peso perdido al secarse.

Cálculo

$$\% \text{ Humedad} = \% w = \frac{\text{Muestra húmeda} - \text{Muestra seca}}{\text{Muestra seca}} * 100 \quad (5)$$

2.2.6.2. Peso unitario de los agregados

Definición

Es el peso que alcanza una unidad de volumen determinada, que está influenciado por su peso específico, grado de compactación, granulometría, perfil y textura superficial. Suele expresarse en kilogramos por m³ de material.

Equipos

- Balanza
- Molde metálico
- Varilla metálica
- Bandejas
- Cucharón

Procedimiento

Se realiza el muestreo, cuarteo y secado al material en estudio, para la prueba de peso unitario suelto, se debe llenar el molde metálico con ayuda del cucharón de

manera constante hasta rebosar, vertiendo el material desde una altura máxima de 50 mm (2 "), el material sobrante se debe eliminar cuidadosamente con la varilla o regla metálica similar a la que se muestra en la Figura 2, evitando cualquier tipo de compactación. Para la prueba de peso unitario compactado, se deberá llenar la tercera parte del molde, luego el agregado se deberá nivelar y apisonar con la varilla metálica mediante 25 golpes uniformemente distribuidos sobre la superficie. Posteriormente, se deberá llenar hasta las dos terceras partes del recipiente y se deberá repetir el procedimiento, finalmente se llena hasta rebosar realizando el mismo procedimiento de compactación para luego enrasar con una regla o varilla metálica, al compactar las dos últimas capas se debe varillar solo la última capa de agregado colocado tal como se muestra en la Figura 3. Se determina el peso y el volumen del recipiente, además también el peso del recipiente más su contenido.

Cálculo

$$\text{Peso de la muestra} = \text{Peso de muestra y molde} - \text{Peso del molde} \quad (6)$$

$$\text{Peso unitario} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del molde}} \quad (7)$$

$$\text{Porcentaje de vacíos} = \frac{((\text{Peso específico} * \text{Peso unitario del agua}) - \text{Peso Unitario del suelo}) * 100}{\text{Peso específico} * \text{Peso unitario del agua}} \quad (8)$$

Figura 2

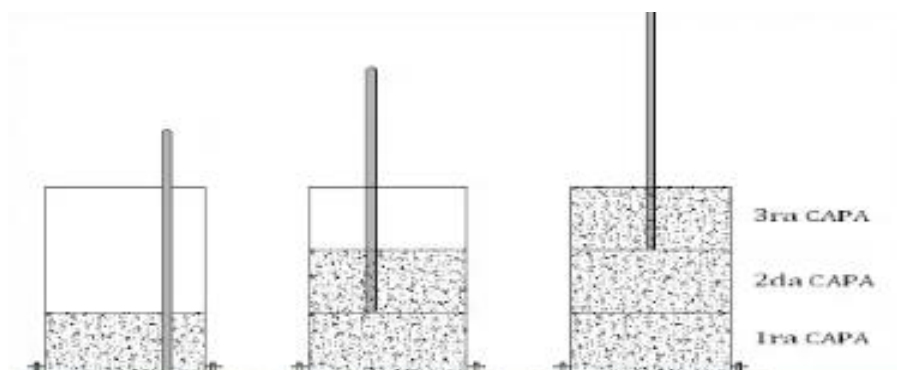
Molde y varilla metálica para ensayo de peso unitario



Nota. Equipos para elaboración del ensayo de peso unitario.

Figura 3

Varillado en ensayo de peso unitario compactado



Nota. Procedimiento correcto de varillado para elaboración del ensayo de peso unitario compactado.

2.2.6.3. Peso específico y absorción de los agregados

Definición

El peso específico se define como la cantidad de material que ocupa un volumen dado sin incluir los vacíos. El peso específico es igual a la densidad en este ensayo.

Equipos

- Balanza con aproximación de 0.1 gr
- Un cono con su respectivo pisón estandarizado
- Una fiola de 500 cm³ de capacidad
- Un horno a temperatura de 110 ± 5 °C

Procedimiento

Se cuartea y coloca una muestra representativa de agregado sumergido en agua por un tiempo de 24 horas, para el ensayo del agregado grueso se selecciona material retenido en el tamiz N° 4, transcurrido el tiempo se hace decantar el agua y se lleva a cabo lo siguiente:

Para el agregado fino: Se coloca el material sobre una superficie plana no absorbente en el sol para llevarlo a un estado saturado superficialmente seco (S.S.S.) tal como se muestra en la Figura 4, esta determinación se realiza con el cono y pisón estandarizado, se introduce la muestra en el cono por capas aplicando 25 pisonadas a cada una, se retira el cono verticalmente y si la muestra mantiene su forma quiere decir que aún se encuentra húmeda, en este caso se dejará airear la muestra, se realizara este proceso tantas veces hasta llegar a la condición saturado superficialmente seco, donde la muestra se debe desmoronar ligeramente. Luego, teniendo la muestra en estado S.S.S. se coloca en una fiola de capacidad de 500 cm³ y se llena de agua, se sumerge en baño maría para eliminar las burbujas de aire atrapadas, se deja enfriar y se pesa la fiola, además también se debe calcular el peso de la fiola solo con agua. *Para el agregado grueso:* Una vez decantada el agua, con la ayuda de un paño se absorbe toda partícula de agua visible, se llena una probeta con 500 mililitros de agua anotando este dato, se vierte la muestra y se determina el volumen desplazado de agua, se procede a registrar los datos. Para el ensayo de absorción, teniendo las muestras en estado saturado superficialmente seco (S.S.S.) se proceden a llevar al horno por 24 horas.

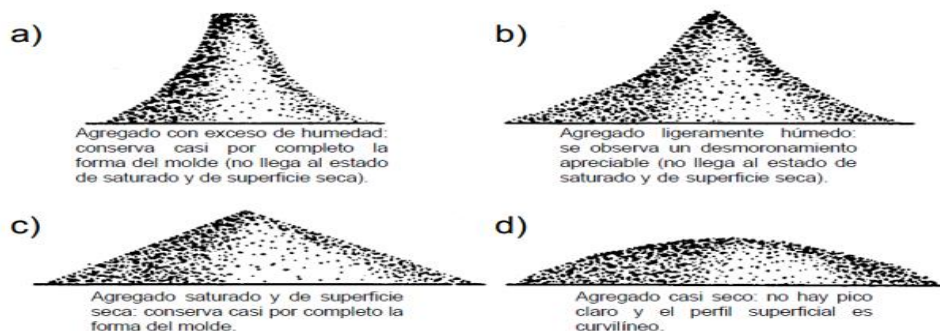
Cálculo

$$\text{Peso específico} = \frac{P}{V} = \frac{\text{Peso de la sustancia}}{\text{Volumen desplazado}} \quad (9)$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso en estado S.S.S.} - \text{Peso en estado seco}}{\text{Peso en estado seco}} * 100 \quad (10)$$

Figura 4

Comprobación del estado saturado superficialmente seco en agregados fino



Nota. Comprobación visual para obtener el estado saturado superficialmente seco. Norma Técnica Peruana 339.035.

2.2.6.4. Análisis granulométrico de agregados

Definición

Este método de ensayo se realiza para determinar cuantitativamente los tamaños siguiendo las normas.

Procedimiento

Se coloca una mezcla representativa al horno a una temperatura de 110 °C, transcurridas 24 horas se lleva la muestra al juego de tamices los que deben tener un orden decreciente desde la malla 1 ½ " hasta la malla N°04 (Figura 5). Se procede a agitar los tamices con la muestra contenida en un periodo mínimo de 15 minutos, concluido el proceso, se pesa las porciones retenidas en cada tamiz, mediante cálculos matemáticos se calculan los porcentajes retenidos parciales y acumulados, así también los porcentajes que pasan.

Equipos

- Tamices
- Balanza
- Horno

Cálculo

$$\% \text{ Retenidos} = \frac{\text{Peso retenido parcial por tamiz (gr)}}{\text{Peso seco total (gr)}} * 100 \quad (11)$$

Figura 5

Tamices de ensayo de granulometría



Nota. Tamices para ensayo granulométrico.

2.2.6.5. Abrasión Los Ángeles

Definición

Este ensayo se realiza para medir la degradación de los agregados minerales de grado estándar en un equipo o tambor giratorio de acero el cual incluye una cantidad específica de bolas de acero, como resultado de la abrasión o una combinación de acciones que incluyen impacto y trituración. Clasificación de las muestras de prueba. A medida que el tambor gira, las muestras y las bolas de acero son recolectadas por la brida de acero y transportadas hasta que son transportadas al otro lado del tambor, efectuando una trituración por impacto. Este ciclo se repite a medida que el equipo gira con todo su contenido. Después de una cantidad determinada de revoluciones, el material se retira del equipo y se tamiza para medir el porcentaje de pérdida por degradación.

Equipos

- Máquina de Los Ángeles
- Esferas de acero
- Balanza
- Tamiz

Procedimiento

Se realiza el muestreo, cuarteo y secado al material en estudio, se coloca la muestra con la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles similar a la que se observa en la Figura 6; haciéndolo girar con una velocidad entre 30 y 33 rpm, hasta completar 500 revoluciones. Transcurrido el tiempo se retira el agregado de la máquina y se pasa por el tamiz N° 12. El agregado retenido en el tamiz N° 12 debe lavarse y secarse en el horno a una temperatura entre 105 °C y 115 °C. Para realizar el pesaje final se debe esperar 24 horas después, con los finos eliminados.

Cálculo

$$\text{Porcentaje de pérdida} = \frac{\text{Peso inicial (gr)} - \text{Peso final (gr)}}{\text{Peso inicial (gr)}} * 100 \quad (12)$$

Figura 6

Máquina de Los Ángeles para ensayo de degradación



Nota. Equipo para la elaboración del ensayo de abrasión.

2.2.6.6. Asentamiento del concreto “Slump”*Definición*

La prueba de asentamiento del concreto, también conocido como ensayo de cono de Abrams es un método de control de calidad cuyo objetivo principal es medir la consistencia del concreto. El asentamiento es una medida de la consistencia del concreto, se refiere a qué tan fluida es la mezcla e indica el grado de sequedad o fluidez del concreto.

Equipos

Molde (Cono de Abrams): Los moldes están hechos de metal impermeable al cemento en pasta, tienen un espesor mínimo de 1,5 mm y tienen forma de conos truncados abiertos en ambos extremos. Las dos bases son paralelas entre sí, el diámetro de la base inferior es de 20 cm y el diámetro de la base superior es de 10 cm, en ángulo recto con el eje del cono. Tiene una altura de 30 cm y se proporcionarán asas de aleta para los pies, de acuerdo a la Figura 7.

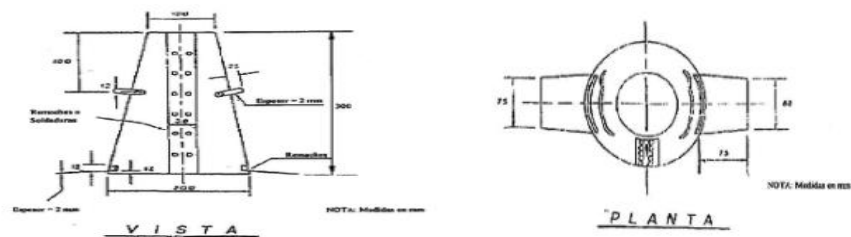
Barra compactadora: La barra compactadora es una barra lisa de acero con un diámetro de 16 mm, de 60 cm de longitud aproximadamente y con una punta semiesférica en su final.

Procedimiento

Una cantidad de concreto fresco compactado y varillado se vierte en el molde en forma de cono trunco y el molde se levanta para dejar caer el concreto. El espacio entre la posición inicial y la posición de desplazamiento se debe medir en el centro de la superficie del concreto y se reporta como asentamiento del concreto, tal como se muestra en la Figura 8.

Figura 7

Molde de ensayo para asentamiento



Nota. Figura adaptada de Norma Técnica Peruana 339.035.

Figura 8

Verificación de asentamiento del concreto



Nota. Procedimiento correcto para la determinación de asentamiento de la muestra.

2.2.6.7. Elaboración en el laboratorio de muestras de concreto

Equipos

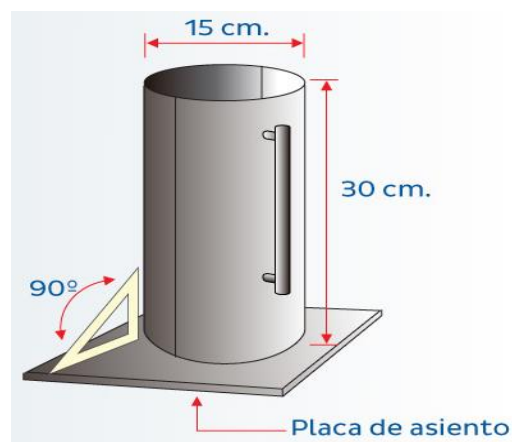
- Moldes cilíndricos
- Martillo de goma
- Barra compactadora
- Pala, regla metálica y petróleo

Procedimiento

Los moldes de medidas tal como se muestran en la Figura 9, se deben limpiar y su superficie interior de deberá lubricar con el petróleo, se coloca en los moldes el concreto llenando una primera capa de la tercera parte del molde aproximadamente, con la barra se chucea 25 veces y se debe golpear 12 veces el molde en su alrededor con el martillo de goma, luego se procede a realizar el mismo procedimiento llenando la segunda y tercera capa. Una vez, completado el llenado se enrasa las probetas con ayuda de una regla metálica, los moldes deben permanecer en un ambiente húmedo durante 24 horas, transcurrido este tiempo se desmolda y coloca las probetas de concreto en una poza para realizar el curado, donde debe estar llena de agua potable hasta cubrir totalmente las probetas.

Figura 9

Molde cilíndricos y medidas estándares para elaboración de briquetas



Nota. Molde cilíndrico y medidas estándares para muestras de concreto.

2.2.6.8. Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos

Definición

Este método está relacionado con el uso de compresión axial para cilindros formados a una velocidad estándar dentro del rango propuesto para que ocurra la falla. Para calcular la resistencia a la compresión de la muestra la fracción de la carga máxima alcanzada en el proceso de prueba se divide entre el área de la muestra directamente.

Equipos

- Máquina de compresión
- Indicador de carga
- Bloques de carga

Procedimiento

Una vez las probetas cumplieron la etapa de curado, se deben retirarlas y ponerlas a secar en condiciones ambiente. Luego por cada muestra se procede a tomar las dimensiones, así como la altura, el diámetro y el peso; estos datos nos ayudarán a calcular el área y volumen de la probeta.

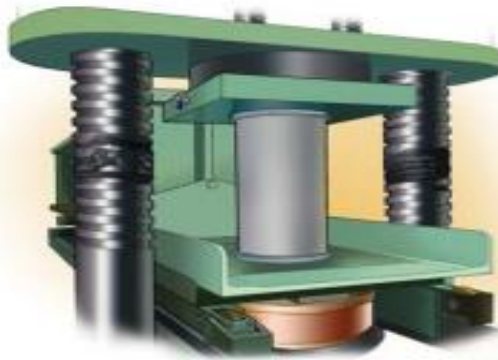
Se introducen las muestras en la máquina de compresión similar a la mostrada en la Figura 10, de forma centrada hasta completar la rotura, la compresión será aplicada a una velocidad de movimiento correspondiendo a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de 2.00 a 3.00 kg/cm²*s y de esta forma se obtendrá la carga, con la cual podremos obtener la resistencia a la compresión de la muestra de concreto.

Cálculo

$$f'_c = \frac{\text{Máxima carga aplicada (kg)}}{\text{Área de la sección (cm}^2\text{)}} \quad (13)$$

Figura 10

Procedimiento de ensayo de compresión para briquetas



Nota. Equipo y colocación de briquetas para ensayo de compresión.

2.2.7. Método ACI

Es una forma de procedimiento para obtener la dosificación en el diseño de mezclas del concreto, basándose en establecer y proporcionar el peso y volumen de materiales, los cuales son: agregado fino, grueso, cemento y agua. Previo a diseñar la mezcla, es necesario haber obtenido datos preliminares sobre el tipo de construcción y los tipos de materiales a utilizarse para esta.

El comité ACI 211 ha desplegado un proceso de diseño de mezclas sencillo, al establecer los datos en ciertas tablas siendo posible obtener los valores de los distintos materiales que integran un m³ de concreto.

Secuencia de diseño

Paso 1: Cálculo de resistencia promedio requerida (f'_{cr})

El cálculo de resistencia promedio requerida se puede hallar de acuerdo a la Tabla 5 que se presenta a continuación.

Tabla 5*Resistencia promedio requerida*

$f'c$ (kg/cm²)	$f'cr$ (kg/cm²)
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
Sobre 350	$1,1 f'c + 50$

Nota. Tabla adaptada de Norma E060 - Concreto Armado (2009).**Paso 2: Selección del asentamiento**

El asentamiento según tipo de construcción se selecciona de acuerdo a la Tabla 6, en el caso que las especificaciones de obra no indiquen el asentamiento, mediante la siguiente tabla podemos elegir el valor correspondiente para el trabajo a realizar.

Tabla 6*Asentamientos recomendados según tipo de construcción*

Tipo de construcción	Máximo (")	Mínimo (")
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3	1
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	3	1
Vigas y muros reforzados	4	1
Columnas de edificios	4	1
Pavimentos y losas	3	1
Concreto ciclópeo	2	1

Nota. Tabla adaptada de ACI 211 (2002).

Los valores mostrados anteriormente se utilizarán cuando la vibración sea el método de consolidación.

Cuando estos métodos sean distintos de vibración, los valores se pueden incrementar en 1 ". A su vez los concretos bombeables requieren como mínimo tener 5 " de asentamiento. El asentamiento según consistencia se evalúa de acuerdo a la Tabla 7.

Tabla 7

Asentamiento según consistencia

Consistencia	Asentamiento (")
Seca	0 a 2
Plástica	3 a 4
Fluida	= o > 5

Nota. Tabla adaptada de ACI 211 (2002).

Paso 3: Elección del tamaño máximo nominal del agregado

Aquel concreto con mayor dimensión de agregado, necesita menor medida de mortero por m³ que, otro de tamaño menor. El tamaño máximo del agregado requiere ser de mayor dimensión y que a su vez sea económicamente similar con el tamaño de la estructura, de tal manera que la dimensión del tamaño máximo del agregado grueso no sea mayor a:

- 1/5 de la dimensión más angosta entre las caras del encofrado.
- 1/3 del espesor de las losas.
- 3/4 de la distancia libre entre las barras o paquetes de barras o cables pretensores.

Paso 4: Estimación del agua de mezclado y contenido del aire

Para alcanzar el asentamiento elegido, la proporción de agua necesaria por m³ de concreto pende del tamaño máximo, textura, perfil y granulometría de los

agregados, también como la cuantía de aire adherido, más no perjudicada por la de cemento.

La tabla 8, muestra la primera estimación del agua para la mezcla realizada con distintos tamaños máximos de agregado con o sin incorporación de aire, a su vez nos muestra que no considera la granulometría ni textura de los agregados; y también la aproximación de una cantidad de aire atrapado en concreto sin aire adherido.

Tabla 8

Requerimientos de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados

Asentamiento o Slump	Agua de litros/m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1/2"	2"	3"	6"
	Concreto sin aire incorporado							
1" a 2"	205	200	185	180	160	155	145	125
3" a 4"	225	215	200	195	175	170	160	140
6" a 7"	240	230	210	205	185	180	170	
Cantidad aproximada de aire atrapado, en %	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	180	175	165	160	145	140	135	120
3" a 4"	200	190	180	175	160	155	150	135
6" a 7"	215	205	190	185	170	165	160	
Contenido total de aire incorporado en % (exposición suave)	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Contenido total de aire incorporado en % (exposición moderada)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Contenido total de aire incorporado en % (exposición severa)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Nota. Tabla adaptada de ACI 211 (2002).

Paso 5: Selección de la relación agua/cemento

La previamente hallada resistencia promedio (f'_{cr}) requiere superar la resistencia establecida en los planos (f'_c), en la aproximación como para preservar la cantidad de ensayos dentro de los límites detallados, para elegir la relación agua-cemento se debe usar la Tabla 9.

Tabla 9

Relación agua-cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días (f'_{cr}) (kg/cm ²)	Relación de agua – cemento diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0,38	-
400	0,43	-
350	0,48	0,4
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,7	0,61
150	0,8	0,71

Nota. Tabla adaptada de ACI 211 (2002).

Paso 6: Cálculo del contenido de cemento

La proporción de cemento por unidad de volumen de concreto es igual a la división de agua de mezcla (*Paso 4*) sobre la relación agua – cemento (*Paso 5*).

$$\text{Contenido de cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Agua de mezclado (kg/m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c}} \quad (14)$$

Paso 7: Hallar el contenido de aire atrapado

En la Tabla 10, se muestra el aire incorporado aproximado que se espera para el concreto sin aire y el contenido de aire total promedio recomendado por el concreto que incorpora aire intencionalmente para una mayor durabilidad.

Tabla 10*Porcentaje de aire atrapado*

Tamaño máximo nominal del agregado grueso (")	Aire atrapado (%)
3/8	3,0
1/2	2,5
3/4	2,0
1	1,5
1 1/2	1,0
2	0,5
3	0,3
4	0,2

Nota. Tabla adaptada de ACI 211 (2002).*Paso 8:* Hallar el contenido de agregado grueso

Los volúmenes mostrados de agregado grueso en la Tabla 11, se encuentran en estado seco y compactado, estos fueron seleccionados mediante relaciones ideales para elaborar concretos de forma trabajable.

Tabla 11*Módulo de fineza del agregado fino*

Tamaño máximo de agregado grueso (")	Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferencias módulos de fineza de agregado fino, b/bo			
	Módulo de fineza del agregado fino			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	0,66	0,64	0,62	0,60
1	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	0,76	0,74	0,72	0,70
2	0,78	0,76	0,74	0,72
3	0,81	0,79	0,77	0,75
6	0,87	0,85	0,83	0,81

Nota. Tabla adaptada de ACI 211 (2002).

Una vez adquirido b/b_o se calcula la proporción de agregado grueso al multiplicarlo por el determinado valor del Peso Unitario Seco Compactado (PUSC) del agregado grueso.

$$\text{Peso agregado grueso} = \frac{b}{b_o} * PUSC \quad (15)$$

Paso 9. Hallar el contenido de agregado fino

Para definir el volumen de agregado fino, se debe calcular el resto de volúmenes de componentes, entre las cantidades de los pesos específicos, para posteriormente restarle la sumatoria de estos a un m^3 . Entonces se multiplica por su peso específico para conocer la cantidad.

$$\text{Volumen absoluto} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso específico}} \quad (16)$$

$$\text{Peso absoluto agregado fino} = 1 - \sum \text{Peso absoluto}_{(\text{cemento, agua, aire, ag. grueso})} \quad (17)$$

Paso 10. Corrección por humedad

Aplicando las fórmulas siguientes, determinamos los pesos húmedos de nuestros agregados:

$$\text{Peso agregado} = \text{Peso seco agregado} * \left(1 + \frac{\%w}{100}\right) \quad (18)$$

Paso 11. Corrección por absorción – agua efectiva

Los aportes de agua de los agregados serán:

$$\text{Agua en agregado} = \text{Peso seco agregado} * \left(\frac{\%w - \%a}{100}\right) \quad (19)$$

Estos determinados aportes se disminuyen a la cantidad de agua, de esta manera logramos los pesos por m^3 de los materiales en su totalidad.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Concreto

Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos (NTE E.060 Concreto Armado, 2009, p. 26).

2.3.2. Concreto reciclado

El concreto reciclado es aquel concreto cuyos agregados provengan parcial o completamente de granulados de concreto, gravas y arenas de reciclaje (NTP 400.053, 1999, p. 2).

2.3.3. Agregado

Material granular, de origen natural o artificial, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico (NTE E.060 Concreto Armado, 2009, p. 25).

2.3.4. Diseño de mezcla

Es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados.

2.3.5. Método del American Concrete Institute (A.C.I.)

El método del American Concrete Institute se basa en tablas empíricas mediante las cuales se determinan las condiciones de partida y la dosificación (Cfr. American Concrete Institute, 1998).

2.3.6. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) (Cemex, 2019, párrafo 1).

2.3.7. Construcciones ecoeficientes

Una construcción ecoeficiente consume menos recursos y reduce la contaminación. (Acciona, párrafo 3).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es explicativo ya que desarrollaremos el comportamiento de la resistencia a la compresión en función de los niveles de concreto reciclado, logrando comprender e interpretar los diferentes resultados que se obtengan.

El nivel de la investigación es aprehensivo y el diseño de investigación es diseño de laboratorio debido a que analizaremos las resistencias a la compresión que alcanzará cada testigo de concreto y de esta manera obtener los resultados con mayor confiabilidad mediante los ensayos que se realizarán en el laboratorio de mecánica de suelos.

3.2. Muestra de estudio

Muestra no probabilística de la cantidad de concreto usado para las pruebas.

3.3. Operacionalización de variables

a. Variable independiente

Niveles de concreto reciclado

b. Variable dependiente

Resistencia a la compresión

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Ensayos de laboratorio

3.4.1. Ensayo de granulometría

Se procedió a cuartear el material en estudio, luego se eligió una cantidad de aproximadamente 350 gr para el agregado fino, 2500 gr para el agregado grueso (piedra chancada) y concreto reciclado.

Se seleccionaron los tamices para cada tipo de agregado establecidos en la norma, ordenándolos en forma descendente (Figura 11). Teniendo los instrumentos preparados se agitó durante 15 minutos (Figura 12), finalizado este proceso, se pesaron las cantidades retenidas en cada tamiz para realizar los cálculos respectivos del ensayo (Figura 13, 14 y 15).

Figura 11

Molde de ensayo para asentamiento



Nota. Colocación de la muestra en los tamices de ensayo

Figura 12

Agitado del juego de tamices



Nota. Proceso de agitado de los tamices

Figura 13

Agregado fino



Nota. Clasificación por peso retenido de cada tamiz.

Figura 14

Agregado grueso convencional



Nota. Clasificación por peso retenido de cada tamiz.

Figura 15

Agregado grueso – concreto reciclado



Nota. Clasificación por peso retenido de cada tamiz.

3.4.2. Ensayo de contenido de humedad

Se seleccionó una cantidad de aproximadamente 500 gr para cada tipo de agregado, se registraron los pesos de las taras y de estas con el material para posteriormente llevarlas al horno por un periodo de 24 horas a una temperatura de 110 °C (Figura 16). Trascurrido el tiempo, se retiró y dejó enfriar las muestras para luego pesarlas y anotar los datos (Figura 17, 18 y 19).

Figura 16

Colocación de muestras en el horno



Nota. Proceso de colocación de muestras al horno.

Figura 17

Contenido de humedad de agregado fino



Nota. Determinación del peso de la muestra secada al horno.

Figura 18

Contenido de humedad de agregado grueso



Nota. Determinación del peso de la muestra secada al horno.

Figura 19

Contenido de humedad de concreto reciclado



Nota. Determinación del peso de la muestra secada al horno.

3.4.3. Ensayo de peso unitario

Se cuartearon los agregados y se seleccionó una cantidad característica.

Peso unitario suelto

Se vertió el material en el recipiente con un cucharón y se enrasó con una varilla para que no presente excedentes, luego se procedió a pesar en la balanza registrando los datos.

Peso unitario compactado

Se vertió el material en el recipiente en 3 capas iguales y en cada una se compactó con una varilla metálica con 25 golpes uniformemente en forma de espiral y se enrasó con la misma varilla para que no presente excedentes (Figura 20), para luego pesarlo y anotar sus datos.

Figura 20

Proceso de varillado para peso unitario compactado



Nota. Varillado por capas para el ensayo de la muestra.

3.4.4. Ensayo de peso específico y absorción

Se cuartearon los agregados y se seleccionaron cantidades representativas para la realización del ensayo, para el agregado grueso se seleccionó material retenido por el tamiz N°4 y se procedió a sumergir los agregados en agua a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas. Transcurrido el tiempo se retiró el agua para ambos agregados y con un paño se absorbió toda partícula de agua visible para el agregado grueso.

Peso específico y absorción para agregado fino

Se colocó el agregado fino sobre una superficie plana no absorbente en el sol para llevarlo a un estado saturado superficialmente seco (S.S.S.), para comprobar si llegó a esta condición, se colocó un molde cónico y se procedió a llenarlo por capas golpeando 25 veces cada una con ayuda de la barra compactadora (Figura 21), se retiró el molde verticalmente y la muestra presentó una ligera caída, esto indica que llegó al estado S.S.S. (Figura 22), se dejan las muestras en el horno por 24 horas y se pesan anotando los datos para hallar la absorción, para el peso específico se colocaron las muestras en una fiola y se llenaron con agua, para eliminar las burbujas de aire atrapadas se sumergió las fiolas en baño maría (Figura 23), se dejó enfriar y se llenó hasta llegar a los 500 mililitros para luego pesar las fiolas. También se pesaron las fiolas solo con agua para pesarlo y anotar los datos.

Figura 21

Verificación de estado saturado superficialmente seco de agregado fino



Nota. Para realizar el ensayo de peso específico la muestra debe estar en estado S.S.S.

Figura 22

Agregado fino en estado saturado superficialmente seco



Nota. La muestra se encuentra en estado S.S.S.

Figura 23

Proceso para eliminación de vacíos de agregado fino



Nota. La eliminación de vacíos se realiza con ayuda de una estufa.

Peso específico y absorción para agregado grueso

Se llenaron las probetas con 500 mililitros de agua anotando este dato, se vertieron las muestras dentro de estas para determinar el volumen desplazado (Figura 24 y 25), registrando estos datos para los cálculos respectivos.

Figura 24

Llenado de probeta con agregado grueso convencional



Figura 25

Llenado de probeta con agregado grueso de concreto reciclado



3.4.5. Ensayo de abrasión de Los Ángeles

Se realizó el muestreo y cuarteo del agregado grueso, se separaron por tamices en 4 cantidades similares de 1250 grs cada una, teniendo así aproximadamente un total de 5000 gr (Figura 26 y 27). Se vertieron las cantidades en la máquina de Los Ángeles junto a las esferas de acero, haciéndolo girar a una velocidad entre 30 y 33 RPM hasta llegar a 500 revoluciones durante 15-20 minutos (Figura 28 y 29), después del tiempo determinado se retiró el material y se hizo tamizar por la malla N°12 (Figura 30), el material retenido fue pesado y registrado para los cálculos respectivos.

Figura 26

Muestras tamizadas para ensayo de abrasión de Los Ángeles



Figura 27

Muestras para ensayo de abrasión de Los Ángeles



Figura 28

*Vaciado de muestras en máquina de Los
Ángeles*

**Figura 29**

*Retiro de esferas de acero para estudio
de la muestra*



Figura 30

Tamizado de muestra por malla N°12



3.4.6. Elaboración de probetas de concreto

La elaboración de probetas de concreto se realizó de acuerdo a los diseños de mezcla obtenidos previamente, teniendo listo los materiales pesados de cada diseño, se verificó que la mezcladora mecánica se encuentre limpia, se añadió una pequeña parte de agua, luego los agregados, el cemento y por último lo que resta del agua, se esperó que la mezcla se vea homogénea por un tiempo aproximado de 5 minutos, se vertieron las mezclas en una carretilla limpia de impurezas, tal como se muestra en la Figura 31.

Se llenaron los moldes hasta un tercio de la altura, compactando a continuación con la varilla metálica mediante 25 golpes repartidos uniformemente en forma espiral, el proceso se repitió con dos capas siguientes, cuidando que la varilla penetre hasta la capa precedente no más de 1 pulgada, después de consolidar cada capa, se procedió a golpear ligeramente las paredes del molde utilizando un martillo de goma para eliminar los vacíos que pudieron haber quedado, luego se procedió a enrasar el borde superior del molde, como se visualiza en la Figura 33.

También para cada diseño de mezcla se realizó el ensayo de asentamiento para asegurar una mezcla plástica trabajable como se muestra en la Figura 32. Durante las primeras 24 horas se almacenaron a temperatura ambiente, transcurrido

este tiempo, todas las probetas fueron desmoldadas y colocadas en el pozo cubriéndolas totalmente de agua, para iniciar con el proceso del fraguado.

Figura 31

Elaboración de mezcla de concreto



Figura 32

Elaboración de ensayo de asentamiento



Figura 33

Elaboración de briquetas de concreto



3.4.7. Ensayo de resistencia a la compresión

Para la rotura a los 7, 14 y 28 días, se realizó el retiro de las probetas a ser ensayadas, procediendo a limpiar las partículas de agua con una franela como se muestra en la Figura 34, luego se realizaron 2 mediciones a la altura media del espécimen y se ingresaron a la máquina compresora para obtener la fuerza adjudicada al momento del fallo, como se muestran en la Figura 35 y Figura 36.

Figura 34

Eliminación de partículas de agua



Figura 35

Traslado de briquetas junto al equipo de compresión

**Figura 36**

Ingreso de briqueta para ensayo de compresión



3.4.8. Costo de obtención de concreto reciclado

Para determinar la influencia económica de la obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones y poder reutilizarlo en nuevos proyectos, se necesita describir el procedimiento de fabricación de este mismo. Es por eso que, presentamos la siguiente alternativa de tratamiento.

Una vez conocida la zona donde se sitúa el material demolido, el *primer proceso* es el carguío y traslado al lugar destinado para su tratamiento, el cual será realizado con la maquinaria correspondiente.

El *segundo proceso* es la reducción y limpieza de nuestro material donde se buscará la eliminación de contaminantes e impurezas como pueden ser ladrillos, trozos de madera, yeso, selladores de juntas, plásticos y en especial los aceros embebidos en el concreto, con ayuda de herramientas manuales y equipos correspondientes se disminuye a un tamaño máximo de 20 " debido a la dimensión de entrada permitida de nuestra trituradora.

Posteriormente, como *tercer proceso* se somete al chancado primario con la trituradora, consiguiendo un tamaño aproximado de 2 " a 3 ", pero como ya es de conocimiento, el uso común de tamaño para la elaboración de la mezcla es de ½ ", por lo tanto, como *cuarto proceso* se realiza el chancado secundario utilizando la maquinaria necesaria para así obtener el tamaño que deseamos.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Resultados del ensayo de granulometría

Se presentan los resultados del ensayo de granulometría de los diferentes agregados, los cuales son: Agregado fino, agregado grueso convencional y agregado grueso de concreto reciclado en la Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14 respectivamente. Así también, se presenta la curva granulométrica en la Figura 37, Figura 38 y Figura 39.

Tabla 12

Resultados de granulometría para el agregado fino

Tamices	Abertura (mm)	Peso retenido (kg)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Que pasa (%)
No. 4	4,750	0,025	7,16	7,16	92,84
No. 8	2,360	0,037	10,58	17,74	82,26
No. 16	1,180	0,039	10,89	28,64	71,36
No. 30	0,600	0,049	13,92	42,56	57,44
No. 50	0,300	0,074	21,02	63,58	36,42
No. 100	0,150	0,070	19,72	83,31	16,69
No. 200	0,075	0,035	9,76	93,07	6,93
Fondo		0,025	6,93	100,00	0,00
Muestra inicial (kg)		0,353			

Figura 37

Curva granulométrica de agregado fino

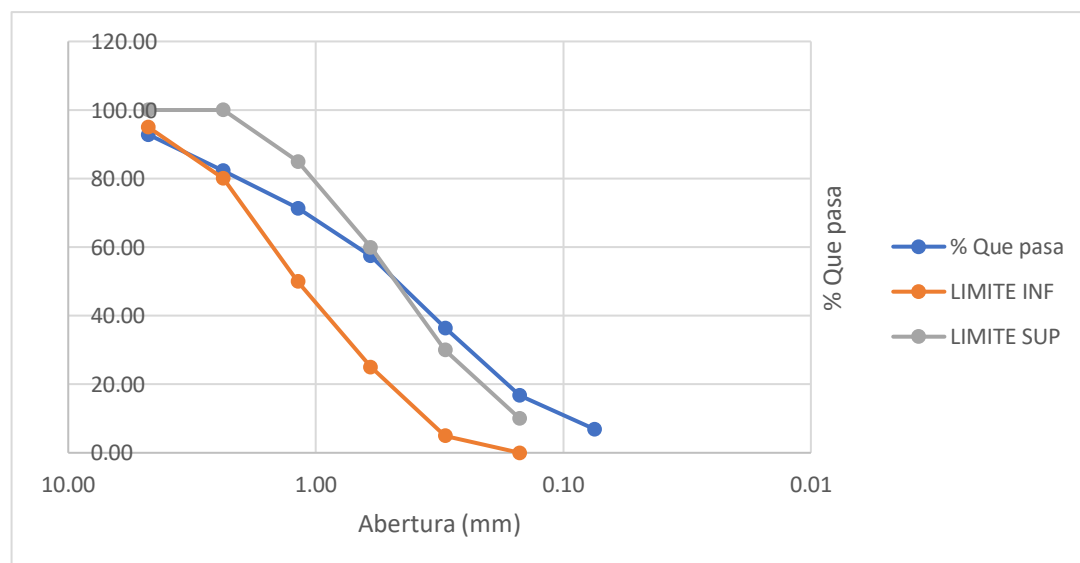


Tabla 13

Resultados de granulometría para el agregado grueso convencional

Tamices	Abertura (mm)	Peso retenido (kg)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Que pasa (%)
No. 2	50,800	0,000	0,00	0,00	100,00
No. 1 ½	38,100	0,000	0,00	0,00	100,00
No. 1	25,400	0,000	0,00	0,00	100,00
No. ¾	19,050	0,000	0,00	0,00	100,00
No. ½	12,700	0,624	23,58	23,58	76,42
No. 3/8	9,525	0,888	33,53	57,11	42,89
No. 4	4,760	1,107	41,81	98,93	1,07
Fondo		0,028	1,07	100,00	0,00
Muestra inicial (kg)		2,648			

Figura 38

Curva granulométrica de agregado grueso convencional

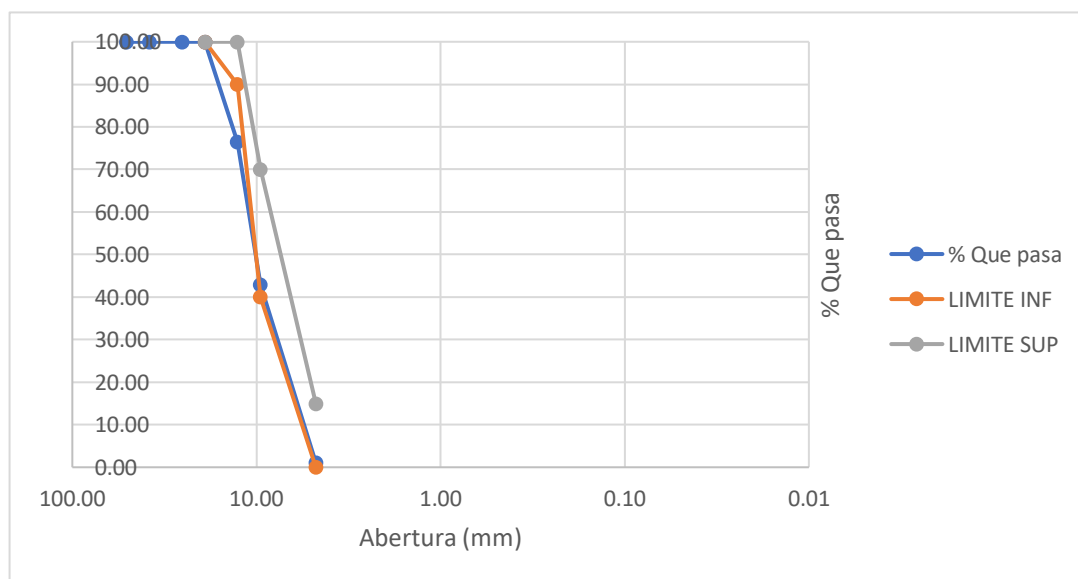


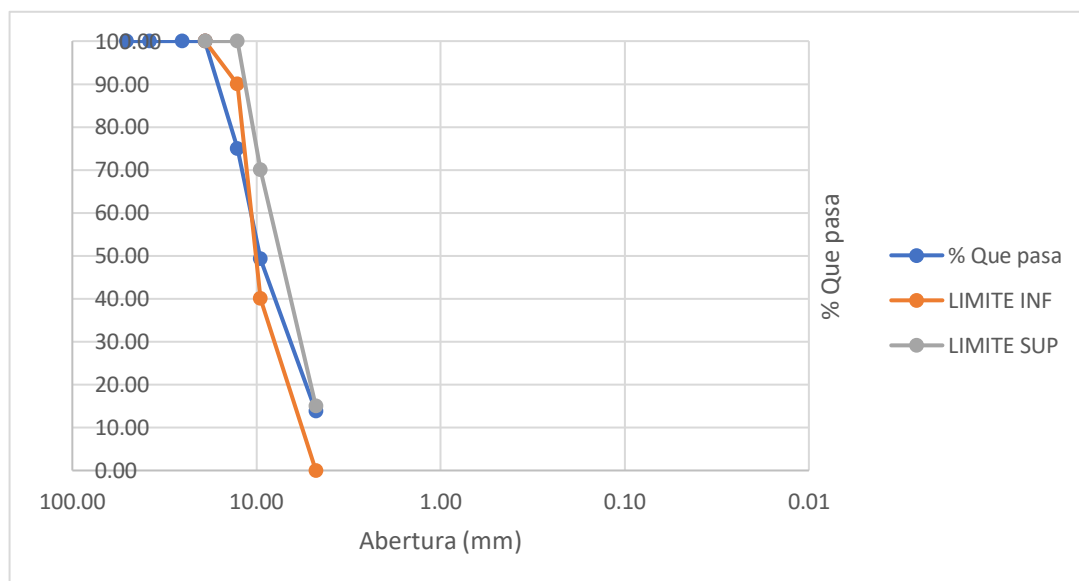
Tabla 14

Resultados de granulometría para el agregado grueso de concreto reciclado

Tamices	Abertura (mm)	Peso retenido (kg)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Que pasa (%)
No. 2	50,800	0,000	0,00	0,00	100,00
No. 1 ½	38,100	0,000	0,00	0,00	100,00
No. 1	25,400	0,000	0,00	0,00	100,00
No. ¾	19,050	0,000	0,00	0,00	100,00
No. ½	12,700	0,662	25,01	25,01	74,99
No. 3/8	9,525	0,681	25,72	50,73	49,27
No. 4	4,760	0,940	35,51	86,25	13,75
Fondo		0,364	13,75	100,00	0,00
Muestra inicial (kg)		2,647			

Figura 39

Curva granulométrica de agregado grueso concreto reciclado



3.5.2. Resultados de módulo de fineza

Se presentan los resultados de módulo de fineza de los diferentes agregados, los cuales son: Agregado fino, agregado grueso convencional y agregado grueso de concreto reciclado en la Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17 correspondientemente.

Tabla 15

Resultados de módulo de fineza para el agregado fino

Tamices	Abertura (mm)	Retenido acumulado (%)	Módulo de fineza
No. 4	4,750	7,16	
No. 8	2,360	17,74	
No. 16	1,180	28,64	2,43
No. 30	0,600	42,56	
No. 50	0,300	63,58	
No. 100	0,150	83,31	

Tabla 16

Resultados de módulo de fineza para el agregado grueso convencional

Tamices	Abertura (mm)	Retenido acumulado (%)	Módulo de fineza
No. 3/8	9,525	57,11	
No. 4	4,750	98,93	
No. 8	2,360	100,00	
No. 16	1,180	100,00	6,56
No. 30	0,600	100,00	
No. 50	0,300	100,00	
No. 100	0,150	100,00	

Tabla 17

Resultados de módulo de fineza para el agregado grueso concreto reciclado

Tamices	Abertura (mm)	Retenido acumulado (%)	Módulo de fineza
No. 3/8	9,525	50,75	
No. 4	4,750	80,15	
No. 8	2,360	100,00	
No. 16	1,180	100,00	6,31
No. 30	0,600	100,00	
No. 50	0,300	100,00	
No. 100	0,150	100,00	

3.5.3. Resultados del ensayo de contenido de humedad

Se presentan los resultados de contenido de humedad de los diferentes agregados, los cuales son: Agregado fino, agregado grueso convencional y agregado grueso de concreto reciclado en la Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20 correspondientemente.

Tabla 18

Resultados de contenido de humedad para el agregado fino

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso tara	gr	86,7	58,6	53,4	
Peso tara + ag. húmedo	gr	586,7	558,6	553,4	
Peso tara + ag. seco	gr	583,1	555,6	550,1	
Contenido de humedad	%	0,725	0,604	0,664	0,664

Tabla 19*Resultados de contenido de humedad para el agregado grueso convencional*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso tara	gr	156,2	162,6	155,6	
Peso tara + ag. húmedo	gr	656,2	662,6	655,6	
Peso tara + ag. seco	gr	654,8	661,2	654,4	
Contenido de humedad	%	0,281	0,281	0,241	0,268

Tabla 20*Resultados de contenido de humedad para el agregado grueso concreto reciclado*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso tara	gr	156,2	162,6	155,6	
Peso tara + ag. húmedo	gr	756,9	733,6	706,2	
Peso tara + ag. seco	gr	733,4	708,1	683,8	
Contenido de humedad	%	4,071	4,675	4,241	4,329

3.5.4. Resultados del ensayo de peso unitario

Se presentan los resultados del ensayo de peso unitario suelto de los diferentes agregados, los cuales son: Agregado fino, agregado grueso convencional y agregado grueso de concreto reciclado en la Tabla 21, Tabla 23 y Tabla 25 correspondientemente. Así también, los resultados del ensayo de peso unitario compactado, en la Tabla 22, Tabla 24 y Tabla 26.

Tabla 21*Resultados de peso unitario suelto del agregado fino*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen del molde	cm ³	9446,36	9446,36	9446,36	
Peso del molde	gr	4474,00	4474,00	4474,00	
Peso ag. fino suelto + molde	gr	20747,00	20646,17	20835,10	
Peso unitario suelto (P.U.S)	gr/cm ³	1,723	1,712	1,732	1,722

Tabla 22*Resultados de peso unitario compactado del agregado fino*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen del molde	cm ³	9446,36	9446,36	9446,36	
Peso del molde	gr	4474,00	4474,00	4474,00	
Peso ag. fino compactado + molde	gr	22082,02	22152,00	22214,26	
Peso unitario compactado (P.U.C)	gr/cm ³	1,864	1,871	1,878	1,871

Tabla 23*Resultados de peso unitario suelto del agregado grueso convencional*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen del molde	cm ³	9446,36	9446,36	9446,36	
Peso del molde	gr	4474,00	4474,00	4474,00	
Peso ag. grueso suelto + molde	gr	17207,69	17142,00	17075,44	
Peso unitario suelto (P.U.S)	gr/cm ³	1,348	1,341	1,334	1,341

Tabla 24*Resultados de peso unitario compactado del agregado grueso convencional*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen del molde	cm ³	9446,36	9446,36	9446,36	
Peso del molde	gr	4474,00	4474,00	4474,00	
Peso ag. grueso compactado + molde	gr	18586,86	18482,95	18527,00	
Peso unitario compactado (P.U.C)	gr/cm ³	1,494	1,483	1,488	1,488

Tabla 25*Resultados de peso unitario suelto del agregado grueso concreto reciclado*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen del molde	cm ³	9422,11	9422,11	9422,11	
Peso del molde	gr	4458,00	4458,00	4458,00	
Peso con. reciclado suelto + molde	gr	15340,54	15432,00	15510,14	
Peso unitario suelto (P.U.S)	gr/c m ³	1,155	1,165	1,173	1,165

Tabla 26*Resultados de peso unitario compactado del agregado grueso concreto reciclado*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen del molde	cm ³	9422,11	9422,11	9422,11	
Peso del molde	gr	4458,00	4458,00	4458,00	
Peso con. reciclado compactado + molde	gr	17592,42	17667,79	17634,00	
Peso unitario compactado (P.U.C)	gr/cm ³	1,394	1,402	1,398	1,398

3.5.5. Resultados del ensayo de peso específico

Se presentan los resultados del ensayo de peso específico de los diferentes agregados, los cuales son: Agregado fino, agregado grueso convencional y agregado grueso de concreto reciclado en la Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29 correspondientemente.

Tabla 27

Resultados de peso específico del agregado fino

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Muestra	gr	300,00	300,00	300,00	
Peso de la fiola + agua	gr	651,25	663,72	657,40	
Peso de la fiola + muestra + agua	gr	826,69	842,23	834,70	
Volumen desplazado	cc	124,56	121,49	122,70	
Peso específico	gr/cc	2,41	2,47	2,44	2,44

Tabla 28

Resultados de peso específico del agregado grueso convencional

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Muestra	gr	460,60	460,20	460,70	
Volumen fiola + agua	cc	500,00	500,00	500,00	
Volumen fiola + muestra + agua	cc	693,00	692,70	693,50	
Volumen desplazado	cc	193,00	192,70	193,50	
Peso específico	gr/cc	2,39	2,39	2,38	2,39

Tabla 29*Resultados de peso específico del agregado grueso concreto reciclado*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Muestra	gr	473,70	472,50	474,10	
Volumen fiola + agua	cc	500,00	500,00	500,00	
Volumen fiola + muestra + agua	cc	680,00	678,00	682,00	
Volumen desplazado	cc	180,00	178,00	182,00	
Peso específico	gr/cc	2,63	2,65	2,60	2,63

3.5.6. Resultados del ensayo de absorción

Se presentan los resultados del ensayo de absorción de los diferentes agregados, los cuales son: Agregado fino, agregado grueso convencional y agregado grueso de concreto reciclado en la Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32 correspondientemente. Cabe resaltar en la Tabla 32 se muestra un resultado de 5.54 %, un valor muy alto representando gran absorción en el concreto reciclado, lo cual se analiza en las discusiones finalmente.

Tabla 30*Resultados de absorción del agregado fino*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Muestra en estado S.S.S	gr	491,28	411,10	455,60	
Muestra en estado seco	gr	477,90	399,32	442,90	
Absorción	%	2,80	2,95	2,87	2,87

Tabla 31*Resultados de absorción del agregado grueso convencional*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Muestra en estado S.S.S	gr	485,20	473,70	441,93	
Muestra en estado seco	gr	479,30	467,80	436,30	
Absorción	%	1,23	1,26	1,29	1,26

Tabla 32*Resultados de absorción del agregado grueso concreto reciclado*

Descripción	Und.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Muestra en estado S.S.S	gr	424,90	488,14	460,60	
Muestra en estado seco	gr	402,79	462,30	436,40	
Absorción	%	5,49	5,59	5,54	5,54

3.5.7. Resultados del ensayo de abrasión de Los Ángeles

Se presentan los resultados del ensayo de abrasión de Los Ángeles de los diferentes agregados, los cuales son: Agregado fino, agregado grueso convencional y agregado grueso de concreto reciclado en la Tabla 33 y Tabla 34.

Tabla 33*Resultados de abrasión de Los Ángeles del agregado grueso convencional*

Descripción	Und.	Muestra
Peso inicial	gr	5000,70
Peso final	gr	3906,30
Perdida máxima	%	21,89

Tabla 34

Resultados de abrasión de Los Ángeles del agregado grueso concreto reciclado

Descripción	Und.	Muestra
Peso inicial	gr	5000,60
Peso final	gr	2663,50
Perdida máxima	%	46,74

3.5.8. Cantidad de muestras de ensayo

Previo a realizar la elaboración de briquetas para determinar la resistencia a la compresión incluyendo el uso de concreto reciclado como reemplazo total y parcial al agregado grueso, es necesario establecer el número de diseños que se realizarán, los cuales se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35

Diseños de mezcla a realizar

Porcentaje	Diseños de mezcla
100 %	Agregado grueso convencional
100 %	Agregado grueso con concreto reciclado
75 %	Agregado grueso con concreto reciclado
50 %	Agregado grueso con concreto reciclado
25 %	Agregado grueso con concreto reciclado
15 %	Agregado grueso con concreto reciclado

En el desarrollo de esta investigación, para verificar la resistencia a la compresión del concreto, se realizará la rotura a los 7, 14 y 28 días después del vaciado, la cantidad de muestras a realizar para cada uno de los días de rotura se especifica en la Tabla 36.

Tabla 36*Cantidad de muestras a realizar*

Día de fraguado	Cantidad de muestras
7	2 muestras
14	2 muestras
28	3 muestras
Total	7 muestras

3.5.9. Diseño de mezcla – Agregado convencional

En la Tabla 37 se muestran los datos de los agregados para la elaboración del diseño de mezcla con agregado grueso convencional.

Datos generales

- f'c: 210 kg/cm²
- Pe: 3150 kg/m³
- Pe agua: 1000 kg/m³

Tabla 37*Datos de los agregados para la elaboración del diseño de mezcla con agregado grueso convencional*

Descripción	Agregado fino	Agregado grueso	Unidad
Peso unitario suelto	1722,67	1341,05	kg/m ³
Peso unitario compactado	1871,41	1487,66	kg/m ³
Peso específico de masa	2444,99	2386,53	kg/m ³
Contenido de humedad	0,66	0,27	%
Porcentaje de absorción	2,87	1,26	%
Módulo de fineza	2,43	6,56	adim
Tamaño máximo nominal		1/2	pulg

Paso 1: Determinar resistencia promedio

- $f'c$: 210 kg/cm²
- $f'cr$: 294 kg/cm²

Paso 2: Determinar asentamiento

- Consistencia: Plástica
- Asentamiento: 3 " a 4 "

Paso 3: Selección de tamaño máximo nominal

- TMN (Según granulometría): 1/2 "

Paso 4: Determinar volumen unitario de agua

- a: 216 l

Paso 5: Determinar relación agua/cemento

- a/c: 0,558

Paso 6: Determinar contenido de cemento

- c: 387,097 kg

Paso 7: Determinar contenido de aire atrapado

- a.a: 2,5 %

Paso 8: Determinar peso del agregado grueso

- b/bo: 0,587 m³
- Peso agregado grueso: 873,258 kg

Paso 9: Determinar peso del agregado fino

- Cemento: 0,123 m³
- Agregado fino: 0,279 m³
- Agregado grueso: 0,357 m³
- Agua: 0,216 m³
- Peso agregado fino: 665,721 kg

Resumen dosificación peso seco

- Cemento: 387,10 kg
- Agregado fino: 665,72 kg

- Agregado grueso: 873,26 kg
- Agua: 216,00 l

Ajuste de diseño

- Cemento: 387,10 kg
- Agregado fino: 743,14 kg
- Agregado grueso: 795,84 kg
- Agua: 216,00 l

Paso 10: Corrección por humedad

- Agregado fino: 748,07 kg
- Agregado grueso: 797,97 kg

Paso 11: Corrección por absorción – Agua efectiva

- Agregado fino: 16,39 l
- Agregado grueso: 7,90 l
- Agua efectiva: 240,30 l

Concluido el diseño de mezcla, se presenta la dosificación final en la Tabla 38 del diseño de mezcla con agregado grueso convencional.

Tabla 38

Dosificación del diseño de mezcla con agregado grueso convencional

	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
Cantidad	387,1 kg	748,07 kg	797,97 kg	240,3 l
Dosificación	1	: 1,93	: 2,06	: 0,62

3.5.10. Diseño de mezcla – Agregado de concreto reciclado

En la Tabla 39 se muestran los datos de los agregados para la elaboración del diseño de mezcla con agregado grueso de concreto reciclado.

Datos generales

- $f'c$: 210 kg/cm²

- Pe: 3150 kg/m³
- Pe agua: 1000 kg/m³

Tabla 39

Datos de los agregados para la elaboración del diseño de mezcla con agregado grueso concreto reciclado

Descripción	Agregado fino	Concreto reciclado	Unidad
Peso unitario suelto	1722,67	1164,71	kg/m ³
Peso unitario compactado	1871,41	1398,41	kg/m ³
Peso específico de masa	2444,99	2631,67	kg/m ³
Contenido de humedad	0,66	4,33	%
Porcentaje de absorción	2,87	5,54	%
Módulo de fineza	2,43	6,31	adim
Tamaño máximo nominal		1/2	pulg

Paso 1: Determinar resistencia promedio

- f'c: 210 kg/cm²
- f'cr: 294 kg/cm²

Paso 2: Determinar asentamiento

- Consistencia: Plástica
- Asentamiento: 3 " a 4 "

Paso 3: Selección de tamaño máximo nominal

- TMN (Según granulometría): 1/2 "

Paso 4: Determinar volumen unitario de agua

- a: 216 l

Paso 5: Determinar relación agua/cemento

- a/c: 0,558

Paso 6: Determinar contenido de cemento

- c: 387,097 kg

Paso 7: Determinar contenido de aire atrapado

- a.a: 2,5 %

Paso 8: Determinar peso del agregado grueso

- b/bo: 0,587 m³
- Peso agregado grueso: 820,868 kg

Paso 9: Determinar peso del agregado fino

- Cemento: 0,123 m³
- Agregado fino: 0,300 m³
- Agregado grueso: 0,336 m³
- Agua: 0,216 m³
- Peso agregado fino: 716,858 kg

Resumen dosificación peso seco

- Cemento: 387,10 kg
- Agregado fino: 716,86 kg
- Agregado grueso: 820,87 kg
- Agua: 216,00 l

Ajuste de diseño

- Cemento: 387,10 kg
- Agregado fino: 747,83 kg
- Agregado grueso: 789,90 kg
- Agua: 216,00 l

Paso 10: Corrección por humedad

- Agregado fino: 752,79 kg
- Agregado grueso: 824,10 kg

Paso 11: Corrección por absorción – Agua efectiva

- Agregado fino: 16,50 l
- Agregado grueso: 9,59 l
- Agua efectiva: 242,09 l

Concluido el diseño de mezcla, se presenta la dosificación final en la Tabla 40 del diseño de mezcla con agregado grueso de concreto reciclado.

Tabla 40

Dosificación del diseño de mezcla con agregado grueso concreto reciclado

	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
Cantidad	387,1 kg	752,79 kg	824,1 kg	242,09 l
Dosificación	1	: 1,94	: 2,13	: 0,63

3.5.11. Sin reemplazo

De acuerdo a la dosificación obtenida y el volumen de concreto necesario se presentan las dosificaciones que usamos para la elaboración de los ensayos de las muestras sin reemplazo de concreto reciclado sin desperdicio en la Tabla 41 y con desperdicio en la Tabla 42.

Tabla 41

Dosificación con el 100 % de agregado grueso convencional (sin desperdicio)

Descripción	Peso
Cemento	17,42 kg
Agregado fino	33,66 kg
Agregado grueso	35,91 kg
Agua	10,81 l

Tabla 42*Dosificación con el 100 % de agregado grueso convencional (con desperdicio)*

Descripción	Peso
Cemento	18,29 kg
Agregado fino	35,35 kg
Agregado grueso	37,70 kg
Agua	11,35 l

3.5.12. Reemplazo al 100 %

De acuerdo a la dosificación obtenida y el volumen de concreto necesario se presentan las dosificaciones que usamos para la elaboración de los ensayos de las muestras con reemplazo al 100 % de concreto reciclado sin desperdicio en la Tabla 43 y con desperdicio en la Tabla 44.

Tabla 43*Dosificación con el 100 % de agregado grueso concreto reciclado (sin desperdicio)*

Descripción	Peso
Cemento	17,42 kg
Agregado fino	33,88 kg
Agregado grueso	37,08 kg
Agua	10,89 l

Tabla 44

Dosificación con el 100 % de agregado grueso concreto reciclado (con desperdicio)

Descripción	Peso
Cemento	18,29 kg
Agregado fino	35,57 kg
Agregado grueso	38,94 kg
Agua	11,44 l

3.5.13. Reemplazo al 75 %

De acuerdo a la dosificación obtenida y el volumen de concreto necesario se presentan las dosificaciones que usamos para la elaboración de los ensayos de las muestras con reemplazo al 75 % de concreto reciclado sin desperdicio en la Tabla 45 y con desperdicio en la Tabla 46.

Tabla 45

Dosificación con el 75 % de agregado grueso concreto reciclado (sin desperdicio)

Descripción	Peso
Cemento	17,42 kg
Agregado fino	33,66 kg
Agregado grueso convencional	8,98 kg
Agregado grueso concreto reciclado	26,93 kg
Agua	10,81 l

Tabla 46

Dosificación con el 75 % de agregado grueso concreto reciclado (con desperdicio)

Descripción	Peso
Cemento	18,29 kg
Agregado fino	35,35 kg
Agregado grueso convencional	9,43 kg
Agregado grueso concreto reciclado	28,28 kg
Agua	11,35 l

3.5.14. Reemplazo al 50 %

De acuerdo a la dosificación obtenida y el volumen de concreto necesario se presentan las dosificaciones que usamos para la elaboración de los ensayos de las muestras con reemplazo al 50 % de concreto reciclado sin desperdicio en la Tabla 47 y con desperdicio en la Tabla 48.

Tabla 47

Dosificación con el 50 % de agregado grueso concreto reciclado (sin desperdicio)

Descripción	Peso
Cemento	17,42 kg
Agregado fino	33,66 kg
Agregado grueso convencional	17,95 kg
Agregado grueso concreto reciclado	17,95 kg
Agua	10,81 l

Tabla 48

Dosificación con el 50 % de agregado grueso concreto reciclado (con desperdicio)

Descripción	Peso
Cemento	18,29 kg
Agregado fino	35,35 kg
Agregado grueso convencional	18,85 kg
Agregado grueso concreto reciclado	18,85 kg
Agua	11,35 l

3.5.15. Reemplazo al 25 %

De acuerdo a la dosificación obtenida y el volumen de concreto necesario se presentan las dosificaciones que usamos para la elaboración de los ensayos de las muestras con reemplazo al 25 % de concreto reciclado sin desperdicio en la Tabla 49 y con desperdicio en la Tabla 50.

Tabla 49

Dosificación con el 25 % de agregado grueso concreto reciclado (sin desperdicio)

Descripción	Peso
Cemento	17,42 kg
Agregado fino	33,66 kg
Agregado grueso convencional	26,93 kg
Agregado grueso concreto reciclado	8,98 kg
Agua	10,81 l

Tabla 50

Dosificación con el 25 % de agregado grueso concreto reciclado (con desperdicio)

Descripción	Peso
Cemento	18,29 kg
Agregado fino	35,35 kg
Agregado grueso convencional	28,28 kg
Agregado grueso concreto reciclado	9,43 kg
Agua	11,35 lt

3.5.16. Reemplazo al 15 %

De acuerdo a la dosificación obtenida y el volumen de concreto necesario se presentan las dosificaciones que usamos para la elaboración de los ensayos de las muestras con reemplazo al 15% de concreto reciclado sin desperdicio en la Tabla 51y con desperdicio en la Tabla 52.

Tabla 51

Dosificación con el 15 % de agregado grueso concreto reciclado (sin desperdicio)

Descripción	Peso
Cemento	17,42 kg
Agregado fino	33,66 kg
Agregado grueso convencional	30,52 kg
Agregado grueso concreto reciclado	5,39 kg
Agua	10,81 l

Tabla 52

Dosificación con el 15 % de agregado grueso concreto reciclado (con desperdicio)

Descripción	Peso
Cemento	10,16 kg
Agregado fino	19,64 kg
Agregado grueso convencional	17,80 kg
Agregado grueso concreto reciclado	3,14 kg
Agua	6,31 l

3.5.17. Costo de obtención de concreto reciclado

Para hallar el costo de la obtención de concreto reciclado, este será calculado mediante los análisis de costos unitarios de los distintos procesos ya mencionados logrando así el precio por m³ del material.

El primer proceso corresponde al Traslado y carguío, para realizar el análisis de costo unitario, calcularemos el rendimiento del cargador frontal y volquete, luego se mostrará el costo unitario de la limpieza y reducción de tamaño, siguiendo con el tercer proceso, trituración primaria, y culminando con la trituración secundaria, la cual corresponde al cuarto y último proceso.

Primer proceso: Traslado y carguío

Rendimientos

A continuación, en la Tabla 53, se muestra el cálculo del rendimiento del cargador frontal y de la misma forma el cálculo de su rendimiento.

Tabla 53*Cálculo del rendimiento del cargador frontal*

Datos	Cantidad	Unidad
Modelo	CAT 966H	
Capacidad de la pala	2,5	m ³
Eficiencia	0,83	adim
Distancia media	0,08	km
Espera por estacionamiento	1	min
Velocidad recorrido cargado	5	km/h
Velocidad recorrido descargado	10	km/h
Tiempo carga de pala	15	s
Tiempo descarga de pala	12	s
Cálculo del rendimiento		
Tiempo ida	0,96	min
Tiempo vuelta	0,48	min
N°c/v	6	ciclos/volq
Tiempo de espera por ciclo	0,17	min
Ciclo de trabajo (cm)	2,06	min
Tiempo efectivo de trabajo	480	min
	398,4	min
Cantidad ciclos al día	193,711507	ciclos/día
	193	ciclos/día
Rendimiento por día	482,5	m ³ /día

A continuación, en la Tabla 54, se muestra el cálculo del rendimiento del volquete.

Tabla 54

Cálculo del rendimiento del volquete

Datos	Cantidad	Unidad
Capacidad	15	m ³
Eficiencia	0,83	adim
Distancia media	10	km
Velocidad recorrido cargado	25	km
Velocidad recorrido descargado	25	km
Tiempo carga	5	min
Tiempo descarga	2	min
Cálculo del rendimiento:		
Tiempo ida	24	min
Tiempo vuelta	24	min
Ciclo de trabajo (cm)	55	min
Tiempo efectivo de trabajo	480	min
	400	min
Cantidad ciclos al día	7,27	ciclos/día
	7,00	ciclos/día
Rendimiento por día	105	m ³ /día

Teniendo los rendimientos diarios del cargador frontal y del volquete, podemos obtener el análisis de precios unitarios del primer proceso el cual corresponde al carguío y traslado de concreto reciclado, el apu se muestra a continuación en la Figura 40.

Tercer proceso: Trituración primaria

El cálculo del rendimiento del proceso de chancado primario, se realizó de acuerdo a la Tarifa técnica interna de maquinarias pesadas y equipos GPBS – MPT 2020 de la Municipalidad Provincial de Tacna, la cual se muestra en la Figura 42.

Figura 42

Cuadro de tarifa técnica interna de maquinarias pesadas y equipos GPBS – MPT 2020

TABLA N° 01-GE

TARIFA TÉCNICA INTERNA DE MAQUINARIAS PESADA Y EQUIPOS GPBS - MPT 2020
(PARA PROYECTOS, OBRAS, ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO Y OTROS POR ADMINISTRACIÓN DIRECTA)

ITEM	UNIDAD	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				COSTO HORARIO (SOL/HORA)			
		MARCA	MODELO	AÑO	CAPACIDAD	POTENCIA	Sin combustible y sin Ooperador	Sin combustible (Incluye Ooperador)	A Todo costo (Incluye todos los costos)
1	CARGADOR FRONTAL SOBRE RUEDAS	JOHN DEERE	644 J	2008	3,2 m ³	225HP	103,75	117,75	174,00
2	CARGADOR RETROEXCAVADORA S/RUEDAS	JOHN DEERE	310 SJ	2008	1,00 m ³	92HP	71,62	85,62	120,00
3	CARGADOR FRONTAL SOBRE RUEDAS	CATERILLAR	938G	2001	2,5 m ³	145HP	100,00	114,00	164,00
4	TRACTOR SOBRE ORUGA (**)	CATERILLAR	D7G	2000	6,00 m ³	198HP	177,25	191,25	260,00
5	TRACTOR SOBRE ORUGA (**)	KOMATSU	D85A-21D	1996	7,00 m ³	225HP	192,25	206,25	275,00
6	MOTONIVELADORA	FIAT ALLIS	FG-85A	1991	13 Pies	162HP	116,00	130,00	180,00
7	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GDS11-A1	2000	12 Pies	135HP	104,12	118,12	165,00
8	EXCAVADORA HIDRAULICA SOBRE ORUGA	FIAT ALLIS	FE-18	1998	0,75 m ³	86HP	112,25	126,25	170,00
9	RODILLO USO VIBRATORIO AUTOPROP. D/ROLA	CATERPILLAR	CB534D	2009	10 Toneladas	130HP	82,25	96,25	140,00
10	RODILLO USO VIBRATORIO AUTOPROP. D/ROLA	DYNAPAC	CC-43	1991	10 Toneladas	126HP	70,25	84,25	128,00
11	RODILLO NEUMATICO	CATERPILLAR	PS-180	1993	10 Toneladas	126HP	67,25	81,25	125,00
12	PAVIMENTADOR ESPARCIDOR DE ASFALTO	CATERPILLAR	AP-800B	1992	12,00 m ³	135HP	113,00	130,00	180,00
13	RODILLO USO AUTOPROPULSADO	DYNAPAC	CA25D	2003	12 Toneladas	130HP	68,00	82,00	132,00
14	COMPRESORA DE AIRE	INGERSOLL RAND	P25WJD	1998	125 Pies/Minuto	125HP	45,50	57,50	95,00
15	PLANTA CHANCADORA CONICA (SEGUNDARIA)	MPT-CDC	CDC-93	1993	15 m ³ /hora	100HP	148,15	164,15	175,00
16	PLANTA CHANCADORA DE QUIJADA (PRIMARIA)	COMESA	--	1993	10 m ³ /hora	40 HP	83,00	97,00	122,00
17	PLANTA DE ASFALTO	CIBER	USC 2 - 60/100	1993	45 m ³ /hora	0HP	61,25	75,25	84,00

Nota. Figura adaptada de la Municipalidad Provincial de Tacna.

Rendimiento de chancadora primaria

De acuerdo a la Figura 42, la capacidad de la Planta Chancadora de Quijada (Primaria) es de 10 m³/h, para hallar el rendimiento diario multiplicaremos por la jornada de 8 horas, por lo tanto, el rendimiento de la maquinaria es de 80 m³/día, valor que usaremos para el análisis de costos unitarios, tal como se detalla en la Figura 43.

Figura 43

Análisis de precios unitarios partida 01.03

Partida	01.03	TRITURACION PRIMARIA DE CONCRETO RECICLADO					
Rendimiento	m3/DIA	MO.	80.0000	EQ.	80.0000	c/u por : m3	36.19
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/	
	Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0100	26.43	0.26	
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.2000	17.70	3.54	
							3.80
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.80	0.19	
0301160001	CARGADOR FRONTAL	hm	1.0000	0.1000	200.00	20.00	
0301400006	CHANCADORA PRIMARIA	hm	1.0000	0.1000	122.00	12.20	
							32.39

Cuarto proceso: Trituración secundaria

El cálculo del rendimiento del proceso de chancado secundario, se realizó de acuerdo a la Tarifa técnica interna de maquinarias pesadas y equipos GPBS – MPT 2020 de la Municipalidad Provincial de Tacna, la cual se muestra en la Figura 44.

Figura 44

Cuadro de tarifa técnica interna de maquinarias pesadas y equipos GPBS – MPT 2020

TABLA N° 01-GE

TARIFA TÉCNICA INTERNA DE MAQUINARIAS PESADA Y EQUIPOS GPBS - MPT 2020
(PARA PROYECTOS, OBRAS, ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO Y OTROS POR ADMINISTRACIÓN DIRECTA)

ITEM	UNIDAD	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				COSTO HORARIO (SOL/HORA)			
		MARCA	MODELO	AÑO	CAPACIDAD	POTENCIA	Sin combustible y sin Oerador	Sin combustible (Incluye. Oerador)	A Todo costo (Incluye todos los costos)
1	CARGADOR FRONTAL SOBRE RUEDAS	JOHN DEERE	644 J	2008	3,2 m ³	225HP	103,75	117,75	174,00
2	CARGADOR RETROEXCAVADORA S/RUEDAS	JOHN DEERE	310 SJ	2008	1,00 m ³	90HP	71,62	85,62	120,00
3	CARGADOR FRONTAL SOBRE RUEDAS	CATERILLAR	938G	2001	2,5 m ³	145HP	100,00	114,00	164,00
4	TRACTOR SOBRE ORUGA (**)	CATERILLAR	D7G	2000	6,00 m ³	198HP	177,25	191,25	260,00
5	TRACTOR SOBRE ORUGA (**)	KOMATSU	D85A-21D	1996	7,00 m ³	225HP	192,25	206,25	275,00
6	MOTONIVELADORA	FIAT ALLIS	FG-85A	1991	13 Pies	162HP	116,00	130,00	180,00
7	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GDS11-A1	2000	12 Pies	135HP	104,12	118,12	165,00
8	EXCAVADORA HIDRAULICA SOBRE ORUGA	FIAT ALLIS	FE-18	1998	0,75 m ³	86HP	112,25	126,25	170,00
9	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROP. D/RIOLA	CATERILLAR	C8534D	2009	10 Toneladas	130HP	82,25	96,25	140,00
10	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROP. D/RIOLA	DYNAPAC	CC-43	1991	10 Toneladas	126HP	70,25	84,25	128,00
11	RODILLO NEUMÁTICO	CATERILLAR	PS-180	1993	10 Toneladas	126HP	67,25	81,25	125,00
12	PAVIMENTADOR ESPARCIDOR DE ASFALTO	CATERILLAR	AP-800B	1992	12,00 m ³	135HP	113,00	130,00	180,00
13	RODILLO LISO AUTOPROPULSADO	DYNAPAC	CA25D	2003	12 Toneladas	130HP	68,00	82,00	132,00
14	COMPRESORA DE AIRE	INGERSOLL RAND	P23WJD	1998	125 Pies/Minuto	125HP	45,50	57,50	95,00
15	PLANTA CHANCADORA CÓNICA (SEGUNDARIA)	MPT-CDC	CDC-93	1993	15 m ³ /hora	100HP	148,15	164,15	175,00
16	PLANTA CHANCADORA DE QUIJADA (PRIMARIA)	COMESA	--	1993	10 m ³ /hora	40 HP	83,00	97,00	122,00
17	PLANTA DE ASFALTO	CIBER	USC 2 - 60/100	1993	45 m ³ /hora	DHP	61,25	75,25	84,00

Nota. Figura adaptada de la Municipalidad Provincial de Tacna.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Resistencia a la compresión del reemplazo completo del agregado grueso

4.1.1. Sin Reemplazo: Resultado de diseño de mezcla – 100 % agregado grueso convencional

A continuación, en la Tabla 55, se muestran los resultados a los 7 días de las muestras al 100 % de agregado grueso convencional.

Tabla 55

Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 100 % de agregado grueso convencional

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	180,51	179,08	cm ²
Fuerza adjudicada	25202,20	24411,41	kg/f
Resistencia a la compresión	139,62	136,32	kg/cm ²

Los resultados a los 14 días se muestran a continuación en la Tabla 56.

Tabla 56

Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 100 % de agregado grueso convencional

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	181,46	179,55	cm ²
Fuerza adjudicada	34263,59	34632,44	kg/f
Resistencia a la compresión	188,82	192,88	kg/cm ²

Los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días se muestran en la Tabla 57. Así también, en la Figura 46 se muestra la curva de resistencia con 100 % de agregado grueso convencional.

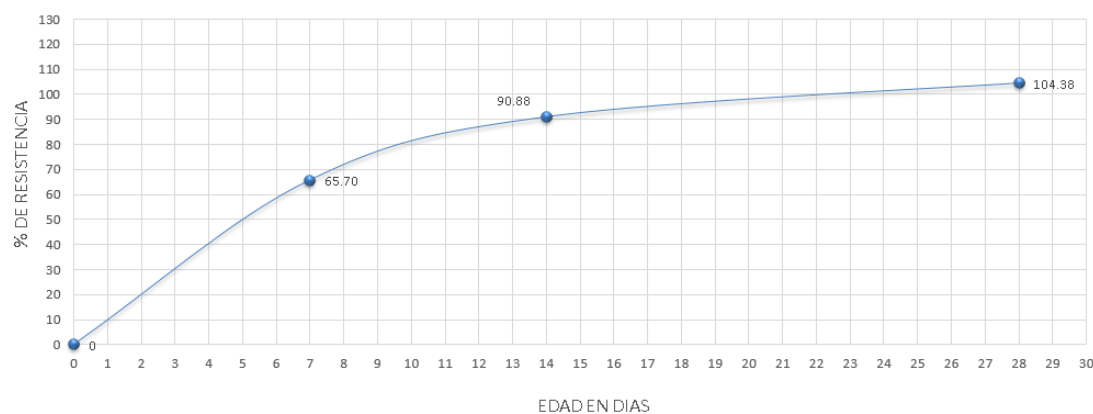
Tabla 57

Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 100 % de agregado grueso convencional

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Unidad
Área de muestra	180,03	181,7	181,46	cm ²
Fuerza adjudicada	39648,52	39816,97	39598,35	kg/f
Resistencia a la compresión	220,23	219,14	218,22	kg/cm ²

Figura 46

Curva de la resistencia del concreto con 100 % de agregado grueso convencional



4.1.2. Con Reemplazo: Resultado de diseño de mezcla – 100 % concreto reciclado como agregado grueso

A continuación, en la Tabla 58, se muestran los resultados a los 7 días de las muestras al 100 % de agregado grueso de concreto reciclado.

Tabla 58*Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 100 % de concreto reciclado*

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	181,46	179,79	cm ²
Fuerza adjudicada	19813,15	19987,81	kg/f
Resistencia a la compresión	109,19	111,17	kg/cm ²

Los resultados a los 14 días se muestran a continuación en la Tabla 59.

Tabla 59*Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 100 % de concreto reciclado*

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	183,61	182,18	cm ²
Fuerza adjudicada	25154,23	24450,24	kg/f
Resistencia a la compresión	137,00	134,21	kg/cm ²

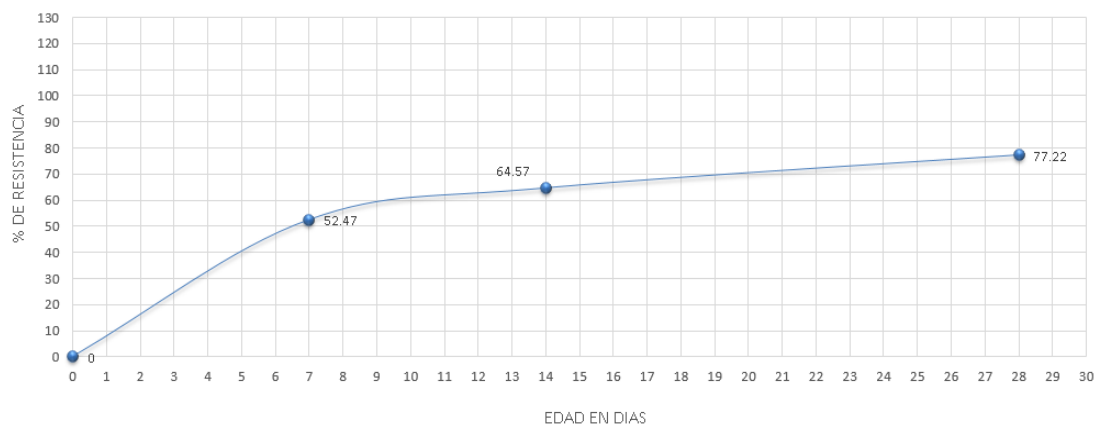
Los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días se muestran en la Tabla 60. Así también, en la Figura 47 se muestra la curva de resistencia con 100 % de agregado grueso de concreto reciclado.

Tabla 60*Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 100 % de concreto reciclado*

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Unidad
Área de muestra	183,13	181,46	179,32	cm ²
Fuerza adjudicada	31463,34	29510,58	27267,21	kg/f
Resistencia a la compresión	183,13	181,46	179,32	kg/cm ²

Figura 47

Curva de la resistencia del concreto con 100 % de agregado grueso reciclado



4.2. Resistencia a la compresión del reemplazo parcial del agregado grueso

4.2.1. Con Reemplazo: Resultado con diseño de mezcla – 75 % concreto reciclado como agregado grueso

A continuación, en la Tabla 61, se muestran los resultados a los 7 días de las muestras al 75 % de agregado grueso de concreto reciclado.

Tabla 61

Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 75 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	180,98	180,03	cm ²
Fuerza adjudicada	24761,45	25279,88	kg/f
Resistencia a la compresión	136,82	140,42	kg/cm ²

Los resultados a los 14 días se muestran a continuación en la Tabla 62.

Tabla 62

Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 75 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	179,32	179,08	cm ²
Fuerza adjudicada	30559,66	30415,28	kg/f
Resistencia a la compresión	170,42	169,84	kg/cm ²

Los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días se muestran en la Tabla 63. Así también, en la Figura 48 se muestra la curva de resistencia con 75 % de agregado grueso de concreto reciclado.

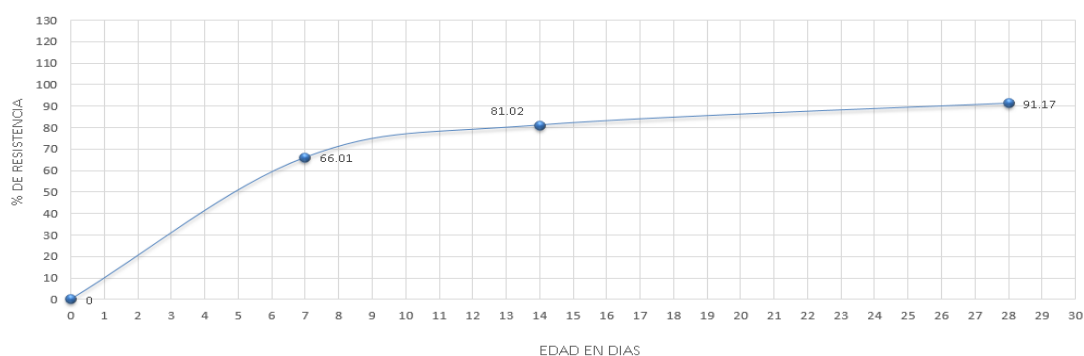
Tabla 63

Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 75 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Unidad
Área de muestra	180,51	181,46	180,51	cm ²
Fuerza adjudicada	29031,31	36974,90	37862,06	kg/f
Resistencia a la compresión	160,83	203,76	209,76	kg/cm ²

Figura 48

Curva de la resistencia del concreto con 75 % de agregado grueso convencional



4.2.2. Con Reemplazo: Resultado con diseño de mezcla – 50 % concreto reciclado como agregado grueso

A continuación, en la Tabla 64, se muestran los resultados a los 7 días de las muestras al 50 % de agregado grueso de concreto reciclado.

Tabla 64

Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 50 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	181,46	180,03	cm ²
Fuerza adjudicada	24705,55	24432,48	kg/f
Resistencia a la compresión	136,15	135,71	kg/cm ²

Los resultados a los 14 días de resistencia a la compresión, se muestran a continuación en la Tabla 65.

Tabla 65

Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 50 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	180,98	180,98	cm ²
Fuerza adjudicada	32362,16	32611,74	kg/f
Resistencia a la compresión	178,81	180,19	kg/cm ²

Los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días se muestran en la Tabla 66. Así también, en la Figura 49 se muestra la curva de resistencia con 50 % de agregado grueso de concreto reciclado.

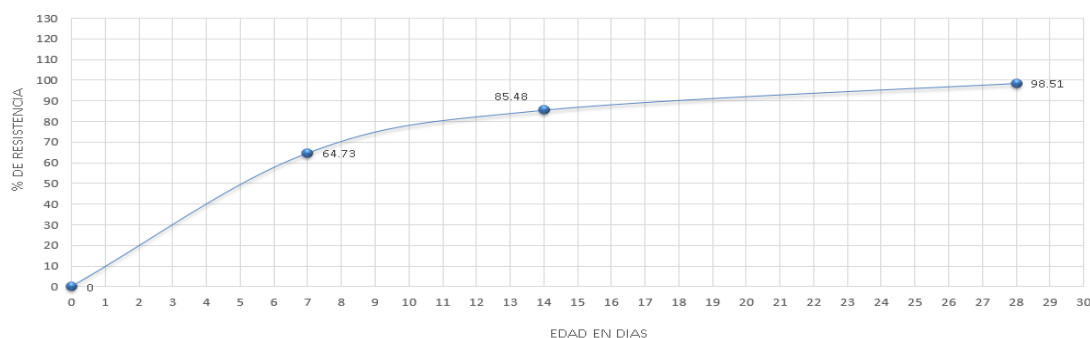
Tabla 66

Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 50 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Unidad
Área de muestra	183,13	180,03	181,94	cm ²
Fuerza adjudicada	37709,10	37805,97	37240,03	kg/f
Resistencia a la compresión	205,91	210,00	204,69	kg/cm ²

Figura 49

Curva de la resistencia del concreto con 50 % de agregado grueso convencional



4.2.3. Con Reemplazo: Resultado con diseño de mezcla 25 % concreto reciclado como agregado grueso

A continuación, en la Tabla 67, se muestran los resultados a los 7 días de las muestras al 25 % de agregado grueso de concreto reciclado.

Tabla 67

Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 25 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	180,51	180,98	cm ²
Fuerza adjudicada	27123,12	27955,97	kg/f
Resistencia a la compresión	150,26	154,47	kg/cm ²

Los resultados a los 14 días se muestran a continuación en la Tabla 68.

Tabla 68

Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 25 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	179,32	176,72	cm ²
Fuerza adjudicada	35962,70	35098,33	kg/f
Resistencia a la compresión	200,55	198,62	kg/cm ²

Los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días figuran en la Tabla 69 y en la Figura 50 se muestra la curva con 25 % de concreto reciclado.

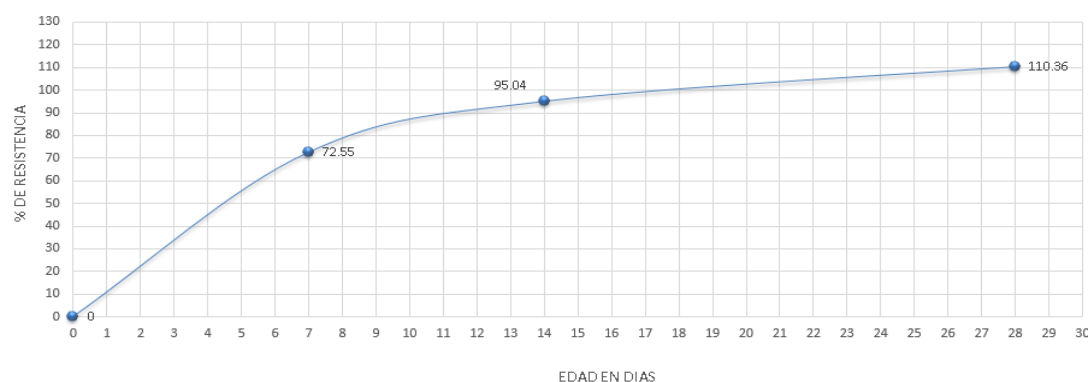
Tabla 69

Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 25 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Unidad
Área de muestra	182,42	179,55	180,51	cm ²
Fuerza adjudicada	40936,50	42517,06	42246,83	kg/f
Resistencia a la compresión	224,41	236,79	234,05	kg/cm ²

Figura 50

Curva de la resistencia del concreto con 25 % de agregado grueso convencional



4.2.4. Con Reemplazo: Resultado con diseño de mezcla – 15 % concreto reciclado como agregado grueso

A continuación, en la Tabla 70, se muestran los resultados a los 7 días de las muestras al 15 % de agregado grueso de concreto reciclado.

Tabla 70

Resistencia a la compresión a los 7 días de muestras al 15 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	180,98	180,03	cm ²
Fuerza adjudicada	28394,95	27480,17	kg/f
Resistencia a la compresión	156,89	152,64	kg/cm ²

Los resultados de resistencia a la compresión a los 14 días se muestran a continuación en la Tabla 71.

Tabla 71

Resistencia a la compresión a los 14 días de muestras al 15 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Unidad
Área de muestra	181,46	181,70	cm ²
Fuerza adjudicada	35215,22	35202,21	kg/f
Resistencia a la compresión	194,07	193,74	kg/cm ²

Los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días se muestran en la Tabla 72. Así también, en la Figura 51 se muestra la curva de resistencia con 15 % de agregado grueso de concreto reciclado.

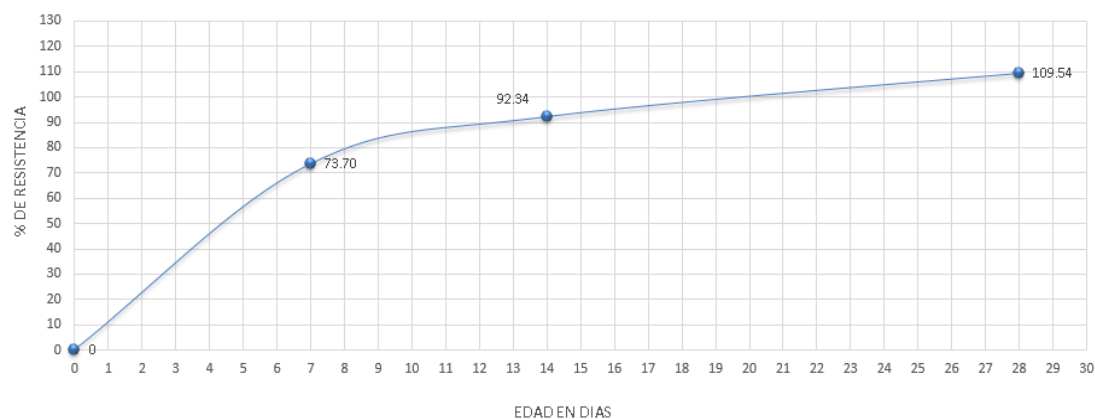
Tabla 72

Resistencia a la compresión a los 28 días de muestras al 15 % de concreto reciclado

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Unidad
Área de muestra	180,03	183,61	180,51	cm ²
Fuerza adjudicada	43332,83	40768,25	41038,47	kg/f
Resistencia a la compresión	240,70	222,03	227,35	kg/cm ²

Figura 51

Curva de la resistencia del concreto con 15 % de agregado grueso convencional



4.3. Costo de obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones

A continuación, en la Tabla 73, se muestra el resumen del costo de obtención de concreto reciclado de acuerdo a cada proceso.

Tabla 73

Resumen del costo de obtención de concreto reciclado

Ítem	Partida	C.U. por m ³ (S/)
01.01	Traslado de concreto reciclado	15,91
01.02	Limpieza y reducción de tamaño	41,68
01.03	Trituración primaria de concreto reciclado	36,19
01.04	Trituración secundaria de concreto reciclado	27,68
Costo total por m ³		121,46

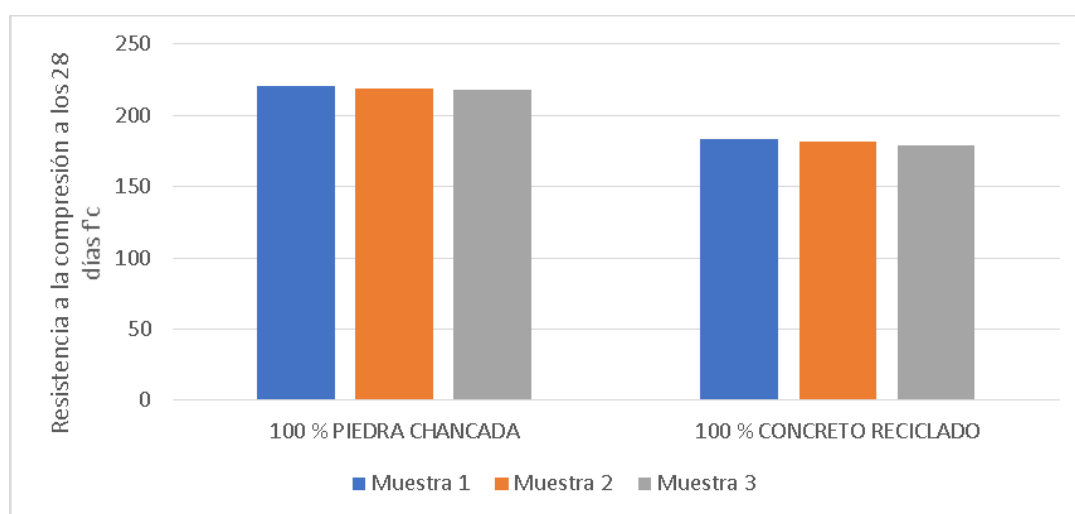
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

La presente tesis tuvo como propósito determinar la viabilidad del uso de concreto reciclado para conseguir construcciones ecoeficientes en la ciudad de Tacna, de esta manera, a fin de precisar los resultados se realizó la visita al laboratorio para evaluar la calidad de nuestros materiales, a su vez se elaboró las briquetas en distintos porcentajes de agregado grueso para determinar la resistencia a la compresión y verificar cual sería el adecuado y correcto. A continuación, se discutirán los hallazgos y observaciones.

Respecto a la primera hipótesis específica, sobre la influencia del uso de concreto reciclado al reemplazar completamente el agregado grueso, lo que se refiere a la sustitución al 100 % del agregado grueso por concreto reciclado en nuestro diseño de mezcla; se obtuvo mediante 3 muestras a los 28 días la resistencia a la compresión logrando los siguientes resultados M1 – 183,13 kg/cm², M2 – 181,46 kg/cm², M3 – 179,32 kg/cm² como se muestra en la Figura 52 y cómo podemos deducir no se consiguió la resistencia diseñada de 210 kg/cm², debido a que, el porcentaje de absorción del mortero adherido al concreto reciclado es elevado, a comparación del agregado grueso convencional; lo que produce una disminución en la resistencia mecánica.

Figura 52

Comparación de resultados de 100 % agregado grueso reciclado y convencional



Respecto a la segunda hipótesis específica, sobre la influencia del uso de concreto reciclado al reemplazar parcialmente el agregado grueso, lo que se refiere a la sustitución al 75 %, 50 %, 25 % y 15 % del agregado grueso por concreto reciclado en nuestro diseño de mezcla, con el fin de obtener una proporción óptima de reemplazo. Entonces mediante 3 muestras a los 28 días se determinó la resistencia a la compresión logrando los siguientes resultados:

Para el diseño de mezcla de 75 %: M1 – 160,83 kg/cm², M2 – 203,76 kg/cm², M3 – 209,76 kg/cm² y para el diseño de mezcla de 50 %: M1 – 205,91 kg/cm², M2 – 210,00 kg/cm², M3 – 204,69 kg/cm², según la Norma E.060 Concreto Armado, Capítulo 5 en el inciso 5.6.3.3 expresa que:

“La resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactoria si cumple con los dos requisitos siguientes:

a) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a f'c.

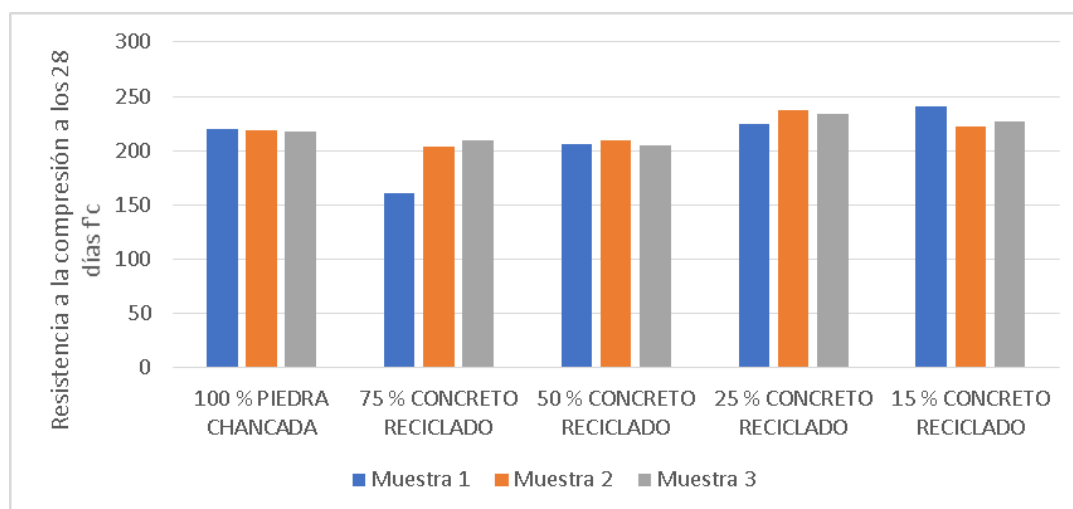
b) Ningún resultado individual del ensayo de resistencia es menor que f'c en más de 3.5 MPa cuando f'c es 35 Mpa o menor...”.

Podemos interpretar el promedio de las muestras de la sustitución al 75 % que obtiene 191,45 kg/cm², la sustitución al 50 % que obtiene 206,87 kg/cm², no consiguieron la resistencia diseñada de 210 kg/cm², pues según el primer requisito ya mencionado de la Norma E.060, este promedio debe ser igual o superior a f'c. Eso debido a que el nivel de porcentaje de concreto reciclado continúa siendo elevado, generando daños anticipados en la rotura de la briqueta.

Sin embargo, de acuerdo a los resultados para el diseño de mezcla de 25 %: M1 – 224,41 kg/cm², M2 – 236,79 kg/cm², M3 – 234,05 kg/cm² y los resultados para el diseño de mezcla de 15 %: M1 – 240,70 kg/cm², M2 – 222,03 kg/cm², M3 – 227,35 kg/cm² como se muestra en la Figura 53; según la Norma E.060 Concreto Armado, Capítulo 5 en el inciso 5.6.3.3 podemos interpretar que el promedio de las muestras de la sustitución al 25 % que obtiene 231,75 kg/cm², al 15 % que obtiene 230,03 kg/cm², por lo tanto, si consiguieron la resistencia diseñada de 210 kg/cm², pues según el primer requisito ya mencionado de la Norma E.060, este promedio debe ser igual o superior a f'c y según el segundo requisito cada resultado individual del ensayo no es menor que f'c en más de 3.5 Mpa.

Figura 53

Comparación de resultados con sustitución parcial del agregado grueso convencional



Respecto a la tercera hipótesis específica, sobre la influencia económica de la obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones, se planteó una alternativa del tratamiento de este material, mediante partidas consecuentes con la elaboración de análisis de precios unitarios para cada una. Iniciando con la partida 01.01 Traslado de concreto reciclado de la cual se obtuvo el costo de S/ 15,91 por m³, continuando con la partida 01.02 Limpieza y reducción de tamaño de la cual se obtuvo el costo de S/ 41,68 por m³, prosiguiendo con la partida 01.03 Trituración primaria de concreto reciclado de la cual se obtuvo el costo de S/ 36,19 por m³ y finalizando con la partida 01.04 Trituración secundaria de concreto reciclado de la cual se obtuvo el costo de S/ 27,68 por m³, tal como se muestra a continuación en la Tabla 74.

Tabla 74

Costo de obtención de concreto reciclado

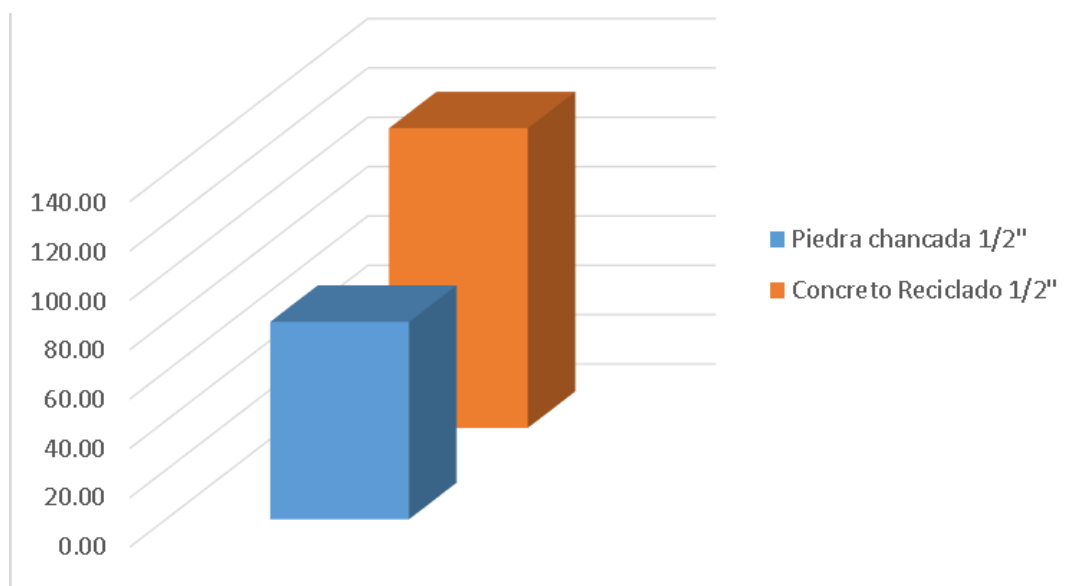
Ítem	Partida	C.U. por m ³ (S/)
01.01	Traslado de concreto reciclado	15,91
01.02	Limpieza y reducción de tamaño	41,68
01.03	Trituración primaria de concreto reciclado	36,19
01.04	Trituración secundaria de concreto reciclado	27,68
Costo total por m ³		121,46

De esta manera podemos interpretar que, mediante la sumatoria de las partidas mostradas anteriormente, obtenemos el costo total de obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones por m^3 , siendo este de S/ 121,46. Por lo tanto de acuerdo a la Figura 54, determinamos que la influencia económica del uso de este material tiene un impacto negativo respecto al uso de agregado grueso convencional (piedra chancada), el cual tiene un precio de S/ 80,00; debido al cuantioso costo en comparación.

Cabe resaltar que los precios fueron investigados y seleccionados a la fecha actual de la presente investigación, en la ciudad de Tacna.

Figura 54

Comparación de costos de agregado grueso convencional y reciclado



CONCLUSIONES

Se determinó la resistencia a la compresión del concreto reciclado para construcciones ecoeficientes en la ciudad Tacna.

Se determinó la influencia usando como agregado grueso el 100 % de concreto reciclado, obteniendo la resistencia a la compresión a los 28 días de edad, donde el resultado promedio de 3 muestras es 181,30 kg/cm², es decir, disminuye en un 13,67 % respecto a la resistencia diseñada de 210 kg/cm².

Se determinó la influencia usando como agregado grueso diferentes proporciones de concreto reciclado, obteniendo la resistencia a la compresión a los 28 días de edad, donde se tuvieron resultados tanto negativos como positivos ya que el diseño de mezcla al 75 % obtuvo un resultado promedio de 191,45 kg/cm² con una disminución de 8,83 % y el diseño de mezcla 50 % obtuvo un resultado promedio de 206,87 kg/cm² con una disminución de 1,49 % respecto a la resistencia diseñada de 210 kg/cm²; por lo tanto no alcanzaron la resistencia deseada. No obstante, el diseño de mezcla al 25 % obtuvo un resultado promedio de 231,75 kg/cm² con un incremento de 10,36 % y el diseño de mezcla 15 % obtuvo un resultado promedio de 230,06 kg/cm² con un incremento de 9,54 % respecto a la resistencia diseñada de 210 kg/cm²; alcanzando y superando la resistencia deseada, concluyendo que la sustitución más adecuada y óptima es de 25 % de concreto reciclado en el agregado grueso.

Se determinó la influencia económica de la obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones, donde el costo total fue de S/ 121,46 y este incrementa en un 51,83 % con respecto al precio del agregado grueso convencional (piedra chancada) a la fecha actual de la presente investigación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que, para próximas evaluaciones de concreto reciclado, se empleen agregados provenientes de elementos estructurales y no estructurales con resistencias de origen de 280 kg/cm² y 175 kg/cm², ya que la presente investigación se realizó con concreto originario de una resistencia de 210 kg/cm².

Se recomienda a los futuros investigadores realizar estudios de la incorporación de aditivos, y comprobar el comportamiento en la resistencia, debido a que el uso de concreto reciclado reemplazando completamente al agregado grueso convencional, es decir al 100 %, no es recomendable puesto que, en la presente tesis se obtuvo una baja resistencia de este.

De acuerdo a la presente investigación, es recomendable la sustitución de 25 % de concreto reciclado, debido a que se obtuvieron resistencias superiores a la de diseño. Además, se recomienda a los futuros investigadores considerar una pre-saturación al concreto reciclado, esto debido al elevado porcentaje de absorción y su afectación directa en la resistencia del concreto, también realizar una adecuada limpieza de los residuos e impurezas ya que afectan en las propiedades mecánicas en la nueva elaboración de concretos.

Se recomienda a las municipalidades y empresas privadas gestionar la prestación de su maquinaria y de esta manera promover el uso de material reciclado en la ciudad de Tacna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Martínez Soto, I. y Mendoza Escobedo, C. (2005). *Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados*. Scielo.
- Echeverry Campo, D. (2004). *Viabilidad técnica y económica del uso del concreto reciclado como agregado*. Universidad de los Andes, Bogotá - Colombia.
- Molina Ore, C. y Sencara de la Cruz, J. (2018). *Evaluación de la resistencia a la compresión y flexión de un concreto de alta resistencia, reutilizado en la etapa de fraguado*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa – Perú.
- Chasquero Martínez, J. y Hurtado Collantes, H. (2019). *Uso del concreto reciclado proveniente de demoliciones para la producción de afirmado*. Universidad Nacional de Jaén, Perú.
- Malpartida Canta, R. y Pumaricra Padilla, R. (2018). *Evaluación del diseño de concreto $f'c=175$ kg/cm² utilizando agregados naturales y reciclados para su aplicación en elementos no estructurales*. Universidad Nacional Federico Villareal, Lima - Perú.
- Jordan Saldaña, J. y Viera Caballero, N. (2014). *Estudio de la resistencia del concreto, utilizando como agregado el concreto reciclado de obra*. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote - Perú.
- Huisa Chura, L. y García Benavente, R. (2019). *Evaluación del beneficio del uso de eco-materiales para la construcción de infraestructura educativa sostenible e innovadora de la provincia de Tacna-2019*. Universidad Privada de Tacna, Perú.
- Carizaile Laurente, E. y Anquise Huayhua, S. (2015). *Viabilidad del uso de concreto reciclado para la construcción de viviendas en la ciudad de Tacna*. Universidad Nacional Jorge Basadre Ghohmann, Tacna - Perú.
- Cruz García, J. y Velázquez Yañez, R. (2004). *Concreto Reciclado*. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Cadenillas Calderón, M. y Bazalar La Puerta, L. (2019). *Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con $F'c=280$ kg/cm² en estructuras aporricadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima - Perú.
- Rodrich Guevara, S. y Silva Ocas, J. (2018). *Influencia del agregado de concreto reciclado sobre las propiedades mecánicas en un concreto convencional, Trujillo 2018*. Universidad Privada del Norte, Trujillo - Perú.
- Vega Bazán, P. (2019). *Agregado de concreto reciclado, su influencia en las propiedades mecánicas de concretos 210, 280 y 350 Kg/cm², Lima-2018*. Universidad César Vallejo, Lima - Perú.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2009). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado*. Perú.
- Norma Técnica Peruana NTP.400.019 (2014). *Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. Perú

Norma Técnica Peruana NTP.400.037 (2002). *Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). Perú.*

Norma Técnica Peruana NTP.339.035 (1999). *Hormigón. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams. Perú.*

Norma Técnica Peruana NTP.339.034 (2008). *Hormigón (Concreto). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. Perú.*

Anexo. Matriz de consistencia

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO RECICLADO PARA CONSTRUCCIONES ECOEFICIENTES EN LA CIUDAD DE TACNA, 2022					
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES	METODOLOGÍA
GENERAL	GENERAL	GENERAL	INDEPENDIENTE	- Agregado fino - Agregado grueso - Agua - Cemento - Concreto reciclado - Escala de medición (%)	TIPO DE ESTUDIO
¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto reciclado para construcciones ecoeficientes en la ciudad de Tacna, 2022?	Determinar la resistencia a la compresión del concreto reciclado para construcciones ecoeficientes en la ciudad de Tacna, 2022.	El uso de concreto reciclado alcanza la resistencia a la compresión para construcciones ecoeficientes en la ciudad de Tacna, 2022.	Niveles de concreto reciclado		Explicativo
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS			NIVEL DE INVESTIGACIÓN
¿De qué manera influye el uso de concreto reciclado al reemplazar completamente el agregado grueso en la resistencia a la compresión?	Determinar la influencia del uso de concreto reciclado al reemplazar completamente el agregado grueso en la resistencia a la compresión.	El uso de concreto reciclado al reemplazar completamente el agregado grueso influye significativamente en la resistencia a la compresión.			Aprehensivo
¿De qué manera influye el uso de concreto reciclado al reemplazar parcialmente el agregado grueso en la resistencia a la compresión?	Determinar la influencia del uso de concreto reciclado al reemplazar parcialmente el agregado grueso en la resistencia a la compresión.	El uso de concreto reciclado al reemplazar parcialmente el agregado grueso influye significativamente en la resistencia a la compresión.			DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
¿De qué manera influye económicamente la obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones en la ciudad de Tacna, 2022?	Determinar la influencia económica de la obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones en la ciudad de Tacna.	Económicamente la obtención de concreto reciclado proveniente de demoliciones en la ciudad de Tacna, influye negativamente respecto al agregado grueso convencional.	DEPENDIENTE	- Escala de medición: kg/cm ²	MUESTRA
			Resistencia a la compresión		Muestra no probabilística de la cantidad de concreto usado para las pruebas.